

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра энергосбережения, гидравлики и теплотехники

**ГИДРАВЛИКА,
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ГИДРОПРИВОД**

**Программа, методические указания
и контрольные задания для студентов заочной формы
обучения инженерно-технических специальностей**

Минск 2009

УДК 621.22-82(075.8)

ББК 30.123я7

С 74

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

доцент *А. С. Дмитриченко*,
старший преподаватель *Е. С. Санкович*

Рецензенты:

кандидат технических наук, заведующий кафедрой лесных машин и технологий лесозаготовок БГТУ, доцент *С. П. Мохов*

Приведены программа и общие методические указания по освоению различных разделов изучаемого курса. Даны задачи контрольных заданий и приложения, содержащие справочные материалы, необходимые для решения задач студентами всех специальностей заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2009

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В первой части курса – гидравлика – изучаются законы равновесия и движения жидкости, а также способы применения этих законов для решения практических инженерных задач. Во второй и третьей частях – гидравлические машины и гидропривод – изучаются устройства, принцип действия, теория и элементы расчета различных типов насосов, которые широко используются в настоящее время, а также гидравлических приводов, в которых жидкость служит носителем механической энергии.

При изучении материала по учебнику студент должен обратить особое внимание на проработку основных положений темы (раздела), использовать для этой цели методические указания, основное предназначение которых – облегчить студенту работу с книгой. Курс целесообразно изучать последовательно по темам (разделам), при этом руководствоваться программой и методическими указаниями. Сначала следует изучить теоретическую часть, затем решить и проанализировать приведенные в учебнике и задачниках примеры и задачи с решениями.

Существенное значение имеет правильный выбор учебника. Не следует одновременно пользоваться несколькими учебниками. Один из учебников, который рекомендован в списке учебной литературы, должен быть принят в качестве основного. Другие учебники и учебные пособия используют в том случае, если проработанный раздел отсутствует или недостаточно подробно изложен в основном учебнике.

1. ГИДРАВЛИКА

1.1. Основные свойства жидкости

Определение жидкости. Силы, действующие на жидкость. Давление в жидкости. Сжимаемость. Закон Ньютона для жидкостного трения. Вязкость. Поверхностное натяжение. Давление насыщенного пара жидкости. Растворение газов в жидкости. Особенности жидкостей, применяемых в гидросистемах. Модель идеальной жидкости. Неньютоновские жидкости.

Методические указания. Объект изучения в гидравлике – жидкость – физическое тело, молекулы которого слабо связаны между собой. Поэтому при воздействии даже незначительной силы жидкость изменяет свою форму. Жидкость занимает промежуточное место между твердым телом и газом. Она способна сохранять свой объем и этим сходна с твердым телом, но не способна самостоятельно сохранять свою форму, что сближает ее с газом.

Свойство жидкости оказывать сопротивление сдвигу или скольжению соприкасающихся слоев называется вязкостью. Вязкость приводит к появлению сил внутреннего трения между смежными слоями жидкости, текущими с различными скоростями. Она характеризует степень текучести жидкости, подвижности ее частиц. Вода принадлежит к наименее вязким жидкостям. При увеличении температуры вязкость жидкости заметно уменьшается. Отметим также, что вязкость газов увеличивается с ростом температуры. Пока жидкость не движется, вязкость не проявляется, поэтому при решении задач равновесия жидкостей ее не надо принимать во внимание.

Для упрощения рассмотрения законов механики жидкостей Л. Эйлер ввел понятие идеальной жидкости, т. е. такой воображаемой жидкости, которая является абсолютно подвижной (невязкой). При движении идеальной жидкости в ней не возникают силы внутреннего трения.

1.2. Гидростатика

Свойства давления в неподвижной жидкости. Уравнения Эйлера равновесия жидкости. Интегрирование уравнений Эйлера. Поверхности равного давления. Свободная поверхность жидкости. Основное

уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Приборы для измерения давления. Силы давления жидкости на плоские и криволинейные стенки.

Методические указания. Гидростатика изучает законы равновесия жидкости. Она рассматривает распределение давления в покоящейся жидкости, численное определение, определение направления и точки приложения силы давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности.

Как известно, единицей давления является Ньютон на квадратный метр – Паскаль. Для практических вычислений эта единица неудобна, поэтому чаще применяют кратные единицы – килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа): $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$; $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$.

Атмосферное давление в какой-либо точке зависит от высоты этой точки над уровнем моря и незначительно колеблется в одной и той же точке. Нормальное атмосферное давление на уровне моря при температуре 0°C принимают равным $p_{\text{ат}} = 101,3 \text{ кПа}$.

Часто жидкость сверху соприкасается с газом. Поверхность раздела между жидкостью и газообразной средой называется свободной поверхностью жидкости.

Различают абсолютное давление $p_{\text{абс}}$, манометрическое (избыточное) – $p_{\text{м}}$ и вакуум – $p_{\text{в}}$, между которыми существуют следующие зависимости:

$$p_{\text{м}} = p_{\text{абс}} - p_{\text{ат}}; \quad p_{\text{в}} = p_{\text{ат}} - p_{\text{абс}}; \quad p_{\text{в}} = -p_{\text{м}}, \quad (1)$$

где $p_{\text{ат}}$ – атмосферное давление, Па.

Жидкость давит на поверхность, с которой она соприкасается. При определении силы гидростатического давления, как правило, оперируют манометрическим давлением или вакуумом, так как атмосферное давление действует на расчетную поверхность, то она может располагаться выше или ниже свободной поверхности. В общем случае расстояние по вертикали до пьезометрической плоскости h определяется по формуле

$$h = p/(\rho g), \quad (2)$$

где p – манометрическое давление или вакуум в любой точке жидкости, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; g – ускорение силы тяжести, м/с^2 .

Расстояние h откладывается от той точки жидкости, давление в которой равно p , вверх, если оно манометрическое, и вниз – в случае вакуума.

Силу давления на плоскую поверхность можно определить аналитическим и графоаналитическим методами. При аналитическом методе силу давления P выражают формулой

$$P = p_c S, \quad (3)$$

где p_c – гидростатическое давление в центре тяжести плоской фигуры, Па; S – площадь фигуры, смоченной жидкостью, м².

При графоаналитическом методе строят эпюры давления, выражающие закон распределения давления на контур тела, погруженного в жидкость. Сила давления равняется объему пространственной эпюры, а ее вектор проходит через центр тяжести этой эпюры. Равнодействующая сила давления жидкости на криволинейную поверхность обычно выражается тремя взаимно перпендикулярными составляющими: P_x , P_y , P_z . Горизонтальные составляющие P_x и P_y вычисляют как силы давления на плоскую поверхность, равную проекции данной криволинейной поверхности на соответствующую вертикальную плоскость. Для определения вертикальной составляющей P_z строят тела давления. При этом криволинейная поверхность проектируется вертикально на пьезометрическую плоскость. Телом давления называется тело, с одного конца ограниченное криволинейной поверхностью, с другого – пьезометрической плоскостью, а со сторон – вертикальной проектирующей поверхностью. Сила P_z равна весу жидкости, занимающей объем V тела давления:

$$P_z = \rho g V. \quad (4)$$

При определении сил давления жидкости на сложные поверхности часто бывает целесообразно сначала графически суммировать эпюры, а также тела давления, построенные для отдельных частей данной поверхности.

1.3. Кинематика и динамика жидкостей

Виды движения жидкости. Основные понятия кинематики жидкости: линия тока, трубка тока, струйка, живое сечение, расход. Поток жидкости. Средняя скорость. Уравнение расхода. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости. Уравнение Д. Бернулли для установившегося движения идеальной жидкости.

Геометрическое и энергетическое толкование уравнения Д. Бернулли. Уравнение Д. Бернулли для потока вязкой жидкости. Коэффициент Кориолиса. Общие сведения о гидравлических потерях. Виды гидравлических потерь.

Методические указания. Основным уравнением гидродинамики является уравнение Бернулли. Его составляют для двух живых сечений потока, и для установившегося движения реальной жидкости оно имеет следующий вид:

$$z_1 + p_1 / (\rho g) + \alpha_1 v_1^2 / (2g) = z_2 + p_2 / (\rho g) + \alpha_2 v_2^2 / (2g) + \sum h, \quad (5)$$

где z – геометрический напор, или высота положения, – расстояние от произвольно выбранной горизонтальной плоскости сравнения до центра тяжести сечения (в энергетическом смысле – это удельная, т. е. отнесенная к единице веса жидкости, потенциальная энергия положения), м; p – давление в центре тяжести сечения, Па; $p/\rho g$ – пьезометрический напор – вертикальное расстояние между центром тяжести сечения и уровнем жидкости в пьезометре (удельная потенциальная энергия давления); v – средняя скорость потока в сечении, м/с; α – коэффициент Кориолиса (отношение действительной кинетической энергии потока к условной кинетической энергии, вычисленной по средней скорости); $\alpha v^2 / (2g)$ – скоростной напор (удельная кинетическая энергия); $\sum h$ – гидравлические потери напора (та часть удельной механической энергии, которую жидкость теряет на преодоление сопротивлений на участке потока между сечениями 1 и 2 (вследствие работы сил трения она превращается в тепловую энергию и рассеивается в пространстве). Гидравлические потери состоят из потерь на трение $h_{тр}$ и местных потерь h_m , т. е. $\sum h = h_{тр} + h_m$.

Уравнение Бернулли является частным случаем закона сохранения энергии. Оно может быть выражено и в другом виде, где все члены представляют собой энергию, отнесенную к единице объема:

$$\rho g z_1 + p_1 + \alpha_1 v_1^2 \rho / 2 = \rho g z_2 + p_2 + \alpha_2 v_2^2 \rho / 2 + \Delta p, \quad (6)$$

где $\Delta p = \rho g \sum h$ – потери давления.

Как видно, уравнение Бернулли выражает связь между тремя разными величинами потока: высотой положения z , давлением p и средней скоростью v .

При решении задач вместе с уравнением Бернулли применяется и уравнение постоянства расхода, т. е. равенства расхода Q во всех сечениях установившегося потока:

$$Q = v_1 S_1 = v_2 S_2 = \dots = v_n S_n = \text{const.} \quad (7)$$

Из него следует, что средние скорости v обратно пропорциональны площадям S живых сечений.

При использовании уравнения Бернулли целесообразно руководствоваться следующим:

1) оно применяется только для установившегося движения вязкой несжимаемой жидкости в том случае, когда из массовых сил на нее действует лишь сила тяжести;

2) два живых сечения, к которым применяется уравнение Бернулли, должны быть нормальными к векторам скоростей и располагаться на прямолинейных участках потока;

3) если поток неустановившийся или на участке между расчетными сечениями имеется источник или потребитель энергии, к приведенным уравнениям необходимо дописать дополнительные члены;

4) обычно расчетные сечения удобно выбирать там, где известно давление. Но в уравнение должна попасть и неизвестная величина, которую нужно определить. Нумерация выбранных сечений 1 и 2 производится по направлению потока. В противном же случае меняется знак гидравлических потерь $\sum h$ или Δp ;

5) плоскость сравнения должна быть горизонтальной. По высоте ее можно подобрать произвольно, но очень часто удобно использовать плоскость, проходящую через центр тяжести нижнего расчетного сечения;

6) геометрический напор z выше плоскости сравнения считается положительным, а ниже – отрицательным;

7) когда площадь расчетного сечения сравнительно большая, скоростной напор $\alpha v^2/(2g)$ и член $\alpha v^2 \rho/2$ являются ничтожными по сравнению с другими членами и приравниваются нулю.

1.4. Режимы движения жидкости и основы теории гидродинамического подобия

Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Число Рейнольдса. Основы теории гидродинамического подобия. Крите-

рии гидродинамического подобия. Моделирование гидродинамических явлений. Полное и частичное подобия.

1.5. Ламинарное движение жидкости

Распределение скоростей по сечению круглой трубы. Потери напора на трение по длине трубы (формула Пуазейля). Начальный участок потока. Ламинарное течение в плоских и кольцевых зазорах. Особые случаи ламинарного течения (переменная вязкость, облитерация).

Методические указания. Потери напора на трение по длине трубы при любом режиме движения жидкости определяют по формуле Дарси:

$$h_{\text{тр}} = \lambda l v^2 / (d 2g) \text{ или } \Delta p_{\text{тр}} = \lambda \rho l v^2 / (2d), \quad (8)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина расчетного участка трубы, м; d – диаметр трубы, м.

При ламинарном течении жидкости $\lambda = 64/\text{Re}$ и первая формула (8) превращается в формулу Пуазейля:

$$h_{\text{тр}} = 64 l v^2 / (\text{Re} d 2g), \quad (9)$$

где $\text{Re} = dv/\nu$ – число Рейнольдса, где ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

Из формулы (9) следует, что при ламинарном течении жидкости гидравлические потери на трение прямо пропорциональны средней скорости потока. Кроме того, они зависят от физических свойств жидкости и геометрических параметров трубы, а шероховатость стенок трубы не имеет никакого влияния на потери на трение.

1.6. Турбулентное движение жидкости

Особенности турбулентного движения жидкости. Пульсации скоростей и давлений. Распределение осредненных скоростей по сечению. Касательные напряжения в турбулентном потоке. Потери напора в трубах. Формула Дарси, коэффициент потерь на трения по длине (коэффициент Дарси). Шероховатость стенок, абсолютная и относительная. Гидравлически гладкие и шероховатые трубы. Формулы

для определения коэффициента Дарси и области их применения. Движение в некруглых трубах.

Методические указания. Потери напора на трение по длине трубы при турбулентном движении определяют также по формуле Дарси (8), но в этом случае коэффициент трения λ определяют по другим зависимостям, чем в ламинарном потоке. Таким образом, формула Дарси является универсальной – ее можно применять для любых жидкостей при любом режиме движения.

Имеется ряд формул для определения коэффициента λ в зависимости от режима течения жидкости и числа Рейнольдса, например:

1) ламинарное движение (I зона, $Re \leq 2320$): $\lambda = 64/Re$;

2) неопределенное движение (II зона, $2320 < Re < 4000$). Трубопроводы с движением, соответствующим этой зоне, проектировать не рекомендуется;

3) турбулентное движение ($Re \geq 4000$):

а) зона гладких труб (III зона, $4000 \leq Re \leq 20d/\Delta_3$), формула Блазиуса:

$$\lambda = 0,3164/Re^{0,25}; \quad (10)$$

б) переходная зона (IV зона, $20d/\Delta_3 < Re < 500d/\Delta_3$), формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11(\Delta_3/d + 68/Re)^{0,25}; \quad (11)$$

в) зона шероховатых труб (V зона, $Re \geq 500d/\Delta_3$), формула Шифринсона:

$$\lambda = 0,11(\Delta_3/d)^{0,25}. \quad (12)$$

Зону V еще называют зоной квадратичного сопротивления, так как здесь гидравлические потери на трение пропорциональны квадрату скорости. Для турбулентного движения самой общей является формула IV зоны.

1.7. Местные гидравлические сопротивления

Основные виды местных сопротивлений. Коэффициент местных потерь. Местные потери напора при больших числах Рейнольдса. Внезапное расширение трубы (теорема Борда). Диффузоры. Сужение трубы. Колена. Местные потери напора при малых числах Рейнольдса.

Методические указания. Местные гидравлические потери определяют по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \xi v^2 / (2g) \text{ или } \Delta p_m = \xi \rho v^2 / 2, \quad (13)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; v – средняя скорость в сечении, как правило, за местным сопротивлением, м/с.

Коэффициент ξ при больших числах Рейнольдса зависит только от вида местного сопротивления. Однако при ламинарном течении он зависит не только от вида сопротивления, но и от числа Рейнольдса. Приведенные в приложении значения коэффициента ξ некоторых местных сопротивлений относятся к турбулентному течению с большими числами Рейнольдса. Для ламинарного движения коэффициент ξ должен быть пересчитан с учетом влияния числа Рейнольдса.

1.8. Истечение жидкости через отверстия и насадки

Истечение жидкости через отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре. Коэффициенты сжатия, скорости, расхода. Истечение жидкости через цилиндрический насадок. Насадки различного типа. Истечение при переменном напоре (опорожнение резервуаров).

Методические указания. Расход жидкости при ее истечении через отверстие или насадок определяют по формуле

$$Q = Sv = S\mu\sqrt{2gH_0} \text{ или } Q = S\mu\sqrt{2\Delta p/\rho}, \quad (14)$$

где S – площадь отверстия или сечения насадка, м²; μ – коэффициент расхода; H_0 – действующий напор, равный

$$H_0 = H + (p_0 - p) / (\rho g) + \alpha_0 v_0^2 / (2g), \quad (15)$$

где H – расстояние от центра тяжести площади отверстия или сечения насадка до поверхности жидкости в резервуаре, м; p_0 – давление на поверхности жидкости в резервуаре, Па; p – давление в среде, в которую происходит истечение жидкости, Па; v_0 – скорость подъема жидкости в резервуаре, м/с; $\alpha_0 v_0^2 / (2g)$ – величина малая, и ею можно пренебречь; Δp – потери давления при истечении через местное сопротивление (например, через дроссель, распределитель и другую гидравлическую аппаратуру).

При истечении жидкости через затопленное отверстие или насадок для определения расхода применяют приведенные формулы (14), но в этом случае напор H_0 берется как разность гидростатических напоров по обе стороны стенки.

Следовательно, расход в данном случае не зависит от высоты расположения отверстия или насадка.

В случае истечения жидкости через насадок образуется вакуум, который увеличивает его пропускную способность и является прямо пропорциональным напору H_0 . Коэффициент расхода насадка зависит от его типа и числа Рейнольдса. По своему значению он превышает коэффициент расхода малого отверстия. Например, для внешнего цилиндрического насадка $\mu = 0,80$, для коноидального насадка $\mu = 0,96 \div 0,99$.

1.9. Гидравлический расчет трубопроводов

Основное расчетное уравнение простого трубопровода. Основные расчетные задачи. Понятие об определении экономически более выгодного диаметра трубопровода. Сифонный трубопровод. Последовательное и параллельное соединение трубопроводов. Сложные трубопроводы. Трубопровод с насосной подачей.

Методические указания. При расчете напорных трубопроводов применяются уравнения Бернулли, постоянства расхода и формулы (для определения гидравлических потерь). По отношению местных потерь и потерь на трение трубопроводы подразделяют на короткие и длинные. К коротким относятся всасывающие трубопроводы насосов, сифонные трубы, некоторые гидролинии гидроприводов и другие трубопроводы. При их расчете оценивают и определяют потери на трение и местные потери.

Расчет длинных трубопроводов ведется по упрощенному уравнению Бернулли. В данном случае скоростные напоры по сравнению с другими членами уравнения малы и ими обычно пренебрегают. Местные потери либо совсем не оценивают, либо без точного расчета принимают равными некоторой доле потерь по длине – обычно $10 \div 15\%$.

Расчет простых трубопроводов сводится к трем типовым задачам по определению напора, расхода, диаметра трубопровода. Задачи решают аналитическим и графоаналитическим способами. Задачи второго и третьего типов аналитическим способом решить

непосредственно нельзя и приходится прибегать к методу подбора. Поэтому для таких случаев удобнее применять графоаналитический способ. При этом для задачи второго типа строится гидравлическая характеристика трубопровода, которая выражает связь между расходом и гидравлическими потерями, т. е. $\sum h = f(Q)$. Произвольно подбирают несколько значений расхода и определяют соответствующие им гидравлические потери. По данным расчета и строится кривая характеристики трубы. При ламинарном течении жидкости характеристика трубы имеет вид прямой линии, что облегчает ее построение.

При расчете сложных трубопроводов удобно пользоваться графоаналитическим способом, при этом графически суммировать гидравлические характеристики отдельных труб.

2. ЛОПАСТНЫЕ ГИДРОМАШИНЫ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ

2.1. Общие сведения о гидромашинах

Насосы и гидродвигатели. Классификация насосов. Принцип действия динамических и объемных машин. Основные параметры: подача (расход), напор, мощность, КПД.

Методические указания. Гидравлические машины служат для преобразования механической энергии в энергию перемещаемой жидкости (насосы) или для преобразования гидравлической энергии потока жидкости в механическую (гидравлические двигатели). Гидравлическим приводом называют гидравлическую систему, которая состоит из насоса и гидродвигателя с соответствующей регулирующей и распределительной аппаратурой и служит для передачи посредством рабочей жидкости энергии на расстояние. При помощи гидравлического привода можно преобразовывать механическую энергию в кинетическую на выходе системы с одновременным выполнением функций регулирования и реверсирования скорости выходного звена, а также преобразовывать один вид движения в другой.

Существуют две основные группы насосов: объемные (поршневые и роторные) и динамические (в том числе лопастные и вихревые). Напор, развиваемый объемными насосами, не зависит от подачи, а у лопастных напор и подача взаимосвязаны. Этим обуславливается различие возможных напоров, создаваемых обеими группами насосов, различие способов регулирования их подачи и пр.

В рабочем колесе лопастного насоса основная часть подводимой энергии передается жидкости путем динамического воздействия лопаток на поток. Рабочее колесо совершает работу, преодолевая при своем вращении момент этих сил. Для этого к колесу насоса подводится механическая энергия двигателя, которая насосом преобразуется в энергию движущейся жидкости. Характерным признаком объемного насоса является наличие одной или нескольких рабочих камер, объемы которых при работе насоса периодически изменяются. При увеличении объема камер они заполняются жидкостью, а при уменьшении их объема жидкость вытесняется в отводящую линию. Основные параметры насосов: подача, напор, мощность, КПД, частота вращения.

Подачей насоса называют количество жидкости (объем), подаваемое насосом за единицу времени, т. е. расход потока через насос.

Напором H насоса называют механическую энергию, сообщаемую насосом единице веса (1 Н) жидкости. Поэтому напор имеет линейную размерность. Напор насоса H , м ст., равен разности полного напора за насосом и напора перед ним:

$$H = H_n - H_b = p_n / (\rho g) - p_b / (\rho g) + \Delta z + (v_n^2 - v_b^2) / (2g), \quad (16)$$

где p_n и p_b – абсолютные давления в местах установки манометра и вакуумметра, Па; ρ – плотность перемещаемой жидкости, кг/м³; g – ускорение силы тяжести, м/с²; v_n и v_b – средние скорости в нагнетательном и всасывающем трубопроводах, м/с; Δz – вертикальное расстояние между точками установки вакуумметра и манометра, м.

Ввиду того что вертикальное расстояние между точками установки приборов бывает обычно небольшое, а скоростные напоры $v^2 / (2g)$ на выходе и на входе в насос или одинаковые, или весьма близки, то напор насоса можно определить по упрощенной формуле

$$H = (p_n - p_b) / (\rho g). \quad (17)$$

Насос передает жидкости не всю механическую энергию, которая подводится к насосу. Отношение полезной мощности насоса к потребляемой им мощности двигателя называют КПД. Он равен произведению трех коэффициентов полезного действия: объемного, гидравлического и механического. Объемным КПД учитываются потери объема жидкости (утечки жидкости через уплотнения), гидравлическим КПД – уменьшение напора насоса, вызываемое гидравлическими сопротивлениями в самом насосе, механическим КПД – трение между элементами машины.

2.2. Основы теории лопастных насосов

Центробежные насосы. Схемы центробежных насосов. Уравнение Эйлера для насоса и турбины. Теоретический напор насоса. Влияние числа лопаток на теоретический напор. Полезный напор. Потери энергии в насосе. Коэффициенты полезного действия насоса. Характеристика центробежных насосов. Основы теории подобия насосов. Формулы подобия. Коэффициент быстроходности и типы лопастных насосов. Осевые насосы.

Методические указания. Движение частиц жидкости в рабочем колесе является сложным, поскольку вращается и само рабочее колесо и жидкость движется по его межлопастным каналам. Сумма этих двух движений дает абсолютное движение частиц жидкости по отношению к неподвижному корпусу насоса.

Основное уравнение лопастных насосов впервые было выведено Л. Эйлером. Оно связывает напор насоса со скоростями движения жидкости в характерных сечениях. Скорости движения жидкости зависят от подачи и частоты вращения рабочего колеса насоса, а также от геометрии элементов этого колеса (диаметра, ширины каналов, формы лопастей) и условий подвода. Следовательно, основное уравнение дает возможность по заданным напору, частоте вращения и подаче насоса определить выходные элементы рабочего колеса.

Условия протекания жидкости в рабочем колесе и спиральной камере насоса настолько сложны, что представление о характере взаимосвязи основных рабочих параметров центробежного насоса удастся получить только экспериментальным путем, т. е. испытаниями насоса в лаборатории. Рабочая характеристика лопастных насосов строится в виде зависимости напора насоса, потребляемой им мощности и КПД от подачи насоса при постоянной частоте вращения рабочего колеса. С изменением частоты вращения рабочая характеристика насоса также изменяется.

2.3. Эксплуатационные расчеты лопастных насосов

Применение формул подобия для пересчета характеристик насосов. Насосная установка. Регулирование подачи. Последовательное и параллельное соединение насосов. Кавитация в лопастных насосах.

Методические указания. Элементарную гидросистему для перемещения жидкости насосом называют насосной установкой. Она, в основном, состоит из приемного резервуара, всасывающего трубопровода, насоса, нагнетательного трубопровода и напорного резервуара.

Необходимым («потребным») напором $H_{\text{потр}}$ установки называют энергию, которую необходимо сообщить единице веса жидкости для ее перемещения из приемного резервуара в напорный по трубопроводу установки при заданном расходе:

$$H_{\text{потр}} = h_{\text{н}} + h_{\text{в}} + (p_2 - p_1)/(\rho g) + \sum h_{\text{п}} = H_{\text{ст}} + \sum h_{\text{п}}, \quad (18)$$

где h_n – геометрическая высота нагнетания, м; h_b – геометрическая высота всасывания, м; $(p_2 - p_1)$ – разность давлений в напорном и приемном резервуарах, Па; $\sum h_{\pi} = h_{\pi,в} + h_{\pi,н}$ – сумма потерь напора во всасывающем и нагнетательном трубопроводах, м; $H_{ст}$ – статический напор установки, м.

При установившемся режиме работы устройства развиваемый насосом напор равен потребному напору установки:

$$H = H_{\text{потр}}. \quad (19)$$

Следует отличать необходимый («потребный») напор насоса от напора насоса. Необходимый напор определяется самой насосной установкой (высотой подъема жидкости, давлениями в напорном и приемном резервуарах, гидравлическими потерями во всасывающем и нагнетательном трубопроводах). Напор насоса чаще всего определяется прочностью его корпуса, частотой вращения.

Режим работы насоса (подбор насоса) определяют совмещением на одном и том же графике в одинаковых масштабах рабочей характеристики насоса с характеристикой насосной установки. Последняя представляет собой параболу (при турбулентном режиме течения), смещенную вдоль оси напоров на числовое значение $H_{ст}$. Насос в этой установке работает в таком режиме, при котором необходимый напор равен напору насоса. Точку пересечения указанных двух характеристик называют рабочей точкой. Если рабочая точка отвечает оптимальному режиму работы насоса, то насос считается подобранным правильно. Однако требуемую подачу насоса можно изменять. Для этого необходимо изменить либо характеристику насоса (путем изменения частоты вращения насоса), либо характеристику насосной установки (дросселированием). Наиболее экономичный метод регулирования подачи и напора – изменение частоты вращения. Он, в основном, осуществляется применением электродвигателей постоянного тока или специальных передач.

Из-за чрезмерного падения давления на всасывающей стороне насоса может возникнуть кавитация (пустотообразование), вследствие которой резко падает КПД насоса, снижается его подача и напор. Кроме того, появляется сильная вибрация и толчки, сопровождаемые характерным шумом. Для избежания кавитации насос необходимо установить таким образом, чтобы давление жидкости в нем было больше давления насыщенного пара жидкости при данной температуре.

Это обеспечивается ограничением высоты всасывания насоса. Допустимую высоту всасывания определяют следующим соотношением:

$$h_{\text{в}} \leq p_{\text{ат}} / (\rho g) - p_{\text{п}} / (\rho g) - h_{\text{п.в}} - \sigma H, \quad (20)$$

где $p_{\text{п}}$ – давление насыщенного пара, Па; $h_{\text{п.в}}$ – потеря напора во всасывающем трубопроводе при полной подаче, м; σ – коэффициент кавитации; H – полный напор насоса, м.

Коэффициент кавитации часто определяют по формуле С. С. Руднева, предложенной на основании обобщения опытных данных:

$$\sigma = \frac{10}{H} (n \sqrt{Q} / C)^{4/3}, \quad (21)$$

где H – полный напор насоса, м; n – частота вращения рабочего колеса, мин^{-1} ; Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; C – коэффициент, характеризующий конструкцию насоса.

Допустимая высота всасывания в насосах чаще всего определяется по допустимой вакуумметрической высоте всасывания, которая обозначается на характеристиках всех типов насосов как функция расхода. Необходимо помнить, что при изменении частоты вращения изменяется и допустимая вакуумметрическая высота всасывания.

3. ОБЪЕМНЫЕ НАСОСЫ И ГИДРОПРИВОДЫ

3.1. Объемные насосы. Общие положения

Объемные насосы, принцип действия, общие свойства и классификация, применение в гидроприводах.

Методические указания. В объемном насосе подвижные рабочие органы – вытеснители (поршень, плунжер, пластина, зуб шестерни, винтовая поверхность) замыкают определенную порцию жидкости в рабочей камере и вытесняют ее сначала в камеру нагнетания, а затем – в напорный трубопровод. В объемном насосе вытеснители сообщают жидкости главным образом потенциальную энергию давления. Объемные насосы разделяют на две группы: поршневые (клапанные) и роторные (бесклапанные). Такое разграничение произведено по признакам (свойствам) обратимости (первые – необратимые, вторые – обратимые), быстроходности (первые – тихоходные, низкооборотные, вторые – высокооборотные), равномерности подачи (первые отличаются большой неравномерностью, вторые обеспечивают более равномерную подачу) и характеру перекачиваемых жидкостей (первые способны перекачивать любые жидкости, вторые – лишь неагрессивные, чистые отфильтрованные и смазывающие жидкости).

Подача объемного насоса пропорциональна его размерам и скорости движения вытеснителей жидкости. Напор объемных насосов почти не связан ни с подачей, ни со скоростью движения вытеснителей жидкости. Необходимое давление в системе определяется полезной внешней нагрузкой (усилием, прилагаемым к вытеснителю) и гидравлическим сопротивлением системы. Наибольшее возможное давление, развиваемое насосом, ограничивается мощностью двигателя и механической прочностью корпуса и деталей насоса. Чем больше напор объемных насосов, тем больше утечка жидкости через уплотнения, тем ниже объемный КПД. Напор, при котором объемный КПД снижается до экономически допустимого предела, может считаться максимально допустимым.

3.2. Поршневые и плунжерные насосы

Устройство, области применения поршневых и плунжерных насосов. Индикаторная диаграмма. КПД поршневых насосов. Графики подачи и способы ее выравнивания. Диафрагменные насосы.

Методические указания. Возвратно-поступательное движение поршня осуществляется при помощи кривошипно-шатунного механизма. Скорость поршня и подача насоса при этом получаются неравномерными: ход нагнетания чередуется с ходом всасывания, причем скорость поршня по длине его пути непрерывно меняется. Работу поршневого насоса можно весьма наглядно проследить по индикаторной диаграмме, т. е. по графическому изображению изменения давления в цилиндре насоса перед поршнем. Из этой диаграммы можно выяснить влияние воздушных колпаков на процессы всасывания и нагнетания, а также зависимость мгновенного максимума давления и минимума давления, обуславливающих в первом случае прочность насоса, во втором – возможность появления кавитации, от числа ходов в минуту. По индикаторной диаграмме можно судить об исправной работе всасывающего и нагнетательного клапанов насоса и выявить различные неисправности его работы.

3.3. Роторные насосы

Классификация роторных насосов, общие свойства и области применения. Устройство и особенности роторных насосов различных типов: роторно-поршневых, пластинчатых (шиберных), винтовых, шестеренных. Определение рабочих объемов. Подача и ее равномерность. Характеристики насосов. Регулирование подачи. Работа насоса на трубопровод.

Методические указания. Более равномерную подачу жидкости (в отличие от одноцилиндровых поршневых насосов) можно получить применением многоцилиндровых роторно-поршневых машин, объединенных в общий блок. Вытеснение жидкости в таких насосах производится последовательно каждым поршнем. Цилиндры этих насосов могут быть расположены радиально и аксиально по отношению к оси блока. Они существенно отличаются от поршневых насосов (бесклапанность, обратимость, высокооборотность, большая равномерность подачи, возможность ее регулирования). Все это обусловило широкое применение роторно-поршневых насосов в объемных гидроприводах.

3.4. Объемный гидропривод. Основные понятия

Принцип действия объемного гидропривода. Основные понятия. Классификация объемных гидроприводов по характеру движения вы-

ходного звена и другим признакам. Элементы гидропривода (гидродвигатели и гидроаппаратура, фильтры, гидроаккумуляторы, гидрролинии). Рабочие жидкости, применяемые в гидроприводах.

Методические указания. Гидравлический привод состоит из источника энергии рабочей жидкости (насоса), получающего механическую энергию от ведущего звена (например, от электродвигателя), и потребителя энергии жидкости (гидродвигателя), передающего механическую энергию исполнительному органу. Насос и гидродвигатель соединяют два основных трубопровода, по одному из которых рабочая жидкость перемещается от насоса к двигателю, а по другому возвращается из гидродвигателя к насосу. На обоих трубопроводах монтируются управляющие и регулирующие гидроаппараты определенного назначения.

Объемные гидроприводы обладают высоким быстродействием, незначительными размерами и небольшой массой. Высокий модуль упругости рабочей жидкости и герметичность гидроаппаратов обеспечивают механическую жесткость связи между ведущим и ведомым звеньями. Исключение поломок в машинах и механизмах с объемным гидроприводом обеспечивается предохранительными клапанами.

3.5. Гидродвигатели

Силовые гидроцилиндры, их назначение и устройство. Расчет гидроцилиндров. Поворотные гидродвигатели. Роторные гидродвигатели – гидромоторы. Обратимость роторных насосов и гидромоторов. Гидромоторы роторно-поршневых, пластинчатых, шестереночных и винтовых типов. Расчет крутящего момента и мощности на валу гидромотора. Регулирование рабочего момента. Высокомоментные гидромоторы.

Методические указания. Под объемным гидродвигателем понимают гидромашину, предназначенную для преобразования энергии потока масла в энергию движения выходного звена гидропривода. Рабочий процесс этой гидромашин основан на попеременном заполнении рабочей камеры маслом и вытеснении его из рабочей камеры.

Гидродвигатели, как и насосы, в зависимости от того, какую энергию потока жидкости (потенциальную или кинетическую) они преобразуют в механическую работу выходного звена, подразделяют на объемные и лопастные (динамические). Объемные гидродвигатели разделяют на гидродвигатели с ограниченным ходом (двигающиеся

возвратно-поступательным или возвратно-поворотным движением) и с неограниченным ходом (вращающиеся). Первые называют гидроцилиндрами, а вторые – гидромоторами.

Гидроцилиндры по направлению действия рабочей среды подразделяют на цилиндры одностороннего и двухстороннего действия, а по конструкции рабочей камеры – на поршневые (с односторонним или двухсторонним штоком) и плунжерные.

Основными параметрами гидроцилиндров являются: диаметры цилиндра и штока, рабочие площади поршня в поршневой и штоковой камерах, ход поршня, развиваемое цилиндром усилие при движении поршня в каком-либо направлении, скорость движения поршня в одном или в другом направлении, количество рабочей жидкости, поступающей или сливающейся из цилиндра, давление масла в поршневой или штоковой камерах цилиндра. Основные параметры цилиндров регламентируются государственными стандартами.

В процессе работы оборудования цилиндр должен преодолеть внешние нагрузки, силы трения и веса, а в динамических режимах – инерционные нагрузки.

При определении скорости движения поршня или развиваемого цилиндром усилия следует учитывать КПД гидроцилиндра (объемный или механический).

Заметного различия в конструкциях объемного насоса и гидромотора нет, иногда они могут быть совершенно одинаковыми. Роторный насос (например, шестеренный) без каких-либо переделок может работать в качестве гидромотора.

Основными параметрами гидромоторов являются: рабочий объем, количество масла, потребляемое гидромотором (расход), крутящий момент и частота вращения гидромотора, перепад давления в камерах гидромотора, мощность на валу. В связи с утечками и механическим трением в гидромоторе фактические значения расхода масла, крутящего момента и эффективной мощности несколько отличаются от их теоретических значений. Различия фактических значений параметров от теоретических учитываются объемным и механическим КПД гидромотора.

3.6. Гидроаппаратура и элементы гидропривода

Классификация гидроаппаратов. Распределительные устройства. Назначение, принцип действия и основные типы. Клапаны. Принцип

действия, устройство и характеристики. Дроссельные устройства. Назначение, принцип действия и характеристики. Фильтры. Гидроаккумуляторы. Гидролинии. Обозначение гидроаппаратов и элементов гидропривода по ЕСКД.

Методические указания. Распределительные устройства предназначены для изменения направления или пуска и остановки потока рабочей жидкости в двух или более гидролиниях в зависимости от наличия внешнего сигнала управления. При помощи распределителей возможно реверсирование движения рабочих органов в станках и машинах, останов рабочего органа, а также выполнение других операций. Наиболее широкое применение в объемных гидроприводах получили золотниковые распределители. Они имеют запорно-регулирующий элемент в виде золотника, который совершает осевое передвижение из одного рабочего положения в другое.

Виды исполнений распределителей классифицируют по конструкции, типу управления, диаметру условного прохода, присоединению, числу рабочих позиций, номинальному давлению и пр.

При проектировании простых объемных гидроприводов часто выполняют не слишком сложные гидравлические расчеты, как, например, подбор диаметра гидролинии любого назначения и определение гидравлических потерь, подбор определенных гидравлических аппаратов и определение их рабочих характеристик, определение основных характеристик гидропривода и другие расчеты.

Давление в любом сечении гидролиний гидропривода может быть определено по упрощенному уравнению Бернулли

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}}, \quad (22)$$

где p_1, p_2 – давления в сечениях, Па; Δp – общие потери давления, Па; $\Delta p_{\text{тр}}$ – потери давления на трение по длине, Па; $\Delta p_{\text{м}}$ – потери давления на местных сопротивлениях, Па.

При гидравлическом расчете трубопроводов гидропривода учитываются как потери трения по длине, так и местные потери. Основные местные потери наблюдаются при протекании рабочей жидкости через гидравлические аппараты, например, распределители, фильтры, клапаны, дроссели и др.

Методика расчета потерь давления на трение по длине и на местных сопротивлениях была изложена ранее. Потери давления в гидравлических аппаратах чаще всего оценивают по расходу, проходя-

щему через аппараты. Потери давления в аппарате определяют экспериментальным путем по номинальному расходу $Q_{\text{ном}}$. Когда через аппарат протекает расход Q , отличающийся от $Q_{\text{ном}}$, потери давления определяют по формуле

$$\Delta p = \Delta p_{\text{ном}} (Q / Q_{\text{ном}})^2, \quad (23)$$

где $\Delta p_{\text{ном}}$ – потери давления в аппарате при протекании через него номинального расхода $Q_{\text{ном}}$.

Гидравлические аппараты между собой обычно соединяют жесткими и гибкими трубопроводами. В гидроприводах широко применяют стальные бесшовные холоднодеформированные трубы, медные трубы и рукава высокого давления.

При выборе внутреннего диаметра трубопровода для той или иной линии гидросистемы необходимо учитывать рекомендации по выбору скорости потоков рабочей жидкости в напорных трубопроводах в зависимости от номинального давления: при давлении до 2,5 МПа – не более 2,0 м/с; при давлении до 6,3 МПа – 3,2; при давлении до 16 МПа – 4,0; при давлении до 32 МПа – 5,0 м/с. Для сливных линий обычно принимают $v = 2$ м/с, а для всасывающих – 1,6 м/с.

Определенный по рекомендуемым скоростям диаметр гидролинии округляется до стандартного наружного диаметра. В общем случае скорость течения рабочей жидкости и диаметры гидролиний выбирают такими, чтобы потери давления на трение по длине $\Delta p_{\text{тр}}$ не превышали 5–6% от рабочего давления $p_{\text{н}}$ насоса, т. е.

$$\Delta p \cong (0,05 \div 0,06) p_{\text{н}}. \quad (24)$$

Общие потери давления Δp в местных сопротивлениях и на трение по длине обычно не превышают 10% от рабочего давления насоса, т. е. $\Delta p \approx 0,1 \cdot p_{\text{н}}$.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Контрольные задания принимаются из табл. 1 в зависимости от специальности.

Номера контрольных задач принимаются согласно *последней* цифре шифра зачетной книжки, а числовые значения указанных в задаче величин – по *предпоследней* цифре шифра зачетной книжки.

При выполнении контрольной работы необходимо полностью переписать условие задачи, начертить рисунок, привести численные значения заданных величин. Условия задач и их решения должны иллюстрироваться расчетными схемами, эскизами, графиками. Чертежи, схемы, графики должны выполняться четко, аккуратно простым карандашом в тетради или на специальных вклейках на миллиметровой бумаге. Ход решения задач должен сопровождаться пояснениями и соответствующими ссылками на источники, из которых принимались расчетные зависимости и справочные величины.

Расчетные формулы и уравнения записываются в общем виде, затем расшифровываются символы, входящие в эти формулы, далее приводятся числовые значения всех величин в том порядке, в каком они располагаются в формуле. После подстановки численных значений и определения искомой величины указывается ее размерность. В конце контрольного задания указываются учебники, учебные и справочные пособия, которые использовались при выполнении контрольного задания.

Выполненные контрольные задания высылаются в университет для проверки в сроки, предусмотренные учебным планом-графиком. Если все задачи контрольной работы решены правильно, то ее засчитывают и возвращают студенту (работа может быть оставлена у преподавателя и возвращена студенту в период сессии для подготовки ее защиты). Если студентом допущены грубые и существенные ошибки, то работа возвращается ему для исправления. Исправленную контрольную работу студент повторно высылает в университет, обязательно прилагая первый вариант своего решения с замечаниями преподавателя.

Таблица 1

Номера задач в контрольных работах

Последняя цифра шифра	Для специальностей МОЛК, МАХП	Для специальностей ТДП, ЛИД	Для специальностей ПОиСОИ, АПП
1	21, 30, 40, 50, 57, 66	2, 28, 37, 47, 64, 73	2, 11, 42, 52, 60, 69
2	22, 31, 41, 51, 58, 67	3, 27, 36, 46, 63, 72	3, 12, 41, 51, 59, 68
3	23, 32, 42, 52, 59, 68	4, 26, 35, 45, 62, 71	4, 13, 40, 50, 58, 67
4	24, 33, 43, 53, 60, 69	5, 25, 34, 44, 61, 70	5, 14, 39, 49, 57, 66
5	25, 34, 44, 54, 61, 70	6, 24, 33, 43, 60, 69	6, 15, 44, 54, 56, 65
6	26, 35, 45, 55, 62, 71	7, 23, 32, 41, 59, 68	7, 16, 45, 55, 62, 72
7	27, 36, 46, 49, 63, 72	8, 22, 31, 42, 58, 67	8, 17, 46, 50, 63, 71
8	28, 37, 47, 50, 64, 73	9, 21, 30, 40, 57, 66	9, 18, 47, 49, 64, 65
9	20, 38, 48, 51, 56, 65	1, 20, 29, 39, 56, 65	1, 19, 48, 54, 60, 73
0	20, 29, 39, 49, 56, 65	1, 23, 38, 48, 60, 70	1, 10, 43, 53, 61, 70

Задачи

Задача 1. Автоклав, диаметр цилиндрической части которого d и длина l , имеет днище и крышку в форме полусферы. Определить, какой объем воды ΔV потребуется дополнительно закачать, чтобы поднять давление от 0 до p , с учетом, что коэффициент сжимаемости $\beta_p = 0,42 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Данные для расчета взять из табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , м	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
l , м	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
p , МПа	9,8	10	10,2	10,4	10,6	10,8	11	11,2	11,4	11,6

Задача 2. Автоклав объемом V наполнен водой и закрыт герметично. Определить повышение давления в нем Δp при увеличении температуры воды на Δt , если коэффициент температурного расширения $\beta_t = 0,00018^\circ\text{C}^{-1}$, а коэффициент сжимаемости $\beta_p = 0,42 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Изменением объема автоклава пренебречь. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$V, \text{ м}^3$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$\Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58

Задача 3. Трубопровод диаметром d , длиной l подготовлен к гидравлическому испытанию, заполнен водой при атмосферном давлении. Какое количество воды необходимо дополнительно подать в трубопровод, чтобы давление в нем поднялось до p ? Модуль упругости $E = 1,96 \cdot 10^9$ Па. Данные для расчета взять из табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{ мм}$	300	250	200	150	100	150	200	250	300	350
$l, \text{ м}$	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
$p, \text{ МПа}$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Задача 4. Для испытания на прочность резервуара с водой произведена опрессовка под давлением p_1 . Через сутки давление вследствие утечек из резервуара понизилось до p_2 . Определить величину утечек из резервуара, если модуль упругости воды $E = 2,03 \cdot 10^9$ Па. Резервуар имеет форму цилиндра диаметром d и высотой h . Данные, необходимые для решения, взять из табл. 5.

Таблица 5

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$p_1, \text{ МПа}$	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$p_2, \text{ МПа}$	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4
$d, \text{ м}$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$h, \text{ м}$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1

Задача 5. В вертикальном резервуаре диаметром d хранится дизельное топливо в количестве m . Определить изменение объема топлива в резервуаре и размах колебаний уровня при изменении температуры от t_1 до t_2 . Коэффициент температурного расширения

$\beta_t = 0,0008^\circ\text{C}^{-1}$. Плотность дизельного топлива $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 6.

Таблица 6

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{ м}$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m, \text{ т}$	40	55	60	65	70	75	80	85	90	95
$t_1, ^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	20	15	10	5
$t_2, ^\circ\text{C}$	25	30	35	40	35	30	25	30	35	40

Задача 6. Определить наименьший объем расширительного резервуара в системе водяного отопления с тем, чтобы он полностью не опорожнялся. Колебания температуры от t_1 до t_2 . Объем воды в системе V . Коэффициент температурного расширения $\beta_t = 0,0006^\circ\text{C}^{-1}$. Данные для расчета взять из табл. 7.

Таблица 7

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t_1, ^\circ\text{C}$	70	75	80	75	70	75	80	75	70	75
$t_2, ^\circ\text{C}$	95	100	105	110	115	110	105	100	95	110
$V, \text{ м}^3$	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0

Задача 7. При гидравлическом испытании трубопровода диаметром d и длиной l давление воды в трубопроводе было поднято до p_1 . Через час давление упало до p_2 . Определить, сколько воды вытекло через неплотности (деформацией трубопровода пренебречь). Коэффициент сжимаемости воды $\beta_p = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Данные для расчета взять из табл. 8.

Таблица 8

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{ мм}$	400	450	500	550	600	550	500	450	400	450
$l, \text{ м}$	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
$p_1, \text{ МПа}$	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6	6,1	6,2	6,3	6,4
$p_2, \text{ МПа}$	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9

Задача 8. Определить на какую высоту Δh поднимается уровень нефтепродукта в резервуаре диаметром D , глубиной наполнения H при увеличении температуры на Δt , если температурный коэффициент объемного расширения нефтепродукта $\beta_t = 0,00092^\circ\text{C}^{-1}$. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 9.

Таблица 9

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , м	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5
H , м	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Δt , $^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	35	30	25	20	25

Задача 9. Трубопровод диаметром D и длиной l наполнен водой при давлении p_1 и температуре t_1 . Определить избыточное давление в нем при нагревании воды до t_2 (деформацией трубопровода пренебречь). Температурный коэффициент объемного расширения $\beta_t = 0,00015^\circ\text{C}^{-1}$, а коэффициент сжимаемости $\beta_p = 0,49 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 10.

Таблица 10

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , мм	300	350	400	450	500	450	400	350	300	200
l , м	500	550	600	650	700	750	800	750	700	500
p_1 , кПа	300	400	500	600	500	400	300	200	100	300
t_1 , $^\circ\text{C}$	10	12	14	16	18	20	18	16	14	12
t_2 , $^\circ\text{C}$	20	25	30	35	40	35	30	25	20	25

Задача 10. К резервуару, наполненному бензином (относительная плотность $\delta = 0,7$) до высоты ∇B , присоединены три различных прибора для измерения давления. К крышке резервуара присоединен пружинный манометр, к боковым стенкам – пьезометр и трехколенный манометр, наполненный ртутью ($\delta = 13,6$), водой и воздухом.

Определить показания M манометра и H пьезометра, если уровни жидкостей в трехколенном манометре расположились так, как показано на рисунке (отметки уровней даны в метрах). Данные для расчета взять из табл. 11.

Таблица 11

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
∇A	0,7	0,6	0,5	0,8	0,4	0,9	1	1,1	1,2	0,6
∇B	2	2,2	1,8	1,9	2,1	2,4	2,3	1,7	1,5	1,9

Задача 11. Найти давление p воздуха в резервуаре B , если избыточное давление на поверхности воды в резервуаре A равно M , разности уровней ртути ($\delta = 13,6$) в двухколенном дифференциальном манометре h_1 и h_2 , а мениск ртути в левой трубке манометра ниже уровня воды на h . Пространства между уровнями ртути в манометре заполнено спиртом ($\delta = 0,8$). Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 12.

Таблица 12

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15
h_1 , мм	200	190	180	210	215	220	230	240	245	230
h_2 , мм	250	260	240	270	265	270	255	275	290	270
M , кПа	25	20	30	35	40	45	50	55	60	65

Задача 12. Покоящийся на неподвижном поршне и открытый сверху и снизу сосуд массой m состоит из двух цилиндрических частей, внутренние диаметры которых равны D и d . Определить, какой минимальный объем W воды должен содержаться в верхней части сосуда, чтобы сосуд всплыл над поршнем. Трением сосуда о поршень пренебречь. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 13.

Таблица 13

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m , кг	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	5
D , м	0,55	0,5	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,6
d , м	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,5

Задача 13. Цилиндрический сосуд диаметром D и высотой a , заполненный водой, опирается на плунжер диаметром d . Определить

показание манометра M и нагрузки на болтовые группы A и B , если масса верхней крышки сосуда m_1 , цилиндрической части сосуда m_2 и нижней крышки сосуда m_3 . Данные для расчета взять из табл. 14.

Таблица 14

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , м	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65
a , м	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
d , м	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
m_1 , кг	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	38,0	39,0
m_2 , кг	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0
m_3 , кг	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0

Задача 14. Гидравлический мультипликатор (повыситель давления) получает от насоса воду под избыточным давлением p_1 . При этом заполненный водой подвижный цилиндр A с внешним диаметром D скользит по неподвижной скалке C , имеющей диаметр d , создавая на выходе из мультипликатора давление p_2 .

Определить давление p_2 (принять силу трения в сальниках равной 10% от силы, развиваемой на цилиндре давлением p_1 , и пренебречь давлением в линии обратного хода). Вес подвижных частей мультипликатора $G = 2000$ Н. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 15.

Таблица 15

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_1 , МПа	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
D , мм	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
d , мм	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140

Задача 15. Определить диаметр D_1 гидравлического цилиндра, необходимый для подъема задвижки при избыточном давлении жидкости p , если диаметр трубопровода D_2 и вес подвижных частей устройства G . При расчете коэффициент трения задвижки в направляющих поверхностях принять равным $f = 0,3$, силу трения в цилиндре считать равной 5% от веса подвижных частей. Давление за задвижкой равно атмосферному. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 16.

Таблица 16

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p , МПа	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
G , кН	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	2,25	2,5	2,75	3
D_2 , м	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,5

Задача 16. При зарядке гидравлического аккумулятора насос подает воду в цилиндр A , поднимая плунжер B вместе с грузом вверх. При разрядке аккумулятора плунжер, скользя вниз, выдавливает своим весом воду из цилиндра в гидравлические прессы. Определить:

1. Давление воды при зарядке (развиваемое насосом) и при разрядке (получаемое прессами) аккумулятора, если вес плунжера вместе с грузом G и диаметр плунжера D . Плунжер уплотнен манжетой, высота которой b , и коэффициент трения о плунжер $f = 0,1$.

2. Работу, затраченную на зарядку аккумулятора, и работу, совершаемую аккумулятором при его разрядке, если полная высота подъема плунжера H .

3. Коэффициент полезного действия аккумулятора.

Данные, необходимые для решения, взять из табл. 17.

Указание. Давление p воды в цилиндре аккумулятора считать одинаковым во всех точках. Силу трения T манжеты о плунжер подсчитывать как произведение прижимающей силы на коэффициент трения:

$$T = p\pi Dbf.$$

Таблица 17

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
G , МН	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
D , мм	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
b , мм	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
H , м	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5

Задача 17. Определить предварительное поджатие пружины x , нагружающей дифференциальный предохранительный клапан, необходимое для того, чтобы клапан открывался при давлении p . Диаметры поршней D_1 , D_2 , а жесткость пружины C . Данные для расчета взять из табл. 18.

Таблица 18

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p , МПа	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
D_1 , мм	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
D_2 , мм	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
C , Н/мм	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5

Задача 18. Гидравлический домкрат состоит из неподвижного поршня 1 и скользящего по нему цилиндра 2, на котором смонтированы корпус 6 (образующий масляную ванну домкрата) и плунжерный насос 5 ручного привода с всасывающим 4 и нагнетательным 3 клапанами.

Определить рабочее усилие R на рукоятке приводного рычага насоса, необходимое для поднятия груза P , если диаметр поршня домкрата D , диаметр плунжера насоса d и плечи приводного рычага a и b .

Принять КПД насоса $\eta_n = 0,65$ и КПД цилиндра $\eta_{ц} = 0,9$. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 19.

Указание. КПД насоса домкрата, представляющий собой отношение гидравлической энергии, полученной жидкостью от насоса, к работе, затраченной на привод насоса, определяется соотношением

$$\eta_n = \frac{pfs}{RS},$$

где p – давление нагнетания, развиваемое насосом в цилиндре домкрата;

f – площадь плунжера;

s и S – перемещения плунжера и рукоятки рычага соответственно.

КПД цилиндра, представляющий отношение полезной работы подъема груза к энергии, затраченной жидкостью на этот подъем, приводится к следующему выражению:

$$\eta_{ц} = \frac{P}{pF},$$

где F – площадь поршня.

Таблица 19

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P , кН	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
D , мм	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245

Окончание табл. 19

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	20	18	16	14	16	18	20	16	20	18
a , мм	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
b , мм	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790

Задача 19. Определить давление в гидросистеме и вес груза G , лежащего на поршне 2, если для его подъема к поршню 1 приложена сила F . Диаметры поршней D , d . Разностью высот пренебречь. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 20.

Таблица 20

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
D , мм	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
d , мм	80	90	100	110	120	130	140	140	160	170

Задача 20. Определить реакции верхнего и нижнего опорных брусьев, на которые опирается щит, перекрывающий прямоугольное отверстие плотины шириной b при уровнях воды в плотине H_1 и H_2 , угле наклона плотины α и расстоянии от верхнего опорного бруса до поверхности воды a . Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 21.

Таблица 21

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
b , м	3,0	4,0	5,0	4,0	5,0	3,0	3,0	4,0	5,0	4,0
H_1 , м	4,0	4,0	3,0	5,0	4,0	5,0	3,0	4,0	3,0	5,0
H_2 , м	1,2	2,0	1,0	2,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,0	2,0
a , м	0,5	0,7	0,5	0,8	0,8	1,0	0,4	0,6	0,5	1,2
α , град	60	45	30	60	45	30	60	45	45	60

Задача 21. Квадратное отверстие со стороной a в наклонной стенке резервуара с водой закрыто поворотным щитом. Определить натяжение каната T , если расстояние от оси шарнира до каната b , угол наклона к горизонту стенки резервуара α_1 , угол между канатом и

стенкой резервуара α_2 , глубина погружения от шарнира H . Данные для расчета взять из табл. 22.

Таблица 22

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
a , м	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,8
b , м	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,3	0,4	0,5	0,6
H , м	1,2	1,1	1,6	1,4	1,3	1,8	1,6	1,5	2,0	1,7
$\alpha_1 = \alpha_2$, град	60	45	30	60	45	30	60	45	30	45

Задача 22. В перегородке, разделяющей резервуар на две части, имеется прямоугольное отверстие, которое закрывается поворотным щитом высотой h и шириной b . Определить, какую силу T нужно приложить к тросу для поворота щита при уровнях воды в резервуаре H_1 , H_2 и угле наклона троса α . Найти реакцию донного порога R . Жидкость – вода. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 23.

Таблица 23

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4
b , м	0,8	1,0	1,2	1,2	0,8	1,0	1,0	1,2	0,8	1,0
H_1 , м	1,6	1,8	2,0	1,8	2,0	1,6	1,4	1,6	1,8	2,0
H_2 , м	1,0	0,8	1,2	0,6	1,0	0,6	1,0	0,8	1,0	1,2
α , град	60	45	30	60	45	30	60	45	30	60

Задача 23. Поворотный клапан закрывает выход из бензохранилища в трубу квадратного сечения. Определить, какую силу T нужно приложить к тросу для открытия клапана, если уровень бензина в хранилище H , угол наклона клапана α , расстояние от оси клапана до дна хранилища h , манометрическое давление паров p_m . Плотность бензина $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 24.

Таблица 24

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3
H , м	0,85	1,0	1,25	0,95	1,1	1,35	1,05	1,2	1,45	1,15

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_m , МПа	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1
α , град	45	30	60	45	30	60	45	30	60	45

Задача 24. Резервуар заполнен нефтью плотностью $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ до высоты H . Избыточное давление на поверхности $p_{и}$. Определить реакции шарнира A и стяжного болта B крышки люка, если диаметр патрубка d , и его центр расположен на расстоянии H_1 от дна резервуара. Вес крышки не учитывать. Данные для расчета взять из табл. 25.

Таблица 25

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
$p_{и}$, кПа	15	14,5	14	13,5	13	12,5	12	11,5	11	10,5
d , м	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
H_1 , м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4
a , м	0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79
b , м	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89

Задача 25. Закрытый резервуар высотой H разделен на два отсека вертикальной прямоугольной перегородкой шириной b . В левом отсеке уровень нефти H_1 ($\rho_n = 850 \text{ кг/м}^3$), в правом уровень воды H_2 ($\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$). Избыточное давление паров нефти $p_{и}$. Определить равнодействующую сил давления на перегородку и точку ее приложения. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 26.

Указание. В левом отсеке кроме силы давления нефти и паров на смоченную часть перегородки нужно учесть силу давления паров на несмоченную часть стенки.

Таблица 26

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	10	12	14	16	18	16	14	12	10	8
b , м	4	5	6	7	8	7	6	5	4	3
H_1 , м	8	10	12	14	16	14	12	10	8	6
H_2 , м	5	4	6	8	10	12	10	8	6	4
$p_{и}$, кПа	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2

Задача 26. Квадратное отверстие со стороной a в стенке резервуара с водой закрыто щитом OA , который прижимается грузом G , подвешенным на рычаге длиной x . Расстояние от верхней кромки отверстия до оси вращения O равно h .

1. Найти минимальный вес груза G , достаточный для удержания воды в резервуаре на уровне H , если избыточное давление на поверхности $p_{и}$.

2. Будет ли удерживаться щит без груза, если над водой создать вакуум $p_{в}$?

Весом щита, рычага, а также трением в шарнире пренебречь.

Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 27.

Таблица 27

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
a , м	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
x , м	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59
h , м	0,3	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39
H , м	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$p_{и}$, кПа	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2	6,4	6,6	6,8
$p_{в}$, кПа	20	25	30	35	40	35	30	25	20	30

Задача 27. Вертикальная стенка длиной l (в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа), шириной b и высотой H_0 разделяет бассейн с водой на две части. В левой части поддерживается уровень воды H_1 , в правой – H_2 . Найти величину опрокидывающего момента, действующего на стенку, а также определить, будет ли стенка устойчива против опрокидывания, если плотность материала стенки $\rho_{ст} = 2500 \text{ кг/м}^3$. Данные, необходимые для расчета, взять из табл. 28.

Таблица 28

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , м	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
b , м	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
H_0 , м	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	2,9	2,8	2,7	2,6
H_1 , м	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
H_2 , м	0,8	0,7	0,6	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1

Задача 28. Замкнутый резервуар разделен на две части плоской перегородкой, имеющей квадратное отверстие со стороной a , закрытое крышкой. Давление над жидкостью в левой части резервуара определяется показаниями манометра p_m , давление воздуха в правой части – показаниями моновакуумметра p_v . Определить величину результирующей силы давления на крышку, если расстояние от поверхности жидкости до крышки h . Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 29.

Таблица 29

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_m , МПа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
p_v , кПа	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
h , м	1,5	2,5	3,5	4,0	4,5	5	4	3	2,5	4,5
a , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3

Задача 29. В прямоугольном окне вертикальной стенки резервуара установлен на цапфах цилиндрический затвор диаметром D и шириной b . Определить суммарное усилие на цапфы и момент от воздействия воды на затвор при напоре H . Данные для решения взять из табл. 30.

Таблица 30

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , м	0,8	1,2	1,0	1,2	1,0	0,8	1,0	0,8	1,2	1,0
b , м	3	4	5	5	3	4	3	4	5	5
H , м	1	2	1,5	1	1,5	2	2	1	1,5	2

Задача 30. Определить величину и направление равнодействующей давления воды на криволинейную стенку резервуара в виде четверти цилиндрической поверхности радиусом R и шириной b , если глубина воды в резервуаре H и давление на поверхности p_m . Данные взять из табл. 31.

Таблица 31

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
R , м	0,6	0,8	0,5	0,4	0,6	0,4	0,8	0,6	0,4	0,5
b , м	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	2	1,5	1,8	1,3	1,5	1,0	2	1,5	1,5	1,0
p_m , кПа	5	10	5	10	5	10	5	10	5	1

Задача 31. Определить растягивающее и срезающее усилия, действующие на болты, которыми прикреплена полусферическая крышка радиуса R , закрывающая круглое отверстие в наклонной стенке резервуара с уровнем воды H , если угол наклона крышки к горизонту α . Данные, необходимые для решения, взять из табл. 32.

Таблица 32

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	1,2	1,0	1,5	1,2	1,4	1,0	1,3	1,1	1,4	1,2
R , м	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5
α , град	60	45	30	45	60	30	45	45	60	45

Задача 32. Определить величину и направление равнодействующей давления воды на цилиндрический затвор плотины, перекрывающий прямоугольное донное отверстие высотой d и шириной b . Глубина воды слева H_1 , справа H_2 . Данные для расчета взять из табл. 33.

Таблица 33

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , м	1,2	1,0	1,4	1,2	1,0	1,4	1,4	1,2	1,0	1,2
b , м	6	5	4	3	3	4	5	6	4	5
H_1 , м	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
H_2 , м	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6

Задача 33. Закрытый резервуар заполнен дизельным топливом, температура которого 20°C . В вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие ($D \times b$), закрытое полуцилиндрической крышкой. Она может повернуться вокруг горизонтальной оси A . Мановакуумметр MV показывает манометрическое давление p_m или вакуум p_v . Глубина топлива над крышкой равна H . Определить усилие

F , которое необходимо приложить к нижней части крышки, чтобы она не открывалась. Силой тяжести крышки пренебречь. На схеме показать векторы действующих сил. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 34.

Таблица 34

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_m , кПа	11,4	0	–	4,68	–	7,66	–	0	13,2	–
p_b , кПа	–	–	2,85	–	3,42	–	8,45	–	–	4,26
D , м	0,94	1,4	0,86	0,9	1,10	0,68	0,82	1,20	1,00	0,96
b , м	1,7	2,65	1,42	1,67	1,75	1,1	1,45	2,3	1,8	1,63
H , м	0,96	1,65	0,76	0,52	0,95	1,15	1,5	0,85	0,65	0,93

Задача 34. Вертикальная цилиндрическая цистерна с полусферической крышкой до самого верха заполнена жидкостью, плотность которой ρ . Диаметр цистерны D , высота цилиндрической части H . Манометр M показывает манометрическое давление p_m . Определить силу, растягивающую болты A , и горизонтальную силу, разрывающую цистерну по сечению $I-I$. Силой тяжести крышки пренебречь. Векторы сил показать на схеме. Данные для расчета взять из табл. 35.

Таблица 35

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , м	2,4	1,7	2,8	2,0	1,8	2,6	2,1	1,6	2,2	1,9
H , м	4,1	3,0	5,3	3,7	3,4	4,8	4,3	3,2	4,5	3,8
p_m , кПа	32,3	18,6	0	19,1	0	26,7	21,4	0	16,2	14,2
ρ , кг/м ³	980	930	890	1090	1130	950	970	998	1220	1000

Задача 35. Круглое отверстие между двумя резервуарами закрыто конической крышкой с размерами D и L . Закрытый резервуар заполнен водой, а открытый – жидкостью \mathcal{J} . К закрытому резервуару сверху присоединен мановакуумметр MV , показывающий манометрическое давление p_m или вакуум p_b . Температура жидкостей 20°C , глубины h и H . Определить силу, срезающую болты A , и горизонтальную силу, действующую на крышку. Силой тяжести крышки пренебречь. Векторы сил показать на схеме. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 36.

Таблица 36

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>Ж</i>	Бензин	Керосин Т1	Дизельное топливо	Глицерин	Бензин	Дизельное топливо	Нефть тяжёлая	Керосин Т2	Нефть легкая	Глицерин
<i>D</i> , мм	700	620	450	570	640	500	390	600	520	550
<i>L</i> , мм	550	560	410	470	530	420	360	540	440	460
<i>h</i> , м	2,4	1,96	1,48	2,1	2,15	1,4	1,69	1,82	1,1	1,5
<i>H</i> , м	3,2	2,35	1,7	2,6	2,75	1,6	1,9	2,25	1,4	1,75
<i>p_м</i> , кПа	0	–	0	27,9	–	0	–	37,5	–	16,2
<i>p_в</i> , кПа	–	24,1	–	–	28,9	–	37,7	–	25,6	–

Задача 36. Найти горизонтальную и вертикальную составляющие суммарного давления воды на полусферическую крышку *ABC*, если манометрическое давление на свободной поверхности в сосуде равно p_0 , радиус полусферы – R , глубина погружения крышки – H . Данные для расчета взять из табл. 37.

Таблица 37

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>p₀</i> , МПа	0,5	0,2	0,15	0,25	0,3	0,22	0,4	0,8	1,0	0,7
<i>R</i> , м	0,8	0,5	0,4	1,25	1,4	0,3	0,45	0,3	0,45	0,32
<i>H</i> , м	3,0	4,0	3,4	2,4	3,5	2,8	3,2	2,6	2,5	3,8

Задача 37. Шаровой клапан перекрывает отверстие диаметром d . Диаметр клапана D . Чему равна вертикальная составляющая суммарного давления воды на клапан при разности в резервуарах, равной H ? Данные, необходимые для решения, взять из табл. 38.

Таблица 38

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>D</i> , мм	200	100	300	240	180	200	150	280	220	120
<i>d</i> , мм	50	25	100	80	50	100	60	60	70	40
<i>H</i> , м	2,5	3,5	2,0	4,2	3,4	1,6	0,8	2,2	3,8	3,4

Задача 38. Чему равна горизонтальная и вертикальная составляющие суммарного давления воды на полусферический затвор ABC ? Разность уровней перед затвором и за ним равна H . Радиус полусферы равен R .

Данные, необходимые для расчета, взять из табл. 39.

Таблица 39

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, \text{м}$	3,0	2,5	1,5	2,4	2,0	1,8	4,5	3,4	3,2	2,8
$R, \text{м}$	1,2	0,8	1,5	1,6	0,9	1,4	2,1	1,6	1,0	2,5

Задача 39. При истечении жидкости из резервуара в атмосферу по горизонтальной трубе диаметра d и длиной $2l$ уровень в пьезометре, установленном посередине длины трубы, равен h .

Определить расход Q и коэффициент гидравлического трения трубы λ при условии, что статический напор в баке постоянный и равняется H .

Построить пьезометрическую и напорную линии. Сопротивлением входа в трубу пренебречь.

Данные, необходимые для расчета, взять из табл. 40.

Таблица 40

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, \text{м}$	10	10	7	8	7	9	10	9	8	7
$h, \text{м}$	4,5	4,5	3	3,5	3	4	4,5	4	3,5	3
$l, \text{м}$	4,6	4,5	3	6	4	4	5,2	6,7	4,65	2
$d, \text{мм}$	30	30	30	50	40	30	35	50	40	20

Задача 40. Жидкость $Ж$ подается в открытый верхний бак по вертикальной трубе длиной l и диаметром d за счет давления воздуха в нижнем замкнутом резервуаре.

Определить давление p воздуха, при котором расход будет равен Q . Принять следующие коэффициенты сопротивления: вентиля $\xi_{\text{в}} = 8,0$; входа в трубу $\xi_{\text{вх}} = 0,5$; выхода в бак $\xi_{\text{вых}} = 1,0$. Эквивалентная шероховатость стенок трубы $k_s = 0,2$ мм.

Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 41.

Таблица 41

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
\mathcal{J}	Вода	Масло трансформаторное	Бензин	Керосин	Глицерин	Вода	Масло трансформаторное	Вода	Бензин	Глицерин
Q , л/с	4	8	0,7	1,5	2,5	10	6	7,5	8	6
l , м	6	8	10	6	8	10	12	8	6	15
d , мм	50	70	20	30	40	80	60	70	70	60

Задача 41. Поршень диаметром D движется равномерно вниз в цилиндре, подавая жидкость \mathcal{J} в открытый резервуар с постоянным уровнем. Диаметр трубопровода d , его длина l . Когда поршень находится ниже уровня жидкости в резервуаре на $H = 5$ м, необходимая для его перемещения сила равна F . Определить скорость поршня и расход жидкости в трубопроводе. Построить напорную и пьезометрическую линию для трубопровода. Коэффициент гидравлического трения трубы принять $\lambda = 0,03$. Коэффициент сопротивления входа в трубу $\xi_{\text{вх}} = 0,5$. Коэффициент сопротивления выхода в резервуар $\xi_{\text{вых}} = 1,0$. Данные для расчета взять из табл. 42.

Таблица 42

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
\mathcal{J}	Вода	Керосин	Бензин	Масло трансформаторное	Вода	Масло трансформаторное	Глицерин	Нефть	Бензин	Керосин
F , кН	12,4	27,7	16,7	12,4	22	5,5	3,1	1,37	16,7	8,55
D , мм	180	270	210	180	240	120	90	60	210	150
d , мм	60	90	70	60	80	40	30	20	70	50
l , м	18	27	21	18	24	12	9	6	21	15

Задача 42. Определить диаметр трубопровода, по которому подается жидкость \mathcal{J} с расходом Q , из условия получения в нем макси-

мально возможной скорости при сохранении ламинарного режима. Температура жидкости $t = 20^\circ\text{C}$. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 43.

Таблица 43

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
\mathcal{J}	Керосин	Бензин	Вода	Глицерин	Масло трансформаторное	Вода	Масло трансформаторное	Бензин	Вода	Керосин
Q , л/с	0,12	0,35	0,05	45	65,0	0,05	12,0	0,35	0,05	0,12

Задача 43. По трубопроводу диаметром d и длиной l движется жидкость \mathcal{J} . Чему равен напор H , при котором происходит смена ламинарного режима турбулентным? Местные потери напора не учитывать. Температура жидкости $t = 20^\circ\text{C}$. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 44.

Таблица 44

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
\mathcal{J}	Керосин	Масло веретенное	Вода	Масло веретенное	Керосин	Бензин	Вода	Керосин	Вода	Масло трансформаторное
d , мм	50	100	10	100	45	40	8	50	12	60
l , м	12	3	700	4	15	10	700	10	700	2

Задача 44. При ламинарном режиме движение жидкости по горизонтальному трубопроводу диаметром $d = 30$ мм расход равнялся Q , а падение пьезометрической высоты на участке данной l составило h_l . Определить кинематический и динамический коэффициенты вязкости перекачиваемой жидкости. Данные для расчета взять из табл. 45.

Таблица 45

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	2,59	2,85	3,06	3,30	3,52	3,76	4,00	4,72	4,47	4,70
l , м	2,25	2,76	3,18	3,55	3,86	1,55	1,95	2,30	2,61	2,90
h_l , мм	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70

Задача 45. Чему должно быть равно манометрическое давление p_m на поверхности жидкости в закрытом резервуаре A для того, чтобы обеспечить подачу жидкости $Ж$ в количестве Q при температуре 20°C в открытый резервуар B ? Разность уровней в резервуарах H . Трубопровод имеет длину $2l$ и диаметр d . Посредине него установлен обратный клапан K , коэффициент местного сопротивления которого $\xi_{\text{кл}}$. Построить пьезометрическую и напорную линии. Данные для расчета взять из табл. 46.

Таблица 46

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Материал и характеристика трубопровода	Сталь нержавеющая 0,03 мм	Латунь 0,005 мм	Сталь сварная, новая 0,05	Алюминиевый сплав 0,005	Чугун, новый 0,3	Медь 0,005	Сталь цинкованная 0,15	Чугун, Старый 1,0	Алюминий 0,005	Сталь нержавеющая 0,03
Жидкость $Ж$	Масло трансформаторное	Вода пресная	Масло касторовое	Масло веретенное АУ	Бензин авиационный	Керосин Т-1	Глицерин	Керосин Т-1	Вода пресная	Масло касторовое
Q , л/с	1,8	3	1,1	1,2	2,8	3,1	1,5	2,5	2,6	2,2
H , м	6,2	7	5,8	6,4	6,7	6,2	7,1	6,7	6	6,5
l , м	3,4	5,8	3,2	3,6	5	6,2	2,8	4,8	5,6	5,4
d , мм	70	50	60	70	70	60	70	50	50	65
$\xi_{\text{кл}}$	9	8,5	8	7,5	6	5	4,5	5,5	6,5	6,5

Задача 46. В баке A жидкость $Ж$ подогревается до температуры $T^\circ\text{C}$ и самотеком по трубопроводу длиной l_1 попадает в производственный цех. Напор в баке A равен H . Каким должен

быть диаметр трубопровода, чтобы обеспечивалась подача жидкости в количестве Q при манометрическом давлении в конце трубопровода не ниже p_m ? При расчете принять, что местные потери напора составляют 20% от потерь по длине. Построить пьезометрическую и напорную линии. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 47.

Таблица 47

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Материал и характеристика трубопровода	Сталь нержавеющая	Латунь	Сталь сварная, новая	Алюминиевый сплав	Чугун, новый	Медь	Сталь цинкованная	Чугун, старый	Алюминий	Сталь нержавеющая
Жидкость J	Масло трансформаторное	Вода пресная	Масло касторовое	Масло веретенное АУ	Бензин авиационный	Керосин Т-1	Глицерин	Керосин Т-1	Вода пресная	Масло касторовое
Q , л/с	1,8	3	1,1	1,2	2,8	3,1	1,5	2,5	2,6	2,2
T , °С	76	55	80	65	69	75	79	80	70	72
H , м	6,2	7	5,8	6,4	6,7	6,2	7,1	6,7	6	6,5
l_1 , м	3,4	5,8	3,2	3,6	5	6,2	2,8	4,8	5,6	5,4
p_m , кПа	23	18	15	20	22	24	21	24	23	17

Задача 47. Из большого открытого резервуара A , в котором поддерживается постоянный уровень жидкости, по трубопроводу, состоящему из двух последовательно соединенных труб, жидкость при температуре 20°C течет в резервуар B . Разность уровней жидкости в резервуарах равна H . Длина труб l_1 и l_2 , а их диаметры d_1 и d_2 . Определить расход Q жидкости, протекающей по трубопроводу. В расчетах принять, что местные потери напора составляют 15% от потерь по длине. Данные, необходимые для решения задачи, взять из табл. 48.

Таблица 48

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Материал и характеристика трубопровода	Чугун, новый	Сталь нержавеющая	Алюминий	Чугун, старый	Медь	Сталь цинкованная	Алюминиевый сплав	Сталь сварная, старая	Медь	Чугун, новый
Жидкость \mathcal{J}	Глицерин	Бензин авиационный	Керосин Т-1	Вода пресная	Керосин Т-1	Керосин Т-2	Масло индустриальное 20	Вода пресная	Керосин Т-1	Глицерин
H , м	6,8	7,2	8	6,8	9,2	7,6	9,8	6,3	8,2	9,5
l_1 , м	6,8	9,2	10	12	8,9	8,2	7,1	13	7,8	9,5
l_2 , м	8,2	11	9,8	13,1	7,8	9	7,4	10	8,2	8,4
d_1 , мм	70	50	60	40	50	60	70	40	50	55
d_2 , мм	50	40	40	32	40	50	50	32	40	38

Задача 48. Из большого открытого резервуара A , в котором поддерживается постоянный уровень жидкости \mathcal{J} , по трубопроводу, состоящему из трех труб, длина которых l , l_1 , l_2 , а диаметры d , d_1 , d_2 , жидкость \mathcal{J} при температуре 20°C течет в резервуар B . Разность уровней жидкости в резервуарах равна H . Определить: 1) расход жидкости, протекающей в резервуар B ; 2) распределение расхода жидкости между параллельно соединенными трубами 1 и 2. В расчетах принять, что местные потери напора составляют 10% от потерь по длине. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 49.

Таблица 49

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Материал и характеристика трубопровода	Чугун, новый	Сталь нержавеющая	Алюминий	Чугун, старый	Медь	Сталь цинкованная	Алюминиевый сплав	Сталь сварная, старая	Медь	Чугун, новый

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Жидкость J	Глицерин	Бензин авиационный	Керосин Т-1	Вода пресная	Керосин Т-1	Керосин Т-2	Масло индустриальное 20	Вода пресная	Керосин Т-1	Глицерин
H , м	6,8	7,2	8	6,8	9,2	7,6	9,8	6,3	8,2	9,5
$l = l_1$, м	6,8	9,2	10	12	8,9	8,2	7,1	13	7,8	9,5
l_2 , м	8,2	11	9,8	13,1	7,8	9	7,4	10	8,2	8,4
d , мм	70	50	60	40	50	60	70	40	50	55
$d_1 = d_2$, мм	50	40	40	32	40	50	50	32	40	38

Задача 49. На поршень диаметром D действует сила F . Определить скорость движения поршня, если в цилиндре находится вода, диаметр отверстия в поршне d , толщина поршня a . Силой трения поршня о цилиндр пренебречь, давление жидкости на верхнюю плоскость поршня не учитывать. Данные для расчета взять из табл. 50.

Таблица 50

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	40	90	70	110	30	70	200	20	10	20
D , мм	200	300	250	300	200	150	350	200	200	250
d , мм	10	15	12	14	16	10	15	12	14	16
a , мм	45	60	55	50	70	15	20	20	25	30

Задача 50. Определить длину трубы l , при которой расход жидкости из бака будет в два раза меньше, чем через отверстие того же диаметра d . Напор над отверстием равен H . Коэффициент гидравлического трения в трубе принять $\lambda = 0,025$. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 51.

Таблица 51

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	6	5	4	5	6	5	4	8	7	6
d , мм	30	50	70	90	70	50	40	60	80	70

Задача 51. В бак, разделенный тонкой перегородкой на два отсека, поступает расход воды Q . В перегородке имеется отверстие диаметром d_1 . Из второго отсека вода сливается наружу через цилиндрический насадок диаметром d_2 . Определить глубину воды в отсеках над центром отверстий. Данные для расчета взять из табл. 52.

Таблица 52

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	28	26	30	20	20	30	25	30	25	20
d_1 , мм	100	75	100	75	100	75	100	75	75	100
d_2 , мм	75	75	50	50	75	75	75	50	50	50

Задача 52. В бак, разделенный тонкой перегородкой на два отсека, поступает расход воды Q . В дне каждого отсека имеются одинаковые отверстия диаметром d_1 , d_2 , а в перегородке – отверстие диаметром d_3 . Определить расходы через донные отверстия Q_1 и Q_2 . Данные для расчета взять из табл. 53.

Таблица 53

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
$d_1 = d_2$, мм	100	100	100	150	125	75	75	75	100	125
d_3 , мм	150	125	100	150	100	75	100	125	75	75

Задача 53. В баке, имеющем в дне отверстие диаметром d_1 и в стенке отверстие, снабженное цилиндрическим насадком, диаметром d_2 , установился уровень воды на высоте H . Определить, какой расход воды Q поступает в бак, если центр бокового отверстия возвышается над дном бака на высоту h . Данные для расчета взять из табл. 54.

Таблица 54

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	100	75	125	100	75	125	100	75	125	125
d_2 , мм	60	75	100	100	60	75	75	100	60	125
H , м	2	1,8	1,6	1,4	2	1,6	1,8	1,4	1,8	1,6
h , м	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3

Задача 54. Определить, какой объем воды W был налит в цилиндрический бак диаметром D , если вся вода вытекла из него через отверстие в дне диаметром d за время t . Какое время t_1 потребуется для опорожнения такого же объема воды, если уменьшить диаметр бака в полтора раза? Данные, необходимые для решения, взять из табл. 55.

Таблица 55

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , м	1	1,4	0,8	0,9	1,3	0,7	0,8	1,2	0,6	0,7
d , мм	100	125	75	100	125	75	100	125	75	100
t , с	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50

Задача 55. Призматический бак высотой H с дном площадью Ω соединен с резервуаром с цилиндрическим насадком диаметром d . Расстояние от дна бака до центра отверстия h . Определить, за какое время наполнится бак, если уровень воды в резервуаре не меняется. Данные для расчета взять из табл. 56.

Таблица 56

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	2	1,5	2	1,5	2	1,5	2,5	2,2	2,2	2,2
Ω , м ²	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6
d , мм	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50
h , м	0,5	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5

Задача 56. При числе оборотов вала n_1 центробежный насос имеет производительность Q . Определить возможное увеличение высоты всасывания насоса при уменьшении числа оборотов вала до n_2 . Диаметр всасывающей линии d , суммарный коэффициент сопротивления ξ . Температура воды. Данные для расчета взять из табл. 57 и табл. П.5.

Таблица 57

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n_1 , мин ⁻¹	1450	1500	1400	1300	1350	1400	1500	1450	1300	1400
Q , м ³ /час	120	130	110	100	120	130	140	110	100	120

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$n_2, \text{мин}^{-1}$	950	900	950	900	950	1000	950	900	1000	950
$d, \text{мм}$	125	130	135	140	135	130	125	130	135	140
ξ	12	10	8	6	8	10	12	10	8	6
$t, ^\circ\text{C}$	40	35	30	25	20	25	30	35	40	25

Задача 57. Насос с заданной при числе оборотов $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$ характеристикой перекачивает воду из резервуара с отметкой $\nabla 5 \text{ м}$ в резервуар с отметкой $\nabla 16 \text{ м}$ по трубопроводам l_1, d_1 ($\sum \xi_1 = 2, \lambda_1 = 0,025$) и l_2, d_2 ($\sum \xi_2 = 12, \lambda_2 = 0,027$). Определить подачу насоса Q , напор H_n и потребляемую мощность N_n . Найти число оборотов насоса n_x , необходимое для увеличения его подачи на 50%. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 58.

Таблица 58

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1, \text{м}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$d_1, \text{мм}$	100	110	120	130	140	130	125	120	110	100
$l_2, \text{м}$	30	25	20	15	20	25	30	25	20	15
$d_2, \text{мм}$	75	80	85	90	85	75	70	80	90	75

Задача 58. Центробежный насос с известной характеристикой откачивает воду из сборного колодца в бассейн с постоянным уровнем H по трубопроводам l_1, d_1 и l_2, d_2 . При работе насоса с постоянным числом оборотов $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$ определить глубину h , на которой установится уровень воды в колодце, если приток в него Q . При расчетах принять коэффициенты гидравлического трения $\lambda_1 = 0,03$ и $\lambda_2 = 0,035$ и суммарные коэффициенты местных сопротивлений $\sum \xi_1 = 6$ и $\sum \xi_2 = 10$. Данные, необходимые для расчета, взять из табл. 59.

Таблица 59

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, \text{м}$	12	14	16	18	16	14	12	10	8	12
$l_1, \text{м}$	8	7	6	5	4	5	6	7	8	5
$d_1, \text{мм}$	100	110	115	120	125	130	135	140	135	100

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_2 , м	16	15	14	13	12	11	10	12	14	16
d_2 , мм	75	80	85	90	85	80	75	70	80	85
Q , л/с	8	7	6	5	6	7	8	7	6	7

Задача 59. Центробежный насос с заданной при числе оборотов $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ характеристикой забирает воду из бассейна с постоянным уровнем $\nabla 0$ и через промежуточный колодец подает ее в водонапорную башню с отметкой уровня $\nabla 20$ м.

Определить число оборотов и мощность, потребляемую насосом, если его подача в башню Q , расчетные длины труб (включающие все местные сопротивления при $\lambda = 0,03$): l_0 , l_1 , l_2 ; диаметры: d_0 , d_1 , d_2 .

При найденном числе оборотов определить наибольшую высоту z расположения оси насоса при условии, что вакуум на входе в него не должен превосходить 6 м вод. ст. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 60.

Таблица 60

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	60	55	50	45	40	45	50	55	60	55
l_0 , м	10	9	8	7	8	9	10	9	8	7
l_1 , м	10	7	8	9	7	8	9	7	8	9
l_2 , м	100	95	90	85	80	75	70	75	80	85
d_0 , м	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,24	0,23	0,22	0,20
d_1 , м	0,20	0,21	0,23	0,25	0,24	0,21	0,22	0,20	0,24	0,25
d_2 , м	0,15	0,16	0,17	0,18	0,15	0,16	0,17	0,18	0,16	0,17

Задача 60. Центробежный насос с заданной при числе оборотов $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ характеристикой поднимает воду на высоту H_T по трубам l_1 , d_1 ($\lambda_1 = 0,02$) и l_2 , d_2 ($\lambda_2 = 0,025$). Определить подачу Q_H насоса при работе его с числом оборотов $n = 900 \text{ мин}^{-1}$. Сравнить потребляемые насосом мощности при уменьшении его подачи на 25% дросселированием задвижкой или изменением числа оборотов. Местные сопротивления учтены эквивалентными длинами, включенными в заданные длины труб. Данные для расчета взять из табл. 61.

Таблица 61

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_T , м	6	7	8	9	8	7	6	7	8	9
l_1 , м	20	19	18	17	16	15	16	17	18	19
d_1 , м	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29
l_2 , м	100	95	90	85	80	85	90	95	100	85
d_2 , м	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24

Задача 61. В насосной установке вода подается на высоту H_T центробежным насосом с заданной характеристикой при высоте всасывания h_B . Нагнетательная и всасывающая трубы имеют диаметры d_H и d_B . Суммарный коэффициент сопротивления нагнетательной трубы (без учета задвижки на выходе из насоса) $\xi_H = 22$ и всасывающей трубы $\xi_B = 6$.

Определить наибольшую производительность насоса, допустимую по условиям всасывания им жидкости. Каково минимальное значение коэффициента сопротивления задвижки ξ_3 , при которой будет достигнута эта производительность? Какую мощность будет потреблять насос на этом предельном режиме? Данные, необходимые для решения, взять из табл. 62.

Таблица 62

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_T , м	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
h_B , м	4	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1
d_H , мм	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
d_B , мм	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145

Задача 62. Два последовательно соединенных одинаковых центробежных насоса с заданными характеристиками перекачивают воду при одинаковых числах оборотов $n_1 = n_2 = 1000 \text{ мин}^{-1}$ из водохранилища A в бассейн B по трубопроводу, состоящему из двух одинаковых участков длиной l и диаметром d каждый. Коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,02$. Определить подачу насосов и потребляемую ими мощность (местными потерями напора пренебречь). Как необходимо изменить число оборотов одного из насосов, чтобы увеличить подачу до 150 л/сек? Данные для расчета взять из табл. 63.

Таблица 63

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , м	1000	950	900	850	800	850	900	950	1000	900
d , мм	250	265	270	280	270	260	250	260	260	280

Задача 63. Центробежный насос, подающий воду из бака A в бак B на высоту H_r , снабжен обводной трубой, по которой часть его подачи возвращается на сторону всасывания. Диаметр всасывающей и нагнетательной труб d , их общая расчетная длина $L = l_1 + l_2$, коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,025$. Диаметр обводной трубы d_0 , ее суммарный коэффициент сопротивления $\xi = 25$.

С учетом заданной характеристики насоса определить подачу в верхний бак, напор насоса и потребляемую им мощность. Какова будет потребляемая насосом мощность, если такую же подачу в верхний бак осуществлять при выключенной обводной трубе путем прикрытия задвижки на линии нагнетания? Данные, необходимые для решения, взять из табл. 64.

Таблица 64

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_r , м	30	35	40	45	50	45	40	35	30	40
d , мм	100	105	110	115	120	115	110	105	100	110
L , м	250	240	245	235	230	250	245	240	235	230
d_0 , мм	50	55	60	55	50	60	55	50	55	60

Задача 64. Центробежный насос, характеристика которого задана в табл. 65, подает воду на геометрическую высоту H_r . Температура подаваемой воды $T = 20^\circ\text{C}$. Трубы всасывания и нагнетания соответственно имеют диаметр d_v и d_n , а длину – l_v и l_n . Эквивалентная шероховатость $\Delta_s = 0,06$ мм. Избыточное давление в нагнетательном резервуаре в процессе работы насоса остается постоянным и равно p_0 .

При построении характеристики насосной установки из местных гидравлических сопротивлений учесть плавные повороты труб с радиусами $R = 2d$, сопротивление задвижки с коэффициентом местного сопротивления ξ_3 и вход в резервуар.

Найти рабочую точку при работе насоса на сеть.

Определить, как изменяется напор и мощность насоса при уменьшении задвижкой подачи воды на 20%. Данные для расчета взять из табл. 66.

Таблица 65

Q, л/с	0	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
H, м	12	11,7	11,5	11,2	10,8	10,2	9,3	8,1	6	1,8
η , %	0	34	50	60	65	69	70	68	62	51

Таблица 66

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_r , м	0	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
l_B , м	4,5	4	5	5,5	6	6,5	5	4,5	5	10
l_H , м	10	9,5	18	15	17	20	22	25	29	30
d_B , мм	40	40	32	40	32	25	32	40	32	40
d_H , мм	20	25	20	25	16	25	20	25	32	32
p_0 , кПа	25	50	40	35	30	25	20	10	5	0
ξ_3	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,65	0,75

Задача 65. Шток силового гидроцилиндра C нагружен силой F и под действием давления p перемещается слева направо, совершая рабочий ход s за время t . Рабочая жидкость при этом из штоковой полости цилиндра сливается через дроссель DP . Диаметры поршня и штока соответственно равны $D_{п}$ и $D_{ш}$.

Определить необходимое давление p рабочей жидкости в левой части цилиндра и необходимую подачу Q . Потери давления в дросселе $\Delta p_d = 250$ кПа. КПД гидроцилиндра: объемный $\eta_o = 0,97$, механический $\eta_m = 0,90$. Данные для расчета взять из табл. 67.

Таблица 67

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	30	25	20	15	10	15	20	25	30	35
s , мм	500	560	450	400	360	320	360	400	450	500
t , с	20	25	18	15	13	10	15	25	30	35
$D_{п}$, мм	160	125	100	80	63	80	100	125	160	200
$D_{ш}$, мм	50	40	32	40	25	40	40	50	63	50

Задача 66. Рабочая жидкость – масло \mathcal{J} , температура которого 50°C – из насоса подводится к гидроцилиндру $\mathcal{Ц}$ через дроссель $\mathcal{ДР}$. Поршень цилиндра со штоком перемещается против нагрузки F со скоростью $v_{\text{п}}$. Вытесняемая поршнем жидкость со штоковой полости попадает в бак $\mathcal{Б}$ через сливную линию, длина которой равна $l_{\text{с}}$, а диаметр равен $d_{\text{с}}$. Определить внешнюю силу F , преодолеваемую штоком при его движении. Давление на входе в дроссель определяется показанием манометра M , а противодействие в штоковой полости цилиндра – потерями давления в сливной линии. Коэффициент расхода дросселя принять равным $\mu = 0,64$, а диаметр отверстия дросселя $d_{\text{д}}$. Диаметр поршня $D_{\text{п}}$, а диаметр штока $D_{\text{ш}}$. КПД гидроцилиндра: объемный $\eta_0 = 1,0$, механический $\eta_{\text{м}}$. Данные, необходимые для решения, взять из табл. 68.

Таблица 68

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
\mathcal{J}	Касторовое	Трансформаторное	АМГ-10	Веретенное АУ	Индустриальное 12	Индустриальное 20	Индустриальное 30	Индустриальное 50	Турбинное	Трансформаторное
$v_{\text{п}}$, см/с	2	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
l , м	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	2,4	2,3	2,2	2,1	2
$d_{\text{с}}$, мм	13	15	13	11	11	9	13	18	25	30
$p_{\text{м}}$, МПа	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	1,9	1,8	1,7	1,6
$d_{\text{д}}$, мм	7	7	5,5	4,9	4,7	4,5	6,3	8,5	11,5	15
$D_{\text{п}}$, мм	200	160	125	100	90	80	110	140	180	220
$D_{\text{ш}}$, мм	50	40	40	32	25	32	36	45	56	90
$\eta_{\text{м}}$	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,88	0,86	0,84	0,82

Задача 67. Вал гидродвигателя $\mathcal{Д}$, рабочий объем которого V_0 , нагружен крутящим моментом $M_{\text{к}}$. К двигателю подводится поток рабочей жидкости – масло \mathcal{J} , температура которого 60°C , с расходом Q . КПД гидродвигателя: объемный $\eta_0 = 0,96$, гидромеханический $\eta_{\text{гм}}$.

Определить частоту вращения вала гидродвигателя и показание манометра M , установленного непосредственно перед двигателем, если

потери давления в обратном клапане $K_{об}$ составляют $\Delta p_{кл} = 15,0$ кПа. Длина сливной линии равна l_c , а диаметр d_c . Эквивалентная шероховатость $\Delta_s = 0,05$ мм. Данные для расчета взять из табл. 69.

Таблица 69

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Ж$	Трансформаторное	Турбинное	АМГ-10	Веретенное АУ	Индустриальное 12	Индустриальное 20	Индустриальное 30	Индустриальное 50	Турбинное	Трансформаторное
Q , л/мин	18	20	22	24	26	28	30	35	40	50
V_0 , см ³	100	80	40	50	63	40	50	40	80	160
M_k , Нм	50	45	40	35	30	25	20	15	10	10
$\eta_{гм}$	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9	0,8	0,81	0,82	0,83
l_c , м	3	3,2	3,3	3,1	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2
d_c , мм	10	13	13	13	14	14	15	15	16	18

Задача 68. Силовой гидравлический цилиндр нагружен силой F и делает n двойных ходов в минуту. Длина хода поршня S , диаметр поршня D , диаметр штока d . Определить давление масла p , необходимую подачу Q и среднюю скорость поршня $v_{п.}$ Механический коэффициент полезного действия гидроцилиндра $\eta_{мех} = 0,95$, объемный коэффициент $\eta_{об} = 0,98$. Данные, необходимые для решения, взять из табл.70.

Таблица 70

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	90	80	70	60	50	60	70	80	90	100
S , см	100	115	120	100	110	105	120	130	105	112
n , мин ⁻¹	12	10	20	11	10	20	25	20	10	15
D , мм	145	150	130	120	110	120	130	140	145	155
d , мм	50	50	45	40	40	40	45	45	50	52

Задача 69. Перемещение поршней гидроцилиндров с диаметром $D = 25$ см осуществляется подачей рабочей жидкости ($v = 1,5$ см²/с, $\gamma = 14\ 000$ Н/м³) по трубам 1 и 2 одинаковой эквива-

лентной длины $l = 20$ м и диаметром $d = 5$ см. Определить силу F_2 , при которой скорость перемещения второго поршня была бы в два раза больше скорости первого поршня. Расход в магистрали Q , первый поршень нагружен силой F_1 . Данные для расчета взять из табл. 71.

Указание. На перемещение поршней затрачивается одинаковый суммарный напор (считая от точки A).

Таблица 71

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F_1 , кН	5,5	8,25	11	13,75	16,5	4,13	6,9	9,6	12,4	15,1
Q , л/с	6	9	12	15	18	4,5	7,5	10,5	13,5	16,5

Задача 70. Перемещение поршней гидроцилиндров с диаметром $D = 20$ см, нагруженными силами F_1 и F_2 , осуществляется подачей минерального масла по трубам 1 и 2 с одинаковыми диаметрами $d = 4$ см. Суммарный коэффициент сопротивления первого трубопровода $\xi_1 = 18$. Каким должен быть суммарный коэффициент сопротивления второго трубопровода, чтобы при расходе Q в магистрали скорости поршней были одинаковыми? Данные, необходимые для решения, взять из табл. 72.

Указание. На перемещение поршней затрачивается одинаковый суммарный напор (считая от точки A).

Таблица 72

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F_1 , кН	7,0	9,5	12,0	10,5	12,4	20,7	20,5	20,7	28,7	30,7
F_2 , кН	3,23	1,35	5,25	2,14	2,0	8,0	5,4	3,0	8,0	7,0
Q , л/с	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30

Задача 71. Определить полезную мощность насоса объемного гидропривода, если внешняя нагрузка на поршень силового гидроцилиндра F , скорость рабочего хода v , диаметр поршня D_1 , диаметр штока D_2 . Механический коэффициент полезного действия гидроцилиндра $\eta_{\text{мех}} = 0,96$, объемный коэффициент $\eta_{\text{об}} = 0,97$. Общая длина трубопроводов системы l ; диаметр трубопроводов d ; суммарный коэффициент местных сопротивлений $\xi_c = 20$. Рабочая жидкость в системе – спиртоглицериновая смесь ($\gamma = 12\,100$ Н/м³;

$\nu = 9,0 \text{ см}^2/\text{с}$). Данные для расчета взять из табл. 73.

Указание. Напор насоса затрачивается на перемещение поршня, нагруженного силой F , а также на преодоление гидравлических потерь в трубопроводах системы.

Таблица 73

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	50	60	70	80	90	100	90	80	70	60
ν , см/с	4	9,5	12,5	8,6	3,5	5,6	3,4	11	8	5,3
D_1 , мм	110	120	130	138	145	155	145	138	130	120
D_2 , мм	36	40	44	46	48	52	48	46	43	40
l , м	10	15	12	10	8	14	12	10	8	12
d , мм	15	20	25	22	14	20	15	25	20	15

Задача 72. Определить рабочий напор и подачу насоса объемного гидропривода, если усилие на штоке силового гидроцилиндра F , ход поршня S , число двойных ходов в минуту n , диаметр поршня D_1 , диаметр штока D_2 , механический коэффициент полезного действия гидроцилиндра $\eta_{\text{мех}} = 0,95$, объемный коэффициент $\eta_{\text{об}} = 0,98$. Общая длина трубопроводов системы (с учетом эквивалентной длины местных сопротивлений) l , диаметр трубопроводов d . Рабочая жидкость в системе – трансформаторное масло ($\gamma = 8900 \text{ Н/м}^3$, $\nu = 9,0 \text{ см}^2/\text{с}$). Данные, необходимые для решения, взять из табл. 74.

Указание. Напор насоса затрачивается на перемещение поршня, нагруженного силой F , а также на преодоление гидравлических потерь в трубопроводах системы.

Таблица 74

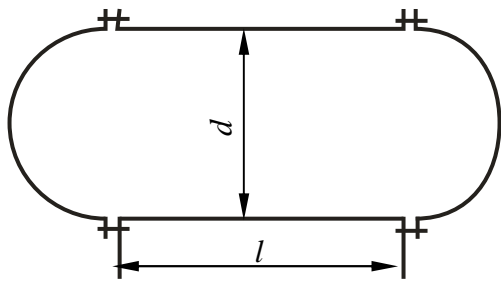
Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	60	70	80	90	100	90	80	70	60	50
S , мм	150	120	220	100	112	105	130	150	145	120
n , мин ⁻¹	10,6	20	10	10	15	10	20	25	20	10
D_1 , мм	120	130	138	145	155	145	138	130	120	110
D_2 , мм	40	43	46	48	52	48	46	44	40	36
l , м	25	20	22	25	18	16	20	24	30	20
d , мм	15	20	25	15	20	14	22	25	20	15

Задача 73. Построить график изменения скорости перемещения поршня силового гидроцилиндра в зависимости от угла наклона шайбы регулируемого аксиально-поршневого насоса γ . Пределы изменения угла $\gamma = 0 \div 30^\circ$. Параметры гидроцилиндра: диаметр поршня D_1 , диаметр штока $D_2 = 0,6 \cdot D_1$. Параметры насоса: $z = 7$, $n = 800 \text{ мин}^{-1}$, диаметр цилиндров d , диаметр окружности цилиндров $D = 2,7 \cdot d$. Объемные потери не учитывать. Данные для расчета взять из табл. 75.

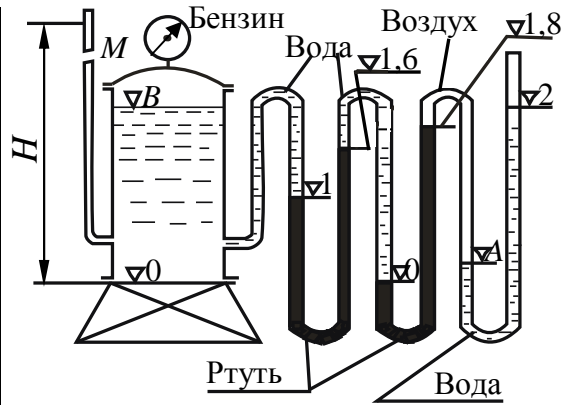
Таблица 75

Исходные данные	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D_1 , мм	95	135	175	225	275	112	210	255	325	235
d , мм	20	25	30	35	40	22	34	38	45	36

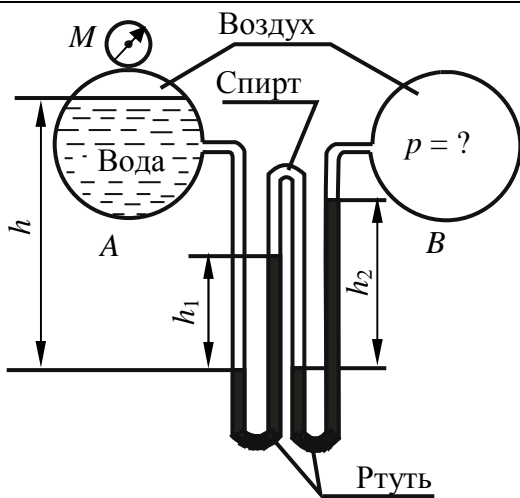
ПРИЛОЖЕНИЕ



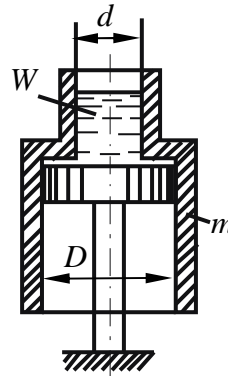
К задаче 1



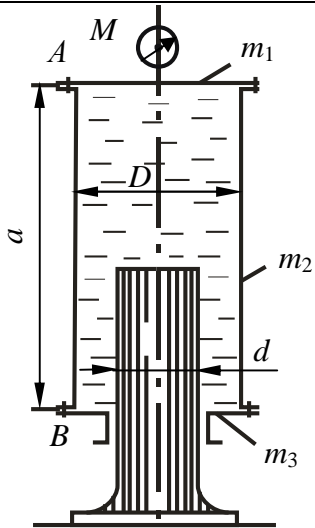
К задаче 10



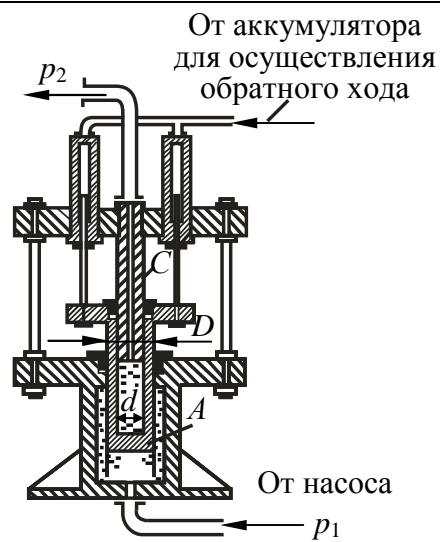
К задаче 11



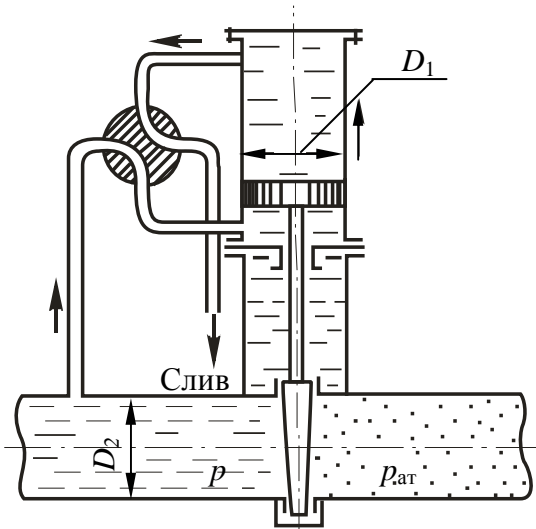
К задаче 12



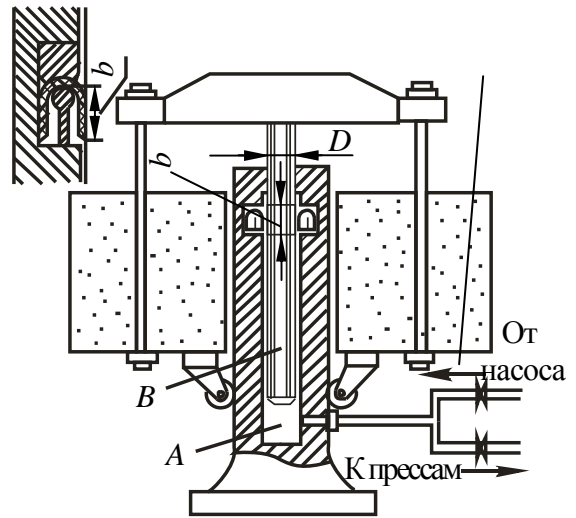
К задаче 13



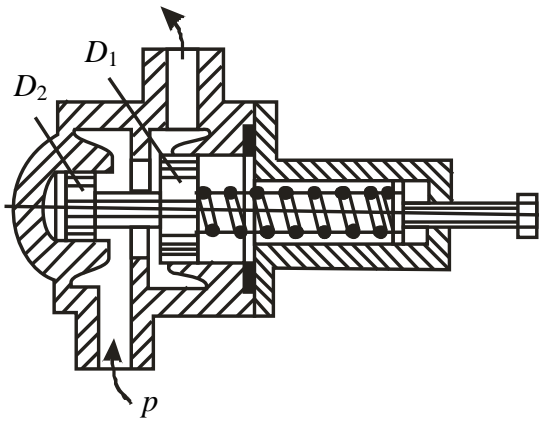
К задаче 14



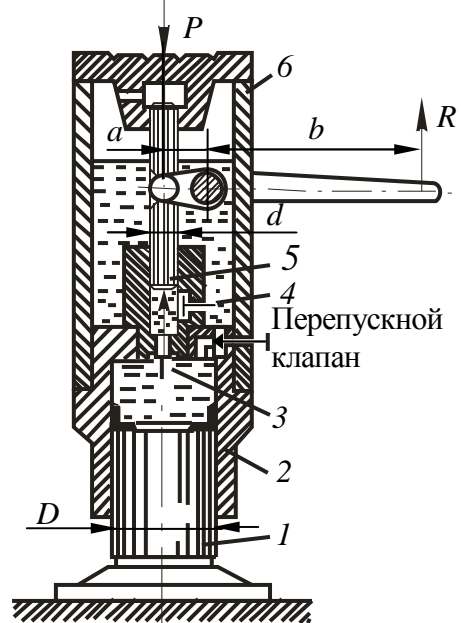
К задаче 15



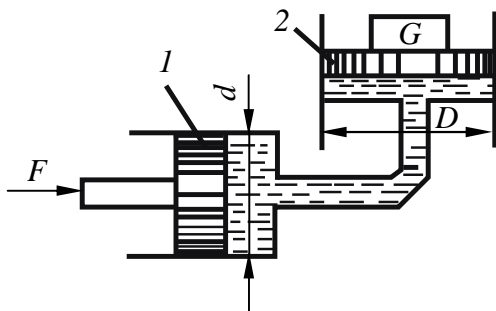
К задаче 16



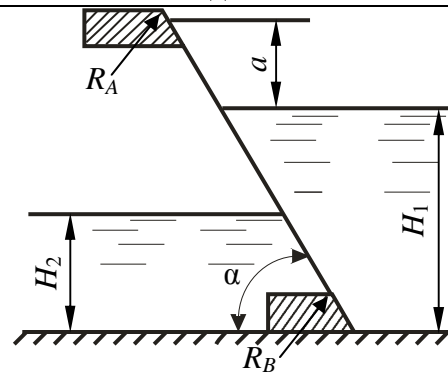
К задаче 17



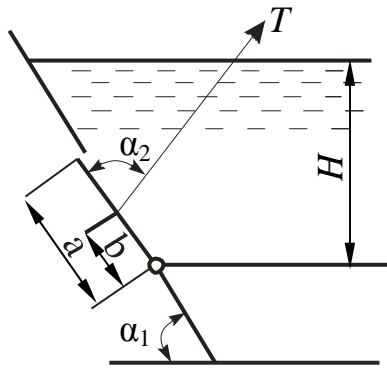
К задаче 18



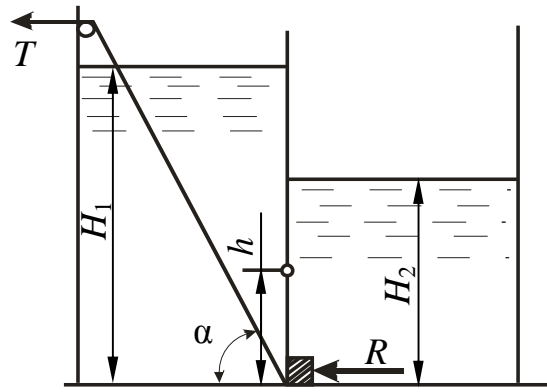
К задаче 19



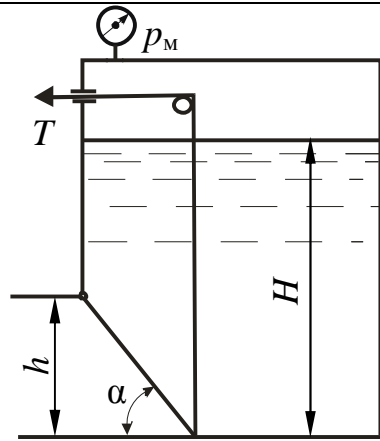
К задаче 20



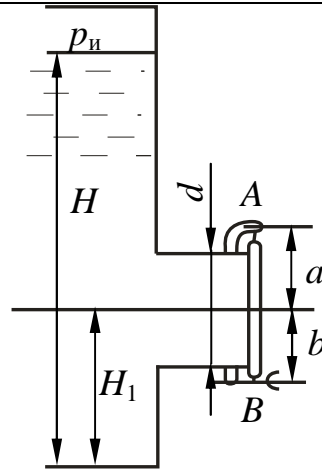
К задаче 21



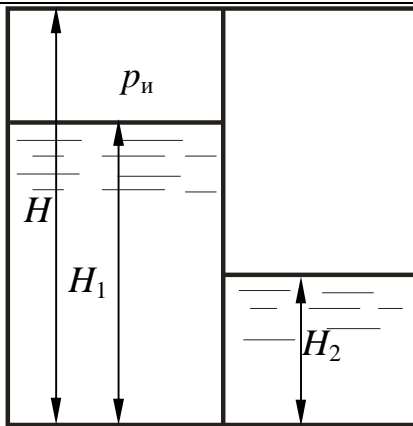
К задаче 22



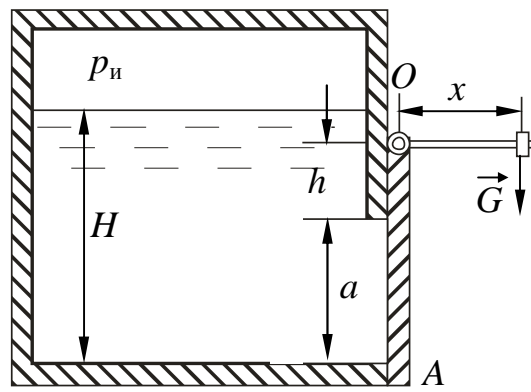
К задаче 23



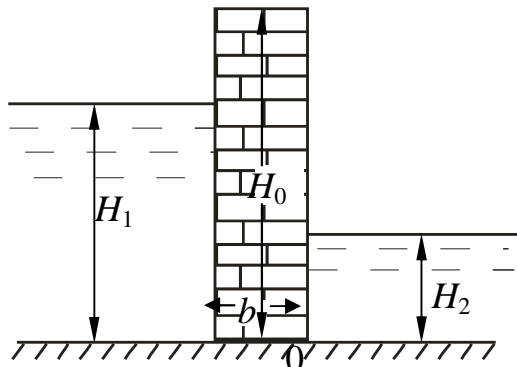
К задаче 24



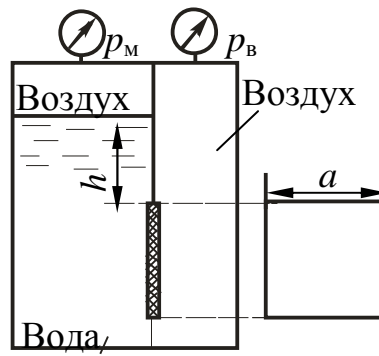
К задаче 25



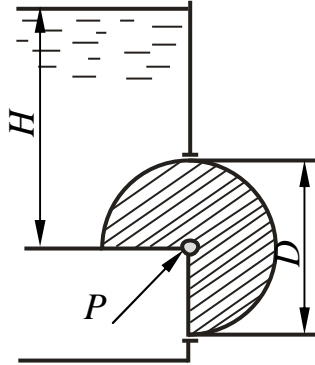
К задаче 26



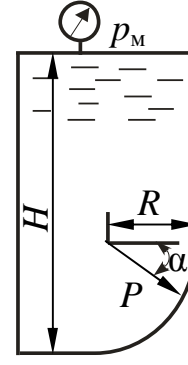
К задаче 27



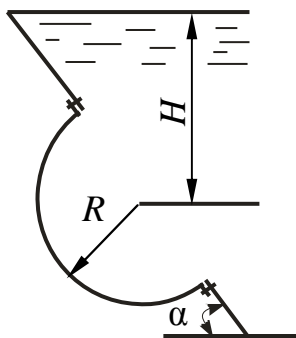
К задаче 28



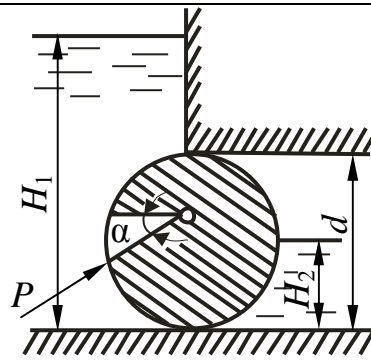
К задаче 29



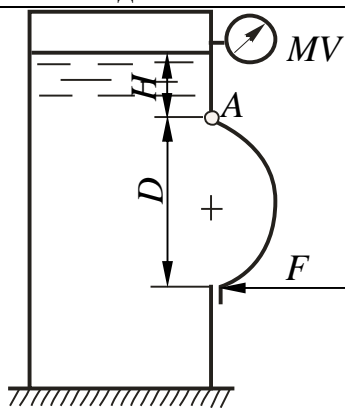
К задаче 30



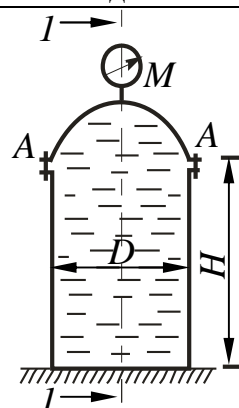
К задаче 31



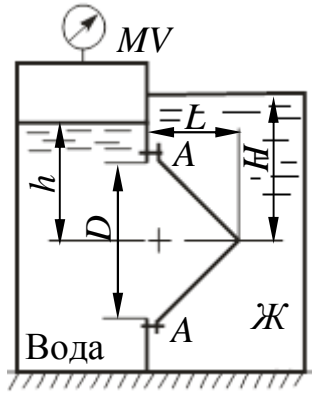
К задаче 32



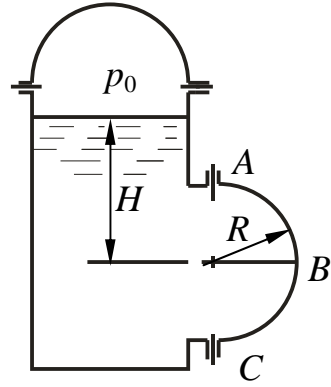
К задаче 33



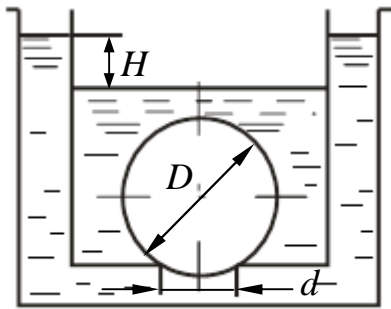
К задаче 34



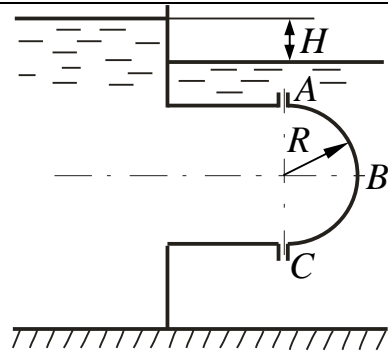
К задаче 35



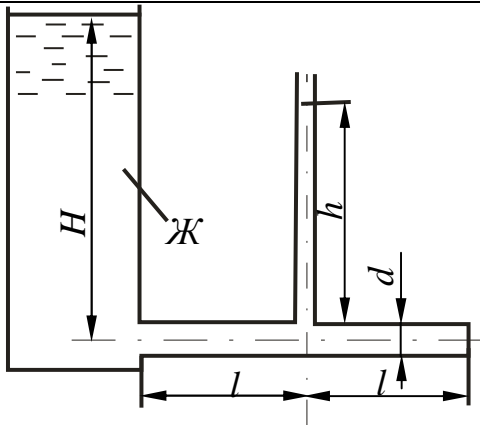
К задаче 36



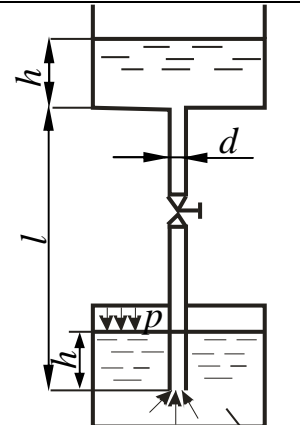
К задаче 37



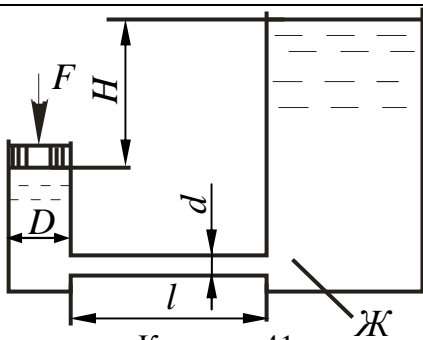
К задаче 38



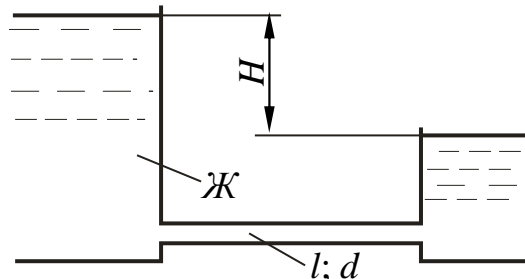
К задаче 39



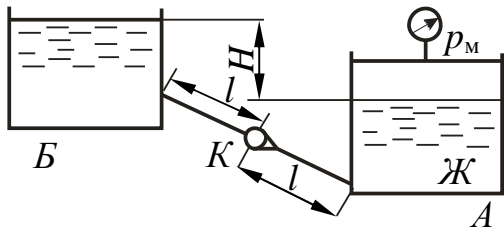
К задаче 40



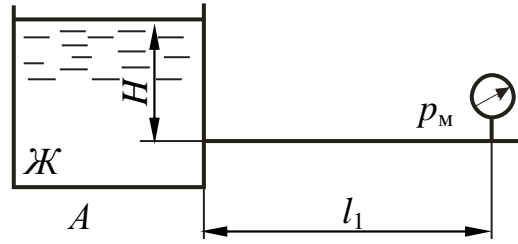
К задаче 41



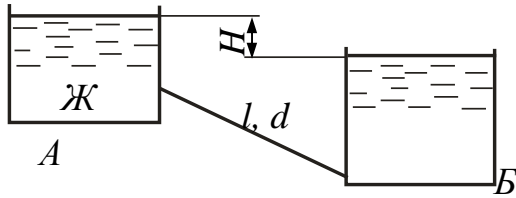
К задаче 43



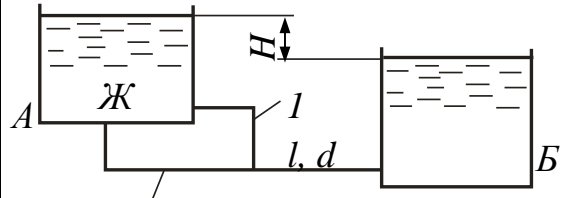
К задаче 45



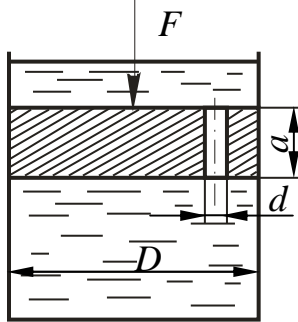
К задаче 46



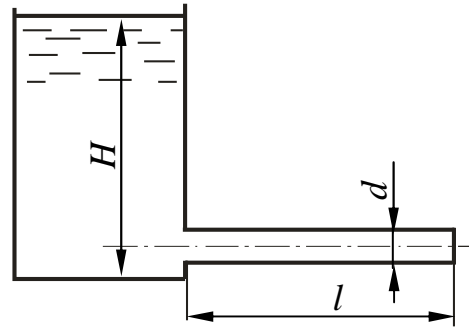
К задаче 47



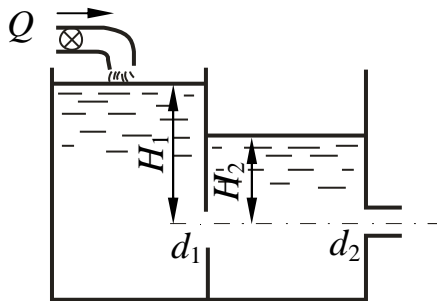
К задаче 48



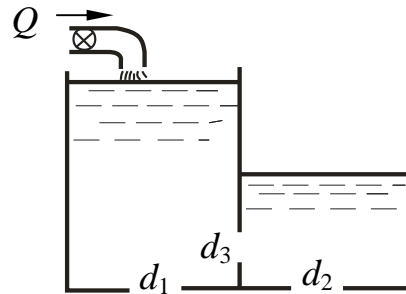
К задаче 49



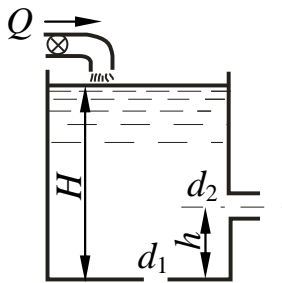
К задаче 50



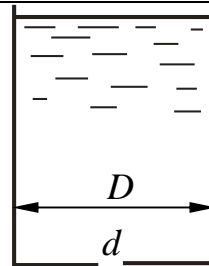
К задаче 51



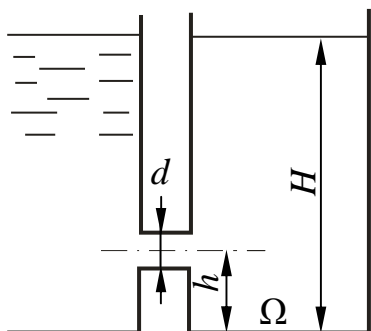
К задаче 52



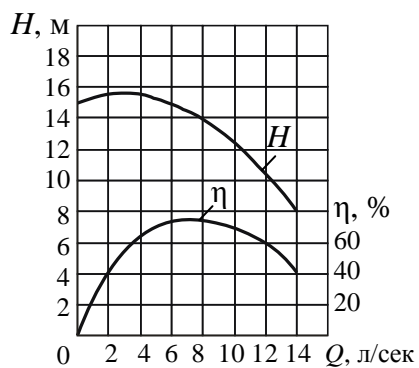
К задаче 53



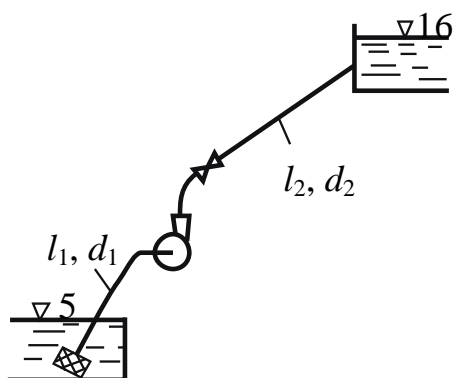
К задаче 54



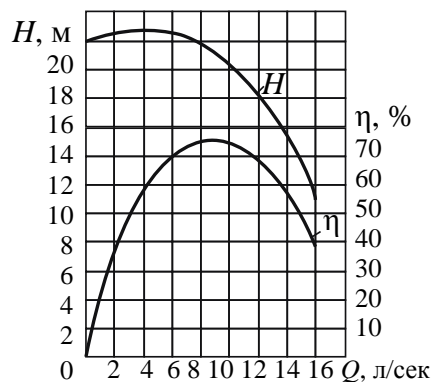
К задаче 55



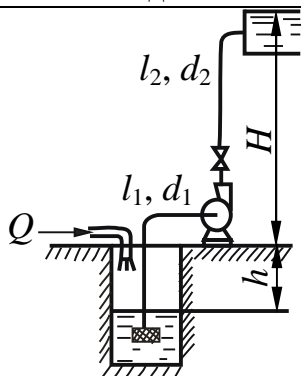
К задаче 57



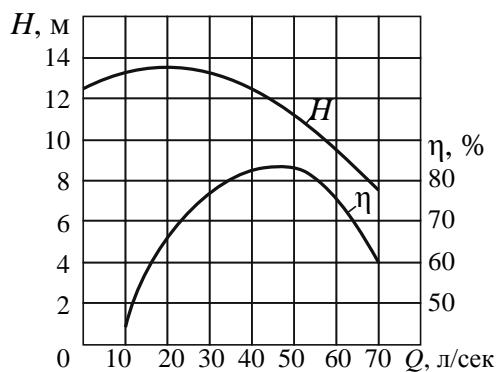
К задаче 57



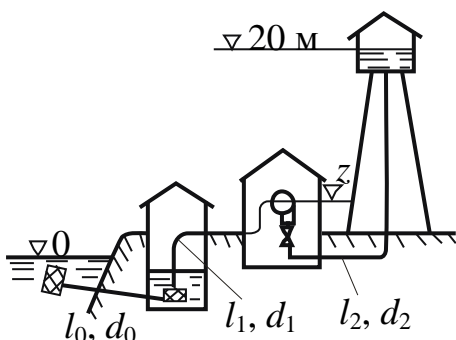
К задаче 58



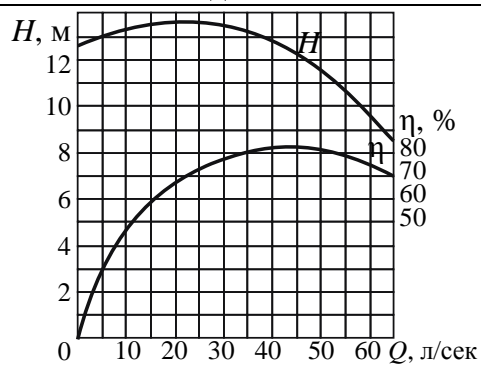
К задаче 58



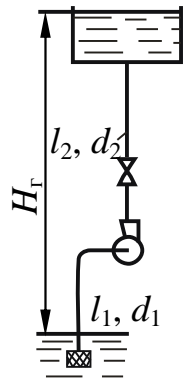
К задаче 59



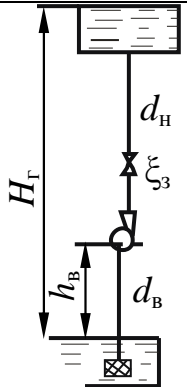
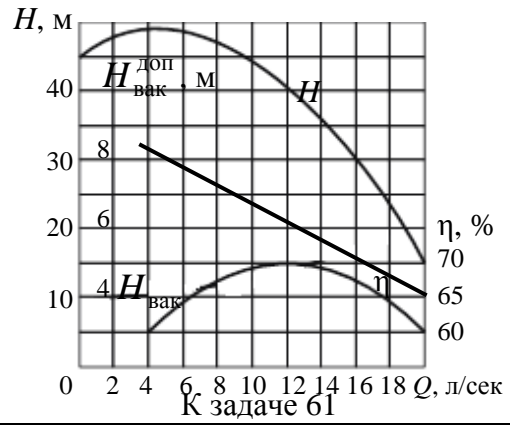
К задаче 59



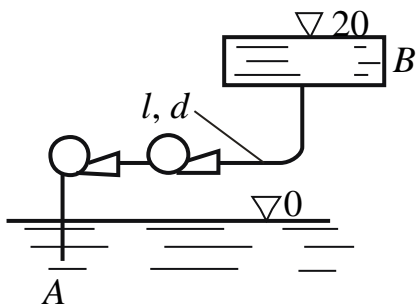
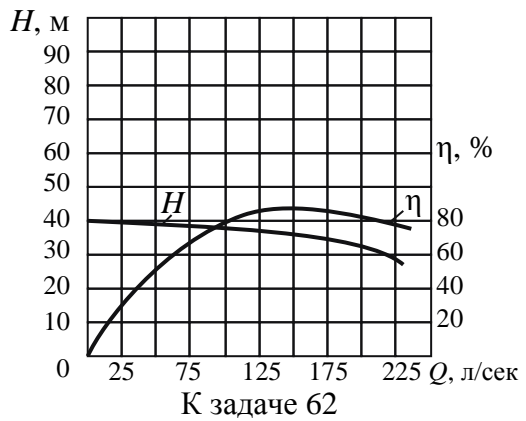
К задаче 60



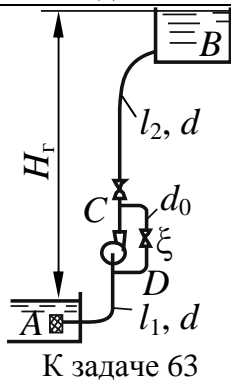
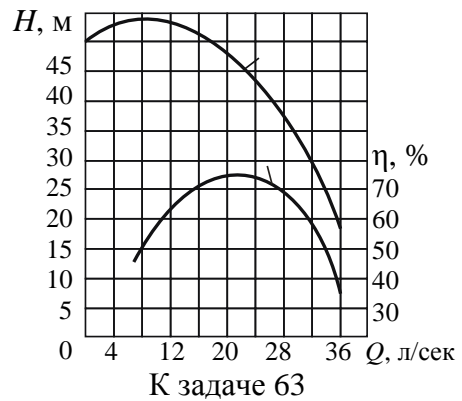
К задаче 60



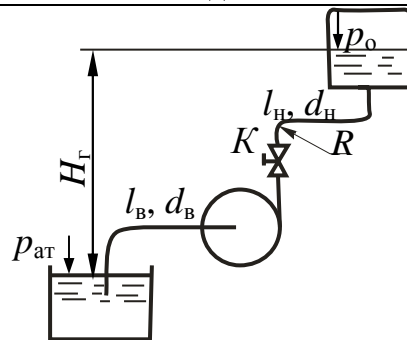
К задаче 61



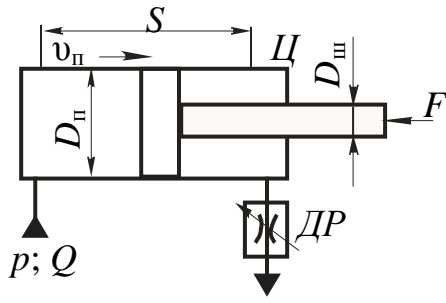
К задаче 62



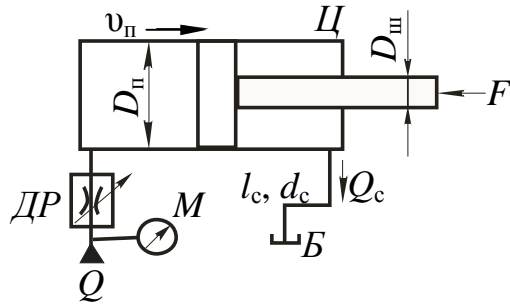
К задаче 63



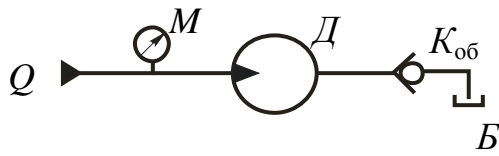
К задаче 64



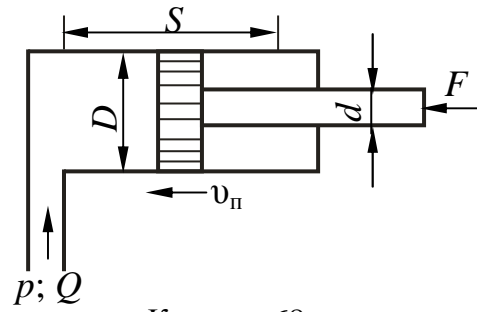
К задаче 65



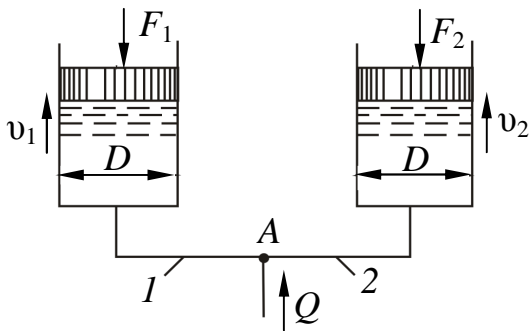
К задаче 66



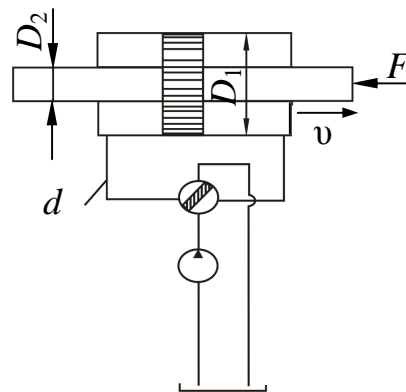
К задаче 67



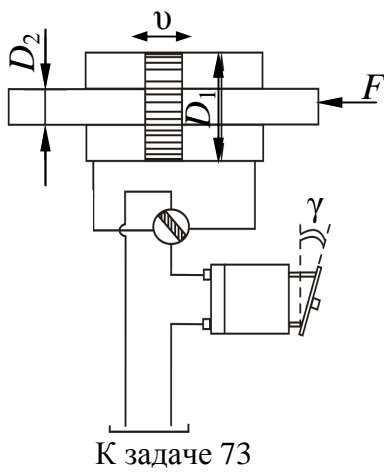
К задаче 68



К задаче 69 и 70



К задаче 71 и 72



К задаче 73

Таблица П.1

**Средние значения плотности ρ и кинематической вязкости ν
некоторых жидкостей**

Жидкость	Плотность, кг/м ³ , при T, °C		Кинематическая вязкость, Ст, при T, °C			
	20	50	20	40	60	80
Вода	998		0,010	0,0065	0,0047	0,0036
Нефть, легкая	884	–	0,25	–	–	–
Нефть, тяжелая	924	–	1,4	–	–	–
Бензин	745		0,0073	0,0059	0,0049	–
Керосин Т-1	808	–	0,025	0,018	0,012	0,010
Керосин Т-2	819	–	0,010	–	–	–
Дизтопливо	846	–	0,28	0,12	0,88	–
Глицерин	1245	–	9,7	3,3	–	0,38
Ртуть	13550	–	0,0016	0,0014	0,0010	–
Масла:						
касторовое	960	–	15	3,5	0,88	0,25
трансформаторное	884	880	0,28	0,13	0,078	0,048
АМГ-10	–	850	0,17	0,11	0,085	0,65
веретенное АУ	–	892	0,48	0,19	0,098	0,059
индустриальное 12	–	883	0,48	0,19	0,098	0,059
то же 20	–	891	0,85	0,33	0,14	0,080
» 30	–	901	1,8	0,56	0,21	0,11
» 50	–	910	5,3	1,1	0,38	0,16
турбинное	–	900	0,97	0,38	0,16	0,088

Указание. Плотность жидкости при другой температуре можно определить по формуле $\rho_T = \rho_0 / (1 + \alpha \Delta T)$, где ρ_T – плотность жидкости при температуре $T = T_0 + \Delta T$; ΔT – изменение температуры; T_0 – температура, при которой плотность жидкости равна ρ_0 , α – коэффициент температурного расширения жидкости (в среднем для минеральных масел можно принять $\alpha = 0,00071^\circ\text{C}$). Стоке $\text{Ст} = \text{см}^2/\text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Значения коэффициентов ξ некоторых местных сопротивлений

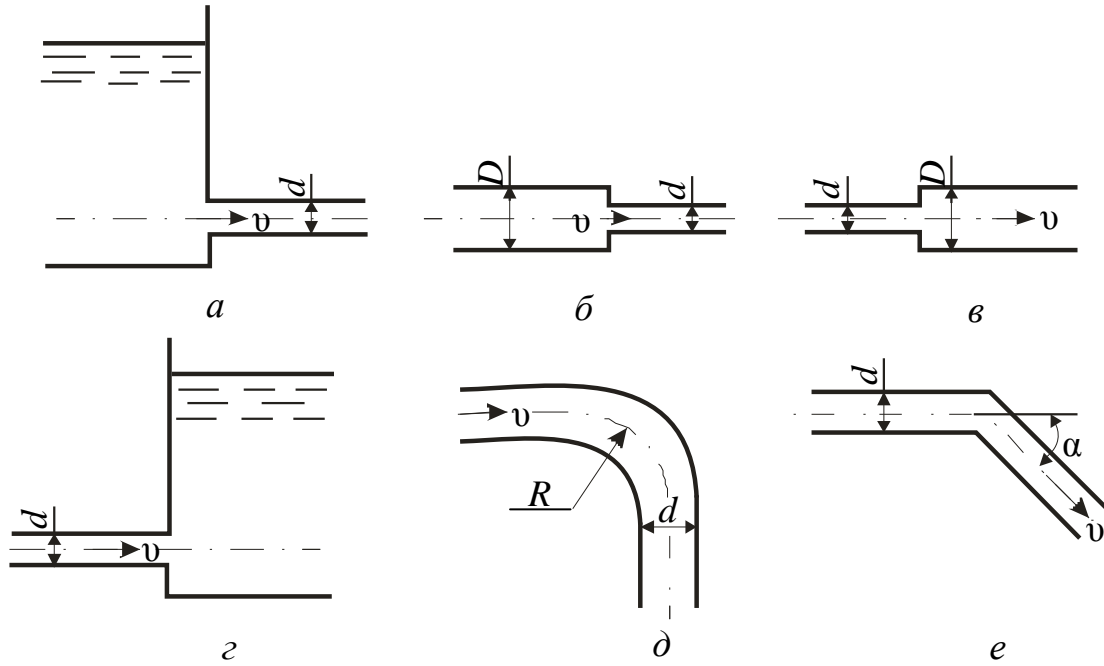


Таблица П.2

Тип препятствия	Схема сопротивления по рисунку	Значения коэффициентов ξ
Вход в трубу	<i>a</i>	0,5
Внезапное сужение	<i>б</i>	$0,5[1 - (d/D)^2]$
Внезапное расширение	<i>в</i>	$[(D/d)^2 - 1]^2$
Выход из трубы	<i>г</i>	1,0

Таблица П.3

Плавный поворот (см. схему на рис. <i>д</i>)		Крутой поворот (см. схему на рис. <i>е</i>)	
d/R	ξ	α°	ξ
0,2	0,14	20	0,12
0,4	0,21	30	0,16
0,6	0,44	45	0,32
0,8	0,98	60	0,56
—	—	90	1,19

Таблица П.4

**Потери давления в некоторых гидравлических элементах
(в местных сопротивлениях)**

Наименование элемента гидропривода	Типоразмер	Номинальный расход $Q_{\text{ном}}$, л/мин	Наибольшее рабочее давление p , МПа	Потери давления $\Delta p_{\text{ном}}$, МПа
Фильтр пластинчатый	0,12Г41-11	5	–	0,10
	0,12Г41-12	12,5	–	0,10
	0,12Г41-13	25	–	0,10
	0,12Г41-14	50	–	0,10
	0,12Г41-15	100	–	0,10
Распределитель золотниковый с электрическим управлением	ПГ73-11	8	20	0,20
	ПГ73-12	20	20	0,10
	Г72-33	40	20	0,10
	ПГ73-24	80	20	0,30
	ПГ73-25	160	20	0,10

Таблица П.5

Термодинамические параметры линии насыщения для воды

t , °С	10	20	30	40	50
p , МПа	0,00123	0,00234	0,00424	0,00738	0,01234

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

2. Осипов, П. Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод: учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 424 с.

Дополнительная

1. Медведев, В. Ф. Гидравлика и гидравлические машины: учеб. пособие / В. Ф. Медведев. – Минск: Выш. шк., 1998. – 311 с.

2. Сухоцкий, А. Б. Гидравлика и гидропривод: тексты лекций для студентов технологического и химического профилей / А. Б. Сухоцкий, Е. С. Санкович. – Минск: БГТУ, 2007. – 172 с.

3. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / под ред. И. И. Куколевского, Л. Г. Подвидза. – М.: Машиностроение, 1981.

4. Гидравлика, гидравлические машины, гидравлические приводы: учеб.-метод. пособие по практическим, расчетно-графическим и курсовым работам / сост. Е. С. Санкович, А. Б. Сухоцкий. – Минск: БГТУ, 2005. – 176 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	3
1. Гидравлика	4
1.1 Основные свойства жидкости	4
1.2. Гидростатика	4
1.3. Кинематика и динамика жидкостей	6
1.4. Режимы движения жидкости и основы теории гидродинамического подобия	9
1.5. Ламинарное движение жидкости	9
1.6. Турбулентное движение жидкости	10
1.7. Местные гидравлические сопротивления	11
1.8. Истечение жидкости через отверстия и насадки	11
1.9. Гидравлический расчет трубопроводов	12
2. Лопастные гидромашины и гидродинамические передачи	13
2.1. Общие сведения о гидромашинах	13
2.2. Основы теории лопастных насосов	15
2.3. Эксплуатационные расчеты лопастных насосов	16
3. Объемные насосы и гидроприводы	18
3.1. Объемные насосы. Общие положения	18
3.2. Поршневые и плунжерные насосы	19
3.3. Роторные насосы	20
3.4. Объемный гидропривод. Основные понятия	20
3.5. Гидродвигатели	21
3.6. Гидроаппаратура и элементы гидропривода	22
4. Контрольные задания	25
Приложение	62
Литература	74

ГИДРАВЛИКА, ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ГИДРОПРИВОД

Составители: **Дмитриченко** Александр Степанович,
Санкович Евгений Савельевич

Редактор *В. И. Пунтус*
Компьютерная верстка *В. И. Пунтус*

Подписано в печать . Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,4. Уч.-изд. л. 4,6.
Тираж экз. Заказ .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.