

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

***ПРАКТИКУМ ПО МДК01.01 "ЛЕСОПИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО"
РАЗДЕЛ "ГИДРО- ПНЕВМОПРИВОД ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО
ОБОРУДОВАНИЯ"***

Специальность "Технология деревообработки"

Братск 2015

Составила (разработала) Жилко Э.В., преподаватель кафедры
экономических и деревообрабатывающих дисциплин

Рассмотрено на заседании кафедры экономических и деревообрабатывающих
дисциплин

«_____» _____ 2015г.

(подпись зав. кафедрой)

Одобрено и утверждено редакционным советом

(Подпись председателя РС)

«_____» _____ 2015г. № _____

Содержание

Введение	4
1 Основы гидравлики	6
1.1 Основы гидростатики. Свойства жидкостей	6
1.2 Практическая работа № 1 "Решение задач по разделу "Основы гидростатики", часть 1	12
1.3 Основной закон гидростатики. Сила давления	15
1.4 Практическая работа № 2 "Решение задач по разделу "Основы гидростатики", часть 2	21
1.5 Основы гидродинамики. Основной закон кинематики и динамики жидкости	28
1.6 Практическая работа № 3 "Решение задач по разделу "Основы гидродинамики"	35
2 Гидравлический привод	39
2.1 Гидравлические насосы	39
2.2 Устройства подготовки и передачи масла	43
2.3 Распределительная аппаратура	43
2.4 Регулирующая аппаратура	43
2.5 Гидродвигатель	44
2.6 Практическая работа № 4 "Расчет гидропривода"	46
Заключение	58
Список использованных источников	59
Приложение А	60
Приложение Б	61
Приложение В	63
Приложение Г	65
Приложение Д	66
Приложение Е	68

Введение

МДК01.01 "Лесопильное производство" входит в комплекс специальных дисциплин, изучаемых учащимися специальности "Технология деревообработки".

Раздел "Гидропривод деревообрабатывающего оборудования" изучает процессы, сопровождающие работу гидравлических машин, гидроприводов. С помощью основных уравнений гидравлики и разработанных ею методов исследования, решаются важные практические задачи, связанные с транспортом жидкостей и газов по трубопроводам, а также с транспортом твёрдых тел по трубам и другим руслам.

Гидравлика решает важнейшие практические задачи, связанные с равновесием твёрдых тел в жидкостях и газах, т.е. изучает вопросы плавания тел. Широкое использование в практической деятельности человека различных гидравлических машин и механизмов ставят гидравлику в число важнейших дисциплин, обеспечивающих научно-технический прогресс.

Большой практический интерес к изучению механики жидкости вызван рядом объективных факторов. Во-первых, наличие в природе значительных запасов жидкостей, которые легко доступны человеку. Во-вторых, жидкие тела обладают рядом полезных свойств, делающих их удобными рабочими агентами в практической деятельности человека.

Немаловажным следует считать и тот фактор, что большинство жизненно важных химических реакций обмена протекают в жидкой фазе (чаще всего в водных растворах).

Гидравлика - наука, изучающая законы равновесия и движения капельных жидкостей и газов. Гидравлика, как прикладная наука, применяется для решения различных инженерных задач в области водоснабжения, при строительстве различных гидротехнических сооружений, а так же при конструировании различных устройств (насосов, компрессоров и т. п.).

В прошлом гидравлика носила чисто экспериментальный и прикладной характер, в последнее время её теоретические основы получили значительное развитие, это способствовало сближению её с гидромеханикой, сейчас же, гидравлическое оборудование стало повседневным и необходимым в любой сфере производства.

Задачи изучения МДК01.01 "Лесопильное производство", раздел "Гидропривод деревообрабатывающего оборудования" основываются на необходимости получения выпускником знаний, умений, навыков в соответствии с требованиями ФГОС ВПО.

Целью данного пособия является оказание помощи в изучении МДК01.01 "Лесопильное производство" студентам специальности «Технология деревообработки» и развитию её целостного восприятия.

Данное методическое пособие содержит 4 практические работы по блока тем "Основы гидравлики" и "Гидравлический привод".

Методические указания содержат теоретические сведения, порядок выполнения работы.

В результате выполнения практических работ студенты приобретают практические навыки использования законом гидростатики, гидродинамики в решения практических задач; навыки расчета гидропривода и подбора элементов гидропривода.

Для удобства работы студентов справочная информация, необходимая решения практических задач, собрана в виде приложений.

При изучении данной дисциплины студенты овладевают следующими компетенциями:

- ПК1.5 - Выполнять технологические расчеты оборудования, расхода сырья и материалов;

- ОК-1 - Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес;

- ОК-2 - Организовывать собственную деятельность, определять методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество;

- ОК4 - Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

Практические работы выполняется студентом во время аудиторных занятий. В процессе работы студент пользуется консультацией преподавателя.

Работа студента оценивается по пятибальной системе по результатам экспертной оценки и понятийного опроса по следующим критериям:

Оценка «5» выставляется студенту, если: расчеты выполнены верно, студент показывает системные и полные знания и умения по данному вопросу; работа оформлена в соответствии с рекомендациями преподавателя; объем работы соответствует заданному; работа выполнена точно в сроки, указанные преподавателем.

Оценка «4» выставляется студенту, если: студент допускает небольшие неточности или некоторые ошибки в решении задач; работа оформлена с неточностями в оформлении; объем работы соответствует заданному или чуть меньше; работа сдана в сроки, указанные преподавателем, или позже, но не более, чем на 1-2 дня.

Оценка «3» выставляется студенту, если: в работе присутствуют значительные ошибки; работа оформлена с ошибками в оформлении; объем работы значительно меньше заданного; работа сдана с опозданием в сроках на 5-6 дней.

Оценка «2» выставляется студенту, если: правильность решения задач менее 60% от всего объема; работа оформлена не в соответствии с требованиями преподавателя; объем работы не соответствует заданному; работа сдана с опозданием в сроках больше 7 дней.

1 Основы гидравлики

1.1 Основы гидростатики. Свойства жидкостей

Гидравлика - наука о законах равновесия и движения жидкостей и о способах приложения этих законов для решения практических задач.

Слово гидравлика - образовано из греческих слов *hydor* - вода и *aulos* - трубка.

Гидравлика состоит из двух основных частей:

- *Гидростатика* - изучает законы равновесия жидкостей;
- *Гидродинамика* - изучает законы движения жидкостей.

Передачу энергии в гидравлических системах обеспечивают рабочие жидкости, поэтому чтобы эффективно их применять, надо знать какими свойствами они обладают.

Жидкость - сплошная среда способная изменять свою форму при воздействии на нее сколь угодно малых сил.

Понятие "жидкость" определяется в зависимости от назначения такого определения. В физике жидкость трактуется как физическое тело, обладающее свойством текучести.

По механическим свойствам жидкости разделяют на два класса:

1. *Капельные жидкости (малосжимаемые)*- жидкости, способные образовывать каплю (вода, нефть, керосин, масло и.т.д.).
2. *Газообразные жидкости и их смеси(сжимаемые)* – тела, которые в обычном состоянии не способны образовывать капли.

Основной отличительной особенностью капельных и газообразных жидкостей является способность сжиматься (изменять объем) под воздействием внешних сил. Капельные жидкости (в дальнейшем просто жидкости) трудно поддаются сжатию, а газообразные жидкости (газы) сжимаются довольно легко, т.е. при воздействии небольших усилий способны изменить свой объем в несколько раз (рисунок 1).

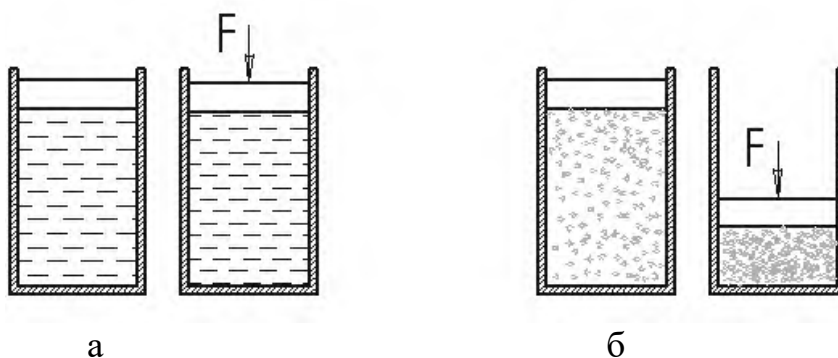


Рисунок 1 - Сжатие жидкостей и газов

а - жидкость, б - газ.

При изучении законов равновесия и движения жидкости в прикладной механике жидкостей и газов движение молекул не изучается и жидкость рассматривается в виде сплошной среды, способной деформироваться под действием внешних сил.

Жидкости, как и все вещества, имеют молекулярное строение. Они занимают промежуточное положение между газами и твердыми телами. Это определяется величинами межмолекулярных сил и характером движений составляющих их молекул.

В гидравлике рассматриваются реальная и идеальная жидкости.

Идеальная жидкость в отличие от реальной жидкости не обладает внутренним трением, а также трением о стенки сосудов и трубопроводов, по которым она движется. Идеальная жидкость также обладает абсолютной несжимаемостью. Такая жидкость не существует в действительности, и была придумана для облегчения и упрощения ряда теоретических выводов и исследований.

Механические характеристики и основные физические свойства жидкостей и газов

Основные механические характеристики:

1. *Плотность жидкости - масса жидкости заключенная в единице объема, определяется по формуле*

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где ρ - плотность жидкости, кг/м³;

m - масса жидкости, кг;

V - объем, м³.

С повышением давления (при постоянной температуре) плотность возрастает, а с повышением температуры (при постоянном давлении) уменьшается. Исключением из этого правила является только вода в диапазоне температур от 0 до 4°C: ее плотность возрастает и достигает своего максимума (1000 кг/м³) при $t = 3,98^\circ\text{C}$. При дальнейшем нагреве ее плотность снижается как и у других жидкостей. Именно по этой причине температура воды на дне глубоких водоемов зимой всегда 4°C. При остывании воды до 4°C циркуляция воды в водоеме прекращается, что препятствует промерзанию его до дна.

Плотность наиболее употребляемых жидкостей и газов (кг/м³): бензин - 710...860; вода - 1000; ртуть - 13600; масло гидросистем - 850; масло промышленное - 880...920; масло турбинное - 9000; метан - 0,7; воздух - 1,3; углекислый газ - 2,0; пропан - 2,0.

Плотность жидкости можно вычислить по вышеприведенной формуле, а можно и измерить специальным прибором, называемым *ареометром*. Этот

прибор похож на поплавков для рыбалки. Глубина его погружения зависит от плотности жидкости.

2. Удельный вес - вес единицы объема жидкости, определяется по формуле

$$\gamma = \frac{G}{V} = g \cdot \rho, \quad (2)$$

где γ - удельный вес, Н/м³;

G - вес, Н;

g - ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

С увеличением температуры удельный вес жидкости уменьшается.

3. Удельный объем – это объем жидкости единичной массы, то есть величина, обратная плотности, определяется по формуле

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}, \quad (3)$$

где v - удельный объем, м³/кг.

Удельный объем редко используется для капельных жидкостей, но очень широко применяется для газов.

Основные физические свойства:

1. Сжимаемость – свойство жидкости изменять свой объем под действием давления. Сжимаемость жидкости характеризуется коэффициентом объемного сжатия, определяется по формуле

$$\chi = -\frac{1}{V_0} \frac{dV}{dP}, \quad (4)$$

где χ - коэффициент объемного сжатия, Па⁻¹ (м²/Н);

dP - изменение давления, Па;

dV - изменение объема, м³.

Знак минус в формуле объясняется тем, что при увеличении давления объем жидкости уменьшается.

Величина обратная коэффициенту объемного сжатия называется модулем объемной упругости жидкости, определяется по формуле

$$E = \frac{1}{\chi}, \quad (5)$$

где E - модуль упругости жидкости, Па.

Модуль объемной упругости не постоянен и зависит от давления и температуры. При гидравлических расчетах сжимаемостью жидкости обычно пренебрегают и считают жидкости практически несжимаемыми. Сжимаемость может явиться причиной возникновения автоколебаний в гидросистеме, создает запаздывание в срабатывании гидроаппаратуры и исполнительных механизмах. Иногда сжимаемость жидкостей полезна – ее используют в гидравлических амортизаторах и пружинах.

2. *Температурное расширение* – способность жидкости увеличивать свой объем при повышении температуры. Характеризуется коэффициентом температурного расширения, который определяется по формуле

$$\chi_t = \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dt}, \quad (6)$$

где χ_t - коэффициент объемного расширения, K^{-1} ($1/^\circ C$);
 Δt - изменение температуры, $^\circ C$.

Для капельных жидкостей коэффициент температурного расширения ничтожно мал, при практических расчетах его не учитывают.

3. *Сопротивление растяжению*.

Покоящаяся жидкость (в частности вода, ртуть) иногда способна сопротивляться очень большим растягивающим усилиям. Но в обычных условиях такого не происходит, и поэтому считают, что жидкость не способна сопротивляться растягивающим усилиям.

4. *Вязкость жидкости* – свойство жидкости сопротивляться скольжению или сдвигу ее слоев. Суть ее заключается в возникновении внутренней силы трения между движущимися слоями жидкости.

Вязкость есть свойство противоположное текучести: более вязкие жидкости (глицерин, смазочные масла), являются менее текучими, и наоборот.

Если рассматривать слоистое течение жидкости вдоль стенки, то можно наблюдать движение слоев жидкости с разными скоростями, значение которых возрастает по мере удаления от стенки. Что объясняется тормозящим влиянием стенки.

Различают вязкость:

а) Динамическую (абсолютную) - сила сопротивления, возникающая при взаимном относительном перемещении слоев жидкости с определенной скоростью. Характеризует сопротивляемость жидкости сдвигу; обозначается μ (Па·с), ($H \cdot c/m^2$).

Динамическая вязкость (коэффициент динамической вязкости определяется по формуле

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (7)$$

б) Кинематическую - выражает отношение вязкости жидкости к её плотности, определяется по формуле

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \quad (8)$$

где ν - кинематическая вязкость, м²/с.

При гидродинамических расчетах, связанных с конструированием узлов трения и подбором для них масла, обычно используют кинематическую вязкость. Эту вязкость обязательно нормируют для всех минеральных масел.

Вязкость жидкости зависит от температуры и от давления. С ростом температуры вязкость капельных жидкостей очень сильно падает (по экспоненте), а газов – растет по линейному закону. Например, при нагревании пресной воды от 0 до 100°С коэффициент кинематической вязкости падает от $1,79 \times 10^{-6}$ до $0,29 \times 10^{-6}$ м²/с, то есть в 6 с лишним раз. В этом же диапазоне температур вязкость минеральных масел изменяется в десятки и сотни раз. При отрицательных температурах вязкость масел резко возрастает.

У газов наблюдается обратное явление: с повышением температуры вязкость увеличивается, с понижением температуры – уменьшается.

Процесс определения вязкости называется вискозиметрией, а приборы, которыми она определяется вискозиметрами.

Наиболее широко используются вискозиметры Энглера. Принцип действия этих приборов состоит в сравнении времени истечения заданного количества испытуемой и эталонной жидкостей через капилляр.

Для перехода от условной вязкости в градусах Энглера к кинематической вязкости в м²/с применяются несколько эмпирических формул, одна из них формула Убеллоде

$$\nu = \frac{0,0732 \cdot \text{ВУ} - \frac{0,0631}{\text{ВУ}}}{10^4}, \quad (9)$$

где ⁰ВУ - условная вязкость жидкости.

При условной вязкости более 16 ⁰ВУ для определения кинематической вязкости используется формула

$$\nu = 7,4 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ВУ}, \quad (10)$$

Существуют жидкости, которые не подчиняются закону вязкого трения Ньютона. В качестве примеров можно назвать глинистые, цементные, известковые и коллоидные растворы, нефтепродукты и смазочные масла при температурах, близких к температуре застывания, краски, клеи, смолы,

различные белки, жиры, суспензии крахмала, желатина и т.п. Это так называемые *неньютоновские или аномальные жидкости*.

В гидравлике при изучении процессов течения используется понятие идеальной жидкости, под которой понимают жидкость, лишенную вязкости.

5. *Силы поверхностного натяжения – эти силы стремятся придать сферическую форму жидкости.* Силы поверхностного натяжения (рисунок 2) обусловлены поверхностными силами и направлены всегда внутрь рассматриваемого объема, перпендикулярно свободной поверхности жидкости.

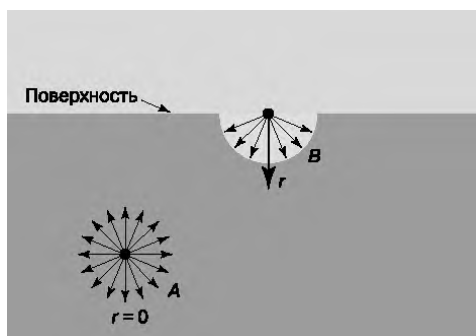


Рисунок 2 - Силы поверхностного натяжения

6. *Пенообразование.* Выделение воздуха из рабочей жидкости при падении давления может вызвать пенообразование. На интенсивность пенообразования оказывает влияние содержащаяся в рабочей жидкости - вода: даже при ничтожном количестве воды (менее 0,1% по массе рабочей жидкости) возникает устойчивая пена. Образование и стойкость пены зависят от типа рабочей жидкости, от ее температуры и размеров пузырьков, от материалов и покрытий гидроаппаратуры. Особенно пенообразование происходит интенсивно в загрязненных жидкостях и бывших в эксплуатации. При температуре жидкости свыше 70 °С происходит быстрый спад пены.

7. *Химическая и механическая стойкость.* Характеризует способность жидкости сохранять свои первоначальные физические свойства при эксплуатации и хранении.

8. *Совместимость.* Совместимость рабочих жидкостей с конструкционными материалами и особенно с материалами уплотнений имеет очень большое значение.

9. *Испаряемость жидкости.* Испаряемость свойственна всем капельным жидкостям, однако интенсивность испарения неодинакова у различных жидкостей и зависит от условий в которых она находится: от температуры, от площади испарения, от давления, и от скорости движения газообразной среды над свободной поверхностью жидкости (от ветра).

Одной из характеристик испаряемости является температура кипения при нормальном атмосферном давлении. С ростом температуры летучесть возрастает, но для разных жидкостей в различной степени. Поэтому даже сухой воздух в квартире зимой при контакте с предметом, занесенным с

мороза, при остывании становится влажным, и из него конденсируются капельки воды. Это хорошо знают люди, носящие очки. Образование конденсата можно наблюдать на поверхности труб, по которым подается холодная вода, на оконных стеклах и т.п.

10. *Растворимость газов в жидкостях* характеризуется объемом растворенного газа в единице объема жидкости. Эта величина увеличивается с ростом давления и различна для различных жидкостей.

11. *Парообразование* - способность капельной жидкости изменять свое агрегатное состояние, в частности превращаться в пар.

Испаряемость присуща всем жидкостям, но в различной степени, причем она сильно зависит от условий, в которых находится жидкость. Испарение происходит при любой температуре и увеличивается при её повышении. Испарение объясняется вылетом из поверхностного слоя жидкости молекул, обладающих наибольшей скоростью и кинетической энергией, поэтому в результате испарения жидкость охлаждается.

В гидравлике обязательным условием интенсивного парообразования является кипение жидкости. Для этого должны быть созданы определенные условия - температура и давление.

1.2 Практическая работа № 1 Решение задач по разделу "Основы гидростатики", часть 1

Цель работы: приобретение навыков применения формул физических свойств жидкостей в решении практических задач

Оснащение работы: счетная техника, методическое пособие

Порядок выполнения работы:

1. Повторение теоретических сведений по теме "Свойства жидкостей и газов".

2. Разбор приемов и способов выполнения задач.

3. Индивидуальное выполнение задач.

Задания на расчётную работу составлены по вариантной системе (смотреть Приложение А). Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале.

При расчёте величин указывать их размерности.

3.1 *Задача 1. Уровень мазута в вертикальном цилиндрическом баке за некоторое время понизился. Определить количество израсходованного мазута.*

Исходные данные для решения задачи 1 (смотреть Приложение А, таблица А.1):

- диаметр емкости d , м;
- уровень понижения жидкости Δh , м;
- плотность жидкости, кг/м^3 ;
- температура окружающей среды, t , $^{\circ}\text{C}$;

Требуется определить: количество израсходованной жидкости m , м^3 .

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить объем жидкости по формуле

$$V = \frac{\rho \times d^2}{4} \times \Delta h, \quad (11)$$

- где V - объем жидкости, м^3 ;
 π - величина π , равная 3,14;
 d - диаметр емкости, м;
 Δh - уровень понижения жидкости, м.

2. Определить массу жидкости, преобразуя формулу (1).

3.2 Задача 2. Определить удельный вес и удельный объем нефтепродукта, если известна его плотность.

Сделать вывод: как плотность жидкости влияет на её удельный вес и объем?

Исходные данные для решения задачи 2 (смотреть Приложение А, таблица А.2):

- плотность жидкости ρ , кг/м^3 .

Требуется определить: удельный вес γ , Н/м^3 и удельный объем жидкости v , $\text{м}^3/\text{кг}$.

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить удельный вес по формуле (2);
2. Определить удельный объем по формуле (3).

3.3 Задача 3. Определить коэффициент динамической вязкости жидкости с заданной условной вязкостью.

Сделать вывод: как плотность жидкости влияет на сопротивляемость жидкости сдвигу слоев?

Исходные данные для решения задачи 3 (смотреть Приложение А, таблица А.3):

- плотность жидкости ρ , кг/м^3 ;

- величина условной вязкости $^0\text{ВУ}$.

Требуется определить: коэффициент динамической вязкости μ , Н·с/м².

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить кинематическую вязкость по формуле (9) или (10);
2. Определить коэффициент динамической вязкости по формуле (7).

3.4 *Задача 4. При заданной массе 1 м³ метана определить удельный объем и плотность.*

Исходные данные для решения задачи 4 (смотреть Приложение А, таблица А.4):

- масса метана m , кг.

Требуется определить: удельный объем v , м³/кг и плотность ρ , кг/м³.

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить плотность по формуле (1);
2. Определить удельный объем по формуле (3).

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите основные физические свойства жидкостей.
2. Назовите механические характеристики жидкостей.
3. Что называется под жидкостью в механике жидкости и газа?
4. Какая связь между плотностью и удельным весом?
5. Что такое коэффициент температурного расширения? Какова его размерность?
6. Что называется вязкостью жидкости?
7. Что такое коэффициент динамической вязкости? Какова его размерность?
8. Какая связь существует между коэффициентами динамической и кинематической вязкости?
9. Какими приборами измеряют вязкость?
10. Какие жидкости называются аномальными?
11. В чем отличие аномальных жидкостей от ньютоновских?
12. Что характеризует испаряемость жидкостей?
13. От чего зависит растворимость газов в жидкости?
14. При каких условиях жидкости испаряются?
15. В чем принципиальное отличие капельных жидкостей от газов?
16. Какие жидкости называют идеальными?

1.3 Основной закон гидростатики. Сила давления

1.3.1 Гидростатическое давление

Гидростатикой называется раздел гидравлики, в котором рассматриваются законы равновесия жидкости, находящейся под действием внутренних и внешних сил, а также равновесия тел, погруженных в жидкость.

В гидростатике рассматривается жидкость, находящаяся в относительном и абсолютном покое.

Под относительным покоем следует понимать такое состояние, при котором отдельные частицы жидкости, оставаясь в покое относительно друг друга, перемещаются вместе с сосудом, в котором жидкость заключена. Такое движение называется *переносным*.

Под абсолютным покоем (просто покоем) понимают состояние жидкости, при котором она неподвижна относительно земли и резервуара.

Когда жидкость находится в равновесии, т.е. в состоянии покоя, то она характеризуется свойствами, очень близкими к свойствам идеальной жидкости. На жидкость, находящуюся в равновесии, действуют внешние силы двух видов: массовые и поверхностные.

Массовые силы пропорциональны массе тела и действуют на каждую жидкую частицу этой жидкости. К категории массовых сил относятся силы тяжести и силы инерции.

Поверхностные силы равномерно распределены по поверхности и пропорциональны площади этой поверхности. Эти силы, действуют со стороны соседних объёмов жидкой среды, твёрдых тел или газовой среды (атмосферным давлением, давлением пара в котле, давлением стенок сосуда на жидкость, давлением поршня и т.п.). Поверхностные силы имеют две составляющие: нормальную и тангенциальную. *Нормальная составляющая поверхностных сил F* (рисунок 3), *направлена внутрь объема называется силой давления.* *Тангенциальная сила T* (рисунок 3), *направленная по касательной, называется силой трения.*

Когда жидкость находится в равновесии, то под действием внешних сил в жидкости создаётся гидростатическое давление.

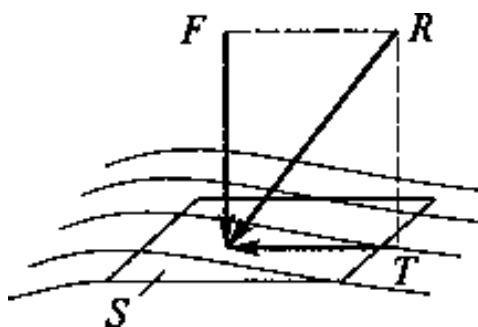


Рисунок 3 - Поверхностные силы

Жидкость оказывает силовое воздействие на дно и стенки сосуда. Частицы жидкости, расположенные в верхних слоях водоема, испытывают меньшие силы сжатия, чем частицы жидкости, находящиеся у дна.

Единицей измерения гидростатического давления в системе СИ является паскаль (Па) - ньютон, отнесенный к квадратному метру ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$).

Важным при решении практических задач является выбор системы отсчета давления (шкалы давления). За начало шкалы может быть принят абсолютный нуль давления (аналог абсолютного нуля температуры) - $0_{\text{абс}}$.

При отсчете давлений от абсолютного нуля их называют абсолютными $P_{\text{абс}}$. (рисунок 4, а).

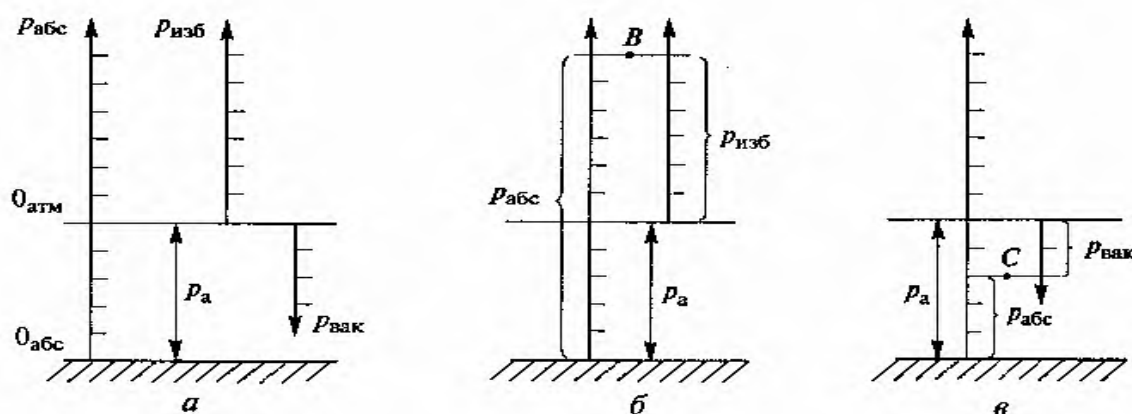


Рисунок 4 - Система отсчета давления

а - шкалы давления, б - взаимосвязь абсолютного и избыточного давлений, в - взаимосвязь абсолютного давления и давления вакуума

При решении технических задач удобнее использовать *избыточные* давления $P_{\text{изб}}$, т.е. когда за начало шкалы принимается атмосферное давление -- $0_{\text{атм}}$. (рисунок 4, а)

Давление, которое отсчитывается «вниз» от атмосферного нуля, называется давлением вакуума $P_{\text{вак}}$, или вакуумом (рисунок 4, а).

Существует связь между абсолютным, избыточным или вакуумным давлением. Пусть значение искомого давления определяется положением точки В (рисунок 4, б). Тогда очевидно, что

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{а}} + P_{\text{изб.}}, \quad (12)$$

где $P_{\text{а}}$ - атмосферное давление, измеренное барометром.

Связь между абсолютным давлением $P_{абс.}$ и давлением вакуума $P_{вак.}$ можно установить аналогичным путем, но уже исходя из положения точки С (рисунок 4, в)

$$P_{абс.} = P_a - P_{вак.}, \quad (13)$$

И избыточное давление, и вакуум отсчитываются от одного нуля ($0_{атм.}$), но разные стороны. Следовательно

$$P_{изб} = - P_{вак.}, \quad (14)$$

Гидростатическое давление обладает свойствами.

Свойство 1. В любой точке жидкости гидростатическое давление перпендикулярно площадке касательной к выделенному объему и действует внутрь рассматриваемого объема жидкости.

Свойство 2. Гидростатическое давление неизменно во всех направлениях.

Свойство 3. Гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве. По мере увеличения погружения точки давление в ней будет возрастать, а по мере уменьшения погружения уменьшаться.

На основании этих свойств получен основной закон гидростатики, позволяющий определить давление в любой точке рассматриваемого объема.

Пусть жидкость содержится в сосуде (рисунок 5) и на ее свободную поверхность действует давление P_0 .

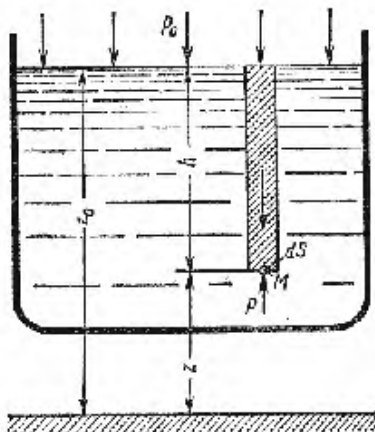


Рисунок 5 - Схема для вывода основного закона гидростатики

Найдем гидростатическое давление P в произвольно взятой точке M , расположенной на глубине h . Выделим около точки M элементарную горизонтальную площадку dS и построим на ней вертикальный цилиндрический объем жидкости высотой h . Рассмотрим условие равновесия указанного объема жидкости, выделенного из общей массы жидкости. Давление жидкости на нижнее основание цилиндра теперь будет внешним и направлено по нормали внутрь объема, т.е. вверх.

Запишем сумму сил, действующих на рассматриваемый объем в проекции на вертикальную ось

$$P \, dS_0 - P_0 \, dS - \rho g h \, dS = 0 \quad (15)$$

Последний член уравнения представляет собой вес жидкости, заключенный в рассматриваемом вертикальном цилиндре объемом $h \, dS$. Силы давления по боковой поверхности цилиндра в уравнение не входят, т.к. они перпендикулярны к этой поверхности и их проекции на вертикальную ось равны нулю. Сократив выражение на dS и перегруппировав члены, найдем

$$P = P_0 + \rho g h, \quad (16)$$

Полученное уравнение называют *основным уравнением гидростатики*. По нему можно посчитать давление в любой точке покоящейся жидкости. Это давление, как видно из уравнения, складывается из двух величин: давления P_0 на внешней поверхности жидкости и давления, обусловленного весом вышележащих слоев жидкости. Из основного уравнения гидростатики видно, что какую бы точку в объеме всего сосуда мы не взяли, на нее всегда будет действовать давление, приложенное к внешней поверхности P_0 . Другими словами *давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям одинаково*. Это положение известно под названием *закона Паскаля*.

При решении практических задач следует обращать внимание на высоту h , она может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Если точка, в которой определяется давление, располагается ниже точки с исходным давлением, то в математической записи основного закона гидростатики ставится знак (+), как в формуле (16). Если точка, в которой определяем давление находится выше точки с исходным давлением, в уравнении знак (+) меняется на (-), то есть чем ниже располагается точка в жидкости, тем больше давление в этой точке.

$$P = P_0 - \rho g h, \quad (17)$$

Закон гидростатики используется при измерении давления.

1.3.2 Приборы для измерения давления

Избыточное давление в жидкостях и газах измеряется манометрами. Это весьма обширный набор измерительных приборов различной конструкции и различного исполнения

По назначению манометры подразделяются на:

1. *Барометры* - предназначены для измерения атмосферного давления;
2. *Вакууметры* - измеряют разрежение газа относительно атмосферного давления;

3. *Манометры, пьезометры* - измеряют давление выше атмосферного (избыточное);

По принципу действия основную группу приборов для измерения давлений можно подразделить на следующие:

1. *Жидкостные*. К жидкостным относятся манометры (рисунок 6), принцип действия которых основан на уравнивании измеряемого давления или разности давлений давлением столба жидкости.

Они представляют собой U-образную стеклянную трубку (рисунок 5), заполненную до половины жидкостью и снабженной шкалой обычно в миллиметрах и паскалях. Уровень жидкости в трубке обязательно должен находиться напротив нулевой отметки шкалы. Если один конец трубки соединить с местом измерения давления газа, а второй конец трубки оставить открытым, то жидкость в первой трубке опустится, а во второй – поднимется. Разность уровней жидкостей относительно нуля будет величиной, определяющей давление в миллиметрах столба жидкости.

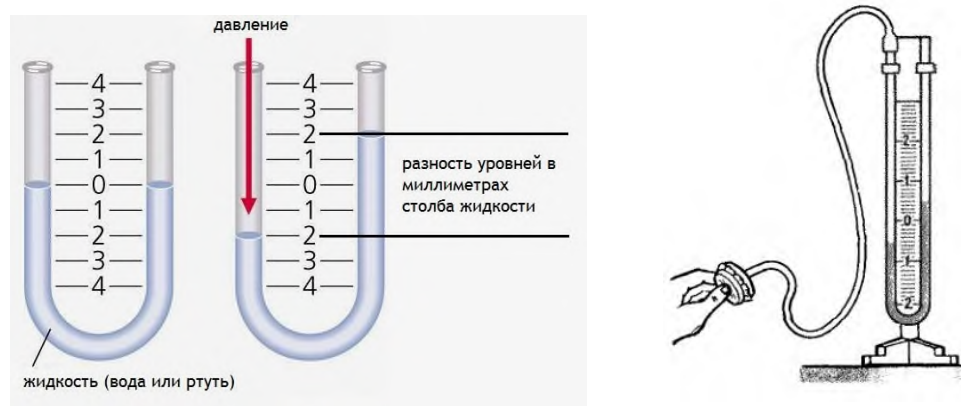


Рисунок 6 - Жидкостный U-образный термометр

Причем площадь сечения трубки не влияет на показания прибора.

Жидкостные U-образные манометры применяются для измерения низкого давления с диапазонами показаний 100, 160, 250, 400, 600 и 1000 миллиметров столба жидкости. При заполнении трубки водой отсчет ведется в миллиметрах водяного столба (мм в.ст.), ртутью – в миллиметрах ртутного столба (мм рт.ст.). При заполнении жидкостных U-образных ртутных манометров необходимо поверх ртути в обе трубки налить 8-10 мм воды или технического масла во избежание попадания паров ртути в помещение. Так как плотность ртути в 13,6 раза больше плотности воды, трубки в ртутных манометрах могут быть в 13,6 раз короче.

2. *Пружинные* (рисунок 7). Их достоинства в том, что они просты по конструкции, надежны и пригодны для измерения давления среды в широком диапазоне от 0,01 до 400 МПа (от 0,1 до 4000 бар).

Чувствительным элементом пружинного манометра является полая изогнутая трубка эллипсоидного или овального сечения, деформирующаяся под действием давления. Один конец трубки запаян, а второй соединен со штуцером, через который соединяется со средой, в которой измеряется

давление. Закрытый конец трубки соединен с передаточным механизмом, смонтированным на стойке, который состоит из поводка, зубчатого сектора, шестеренки с осью и стрелки манометра. Шкала проградуирована в единицах давления (паскаль или бар) и стрелка показывает непосредственную величину избыточного давления измеряемой среды. Механизм манометра помещен в корпус. Измеряемое давление поступает внутрь трубки, которая под действием этого давления стремится распрямиться, так как площадь наружной поверхности больше площади поверхности внутренней. Перемещение свободного конца трубки через передаточный механизм передается стрелке, которая поворачивается на определенный угол. Между измеряемым давлением и деформацией трубки существует прямолинейная зависимость и стрелка, отклоняясь относительно шкалы манометра, показывает величину давления.

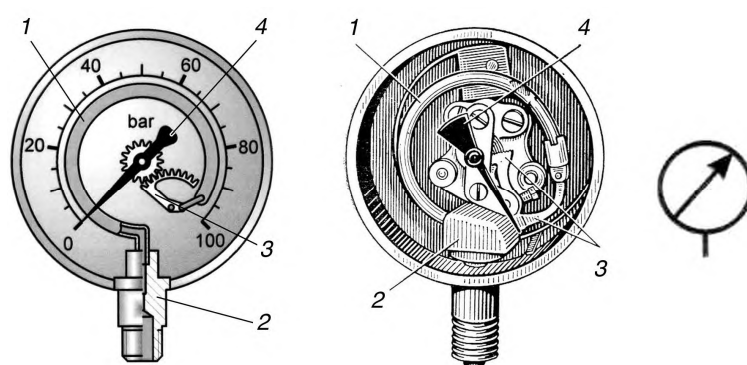


Рисунок 7 - Пружинный манометр

1 - трубка, 2 - ниппель, 3 - пружина, 4 - стрелка.

1.3.3 Закон Архимеда. Условия плавания тел

Закон (Сила) Архимеда: На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V, \quad (18)$$

где V - объем погруженной части тела, m^3 .

На рисунке 8 изображен брусок, погруженный в жидкость. Силы давления со стороны жидкости, действующие на боковые стенки бруска, уравновешивают друг друга. Силы, действующие на нижнее и верхнее основания бруска, определяются глубиной, на которой находятся соответствующие основания. Очевидно, что силы, действующие на нижнее основание бруска, больше. Таким образом, возникновение выталкивающей силы (силы Архимеда) обусловлено различием гидростатических давлений на нижнее и верхнее основания бруска.

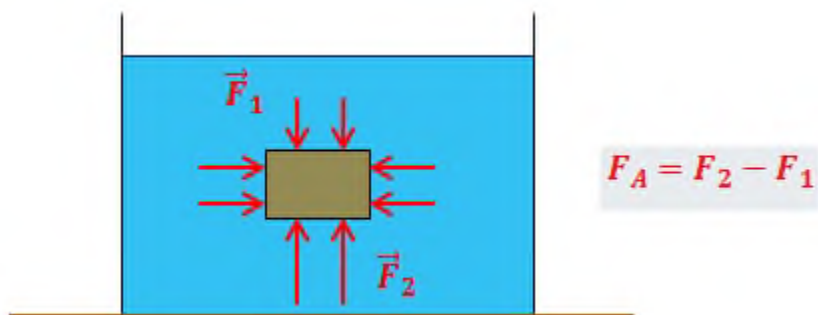


Рисунок 8 - Возникновение выталкивающей силы

Если в состоянии покоя вес тела $P_0 = m \cdot g$, то при погружении в жидкость, его вес изменится и станет равным

$$P = P_0 - F_A = m \cdot g - \rho \cdot g \cdot V, \quad (19)$$

Приведенная формулировка закона Архимеда справедлива, если вся поверхность тела соприкасается с жидкостью или если тело плавает в жидкости, или если тело частично погружено в жидкость через свободную (не соприкасающуюся со стенками) поверхность жидкости. Если же часть поверхности тела плотно прилегает к стенке или дну сосуда так, что между ними нет прослойки жидкости, то закон Архимеда неприменим.

Плавание - это способность тела удерживаться на поверхности жидкости или на определенном уровне внутри жидкости.

Условия плавания тел следуют из закона Архимеда:

Если выталкивающая сила больше, чем вес тела $F_A > P$, тело всплывает до тех пор, пока эти силы не уравновесятся.

Если выталкивающая сила равна весу тела $F_A = P$, тело плавает в любой точке жидкости.

Если выталкивающая сила меньше веса тела $F_A < P$, тело тонет.

1.4 Практическая работа № 2 Решение задач по разделу "Основы гидростатики", часть 2

Цель работы: привитие навыков применения основного уравнения гидростатики, закона Архимеда и свойств гидростатического давления при решении практических задач

Оснащение работы: счетная техника, методическое пособие

Порядок выполнения работы:

1. Повторение теоретических сведений по теме "Основной закон гидростатики. Сила давления".

2. Разбор приемов и способов выполнения задач.

3. Индивидуальное выполнение задач.

Задания на расчётную работу составлены по вариантной системе (смотреть Приложение Б). Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале.

При расчёте величин указывать их размерности.

3.1 *Задача 1. Определить силы давления на боковую стенку и дно открытого резервуара. Резервуар прямоугольный, полностью наполнен водой.*

Сравнить распределение силы давления жидкости на поверхности резервуара разного сечения?

Исходные данные для решения задачи 1 (смотреть Приложение Б, таблица Б.1):

- размеры поперечного сечения резервуара, м;
- вместимость резервуара, м³.

Требуется определить: силу давления на дно резервуара P_d и силу давления на стенки P_c , используя основное уравнение гидростатики.

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить высоту стенок резервуара по формуле

$$h_c = \frac{V}{a \cdot b}, \quad (20)$$

где V - емкость резервуара, м³;
 a и b - длина и ширина резервуара, м.

2. Определить площадь смоченных стенок F_{c1} и F_{c2} , площадь дна F_d резервуара, м².

3. Сила давления на дно резервуара определяется по формуле

$$P_d = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot F_d, \quad (21)$$

где P_d - сила давления на дно резервуара, Н;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, равно 9,81 м/с².

4. Сила давления на стенки резервуара определяется по формуле

$$P_c = (P_0 + \rho \cdot g \cdot h_{ц.т.}) \cdot F_c, \quad (22)$$

где P_c - сила давления на стенки резервуара, Н;

P_0 - давление на внешней поверхности жидкости, Н; для открытых сосудов $P_0 = 0$;
 $h_{ц.т.}$ - высота центральной точки, м.

Высота центральной точки определяется по формуле

$$h_{ц.т.} = \frac{h_c}{2}, \quad (23)$$

Формула (22) просчитывается для смоченных стенок сечением F_{c1} и F_{c2} .

3.2 Задача 2. Определить давление на внутреннюю стенку открытого канала, заполненного водой при известном барометрическом давлении.

Выявить влияние значений барометрического давления на изменение давления на внутреннюю стенку открытого канала.

Исходные данные для решения задачи 2 (смотреть Приложение Б, таблица Б.2):

- глубина заполнения открытого канала водой h , м;
- величина барометрического давления $P_{бар}$, мм.рт.ст.

Требуется определить: давление на внутреннюю стенку открытого канала $P_{абс.}$, МПа при разных значениях барометрического давления.

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить величину атмосферного давления, действующего на свободную поверхность по формуле

$$P_{атм.} = 133,322 \cdot P_{бар}, \quad (24)$$

где $P_{атм.}$ - атмосферное давление, Н/м²;
 $P_{бар}$ - барометрическое давление, мм. рт.ст.

2. Определить давление на открытую стенку по формуле

$$P_{абс.} = (P_{атм.} + \rho \cdot g \cdot h) \cdot 10^{-6}, \quad (25)$$

где $P_{абс.}$ - полное или абсолютное давление, МПа;
 h - глубина заполнения канала водой, м.

3.3 Задача 3. Определить разность давлений в падающей и обратной трубе системы водяного отопления при известной разности уровней ртути

в U - образном манометре. Трубы расположены в одной горизонтальной плоскости (рисунок 9).

Ответ дать в разных единицах измерения: Па, мм.рт.ст., м вод.ст.

Сравнить как изменяется разность давлений (Па) при изменении разности уровней жидкости в трубках.

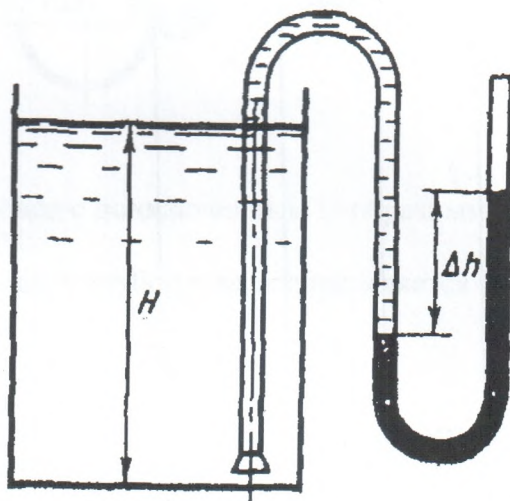


Рисунок 9 - Падающая и обратная труба в системе водяного отопления

Исходные данные для решения задачи 3 (смотреть Приложение Б, таблица Б.3):

- разность уровня жидкости Δh , мм.

Требуется определить: разность давлений в падающей и обратной трубе системы водяного отопления ΔP , Па (мм рт.ст., м вод.ст).

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить разность давлений в падающем и обратном трубопроводе по формуле

$$\Delta P = (\rho_{рт.} - \rho_{вод.}) \cdot g \cdot \Delta h, \quad (26)$$

где ΔP - разность давлений в падающем и обратном трубопроводе, Па;

$\rho_{рт.}$ - плотность ртути; $\rho_{рт.} = 13600 \text{ кг/м}^3$;

$\rho_{вод.}$ - плотность воды, кг/м^3 ;

Δh - разность уровня жидкости, м.

2. Определить разность давлений в мм рт. ст. формуле

$$\Delta P = \Delta P (\text{Па}) \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}, \quad (27)$$

где ΔP - разность давлений в падающем и обратном трубопроводе,

мм рт. ст.

3. Определить разность давлений в м вод. ст. формуле

$$\Delta P = \Delta P \text{ (Па)} \cdot 0,101972 \cdot 10^{-3}, \quad (28)$$

где ΔP - разность давлений в падающем и обратном трубопроводе, м вод. ст.

3.4 Задача 4. Определить абсолютное давление воды в трубопроводе, если U-образный ртутный манометр, подключенный по схеме рисунка 9, показывает перепад. Высота водяного столба $h_{в.ст} = 1,36 \cdot 10^3$ мм рт. ст.

Сравнить как изменяется абсолютное давление при изменении перепада жидкости в труб.

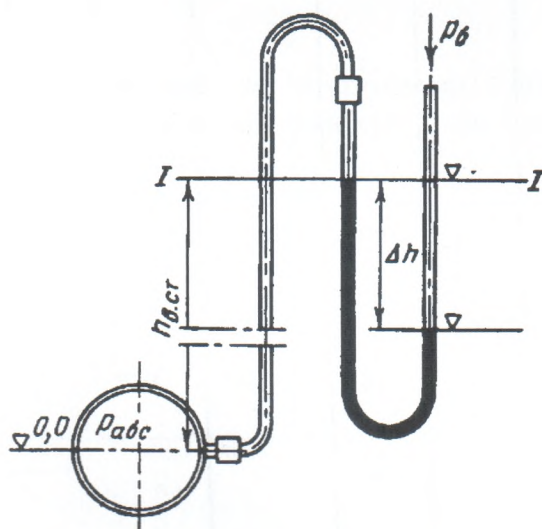


Рисунок 10 - Трубопровод с подключенным U-образным ртутным манометром

Исходные данные для решения задачи 4 (смотреть Приложение Б, таблица Б.4):

- перепад жидкости Δh , мм;
- барометрическое давление $P_{бар}$, мм рт. ст..

Требуется определить: абсолютное давление воды в трубопроводе $P_{абс.}$, мм рт.ст.

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить давление водяного столба по формуле

$$P_{\text{в.ст}} = h_{\text{в.ст}} \cdot \frac{r_{\text{вод}}}{r_{\text{рт}}} , \quad (29)$$

где $P_{\text{в.ст}}$ - давление водяного столба, мм рт.ст.;
 $h_{\text{в.ст}}$ - высота водного столба, мм рт. ст.

2. Определить абсолютное давление воды в трубопроводе по формуле

$$P_{\text{абс.}} = P_{\text{бар.}} - P_{\text{рт.ст.}} + P_{\text{в.ст.}}, \quad (30)$$

где $P_{\text{абс.}}$ - абсолютное давление воды в трубопроводе, мм рт. ст.;
 $P_{\text{рт.ст.}}$ - давление ртутного столба, равное перепаду Δh , мм рт.ст.

3.4 Задача 5. Деревянный цилиндр плавает в воде (рисунок 11) . Часть его объема погружено в воду. Какая часть цилиндра будет погружена в воду, если на воду налить слой масла, полностью закрывший цилиндр?

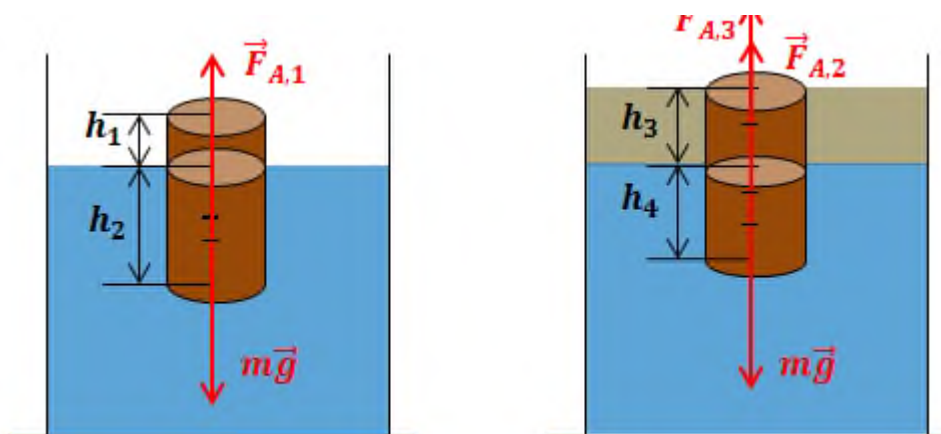


Рисунок 11 - Распределение силы тяжести и Архимедовой силы при плавании тел

Исходные данные для решения задачи 5 (смотреть Приложение Б, таблица Б.5):

- величина объема погружения цилиндра вводу (соотношение объема цилиндра, погруженного в воду к общему его объему), n ;
- плотность масла $\rho_{\text{м}}$, кг/м^3 .

Требуется определить: Величину погружения цилиндра x .

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить плотность дерева $\rho_{\text{д}}$.

В первом случае на цилиндр действует сила тяжести $m \cdot g$ и сила Архимеда со стороны воды F_{A1} . Условие равновесия в первом случае запишется в виде

$$F_{A1} - m \cdot g = 0, \quad (31)$$

Масса деревянного цилиндра согласно рисунка 11 определяется по формуле

$$m = \rho_D \cdot (h_1 + h_2) \cdot S, \quad (32)$$

где m - масса цилиндра, кг;

ρ_D - плотность древесины, кг/м³;

h_1 и h_2 - размер выступающей части образца и погруженной в воду, м;

S - площадь поперечного сечения цилиндра, м².

Величина Архимедовой силы со стороны воды согласно рисунку 11 определяется по формуле

$$F_{A1} = \rho_B \cdot g \cdot h_2 \cdot S, \quad (33)$$

где ρ_B - плотность воды, кг/м³;

ρ_M - плотность масла, кг/м³.

Подставив уравнение (33) в уравнение равновесия (31) и сократив на S и g , получите новое уравнения равновесия, преобразовав которое определите плотность материала (ρ_D), из которого изготовлен цилиндр; в данном случае - это древесина.

Величина объема погружения цилиндра в воду, согласно рисунка 11 определяется как

$$n = \frac{h_2}{h_1 + h_2}, \quad (34)$$

2. Определить величину погружения по формуле

$$x = \frac{n \times r_{\epsilon} - r_m}{r_{\epsilon} - r_m}, \quad (35)$$

Вопросы для самопроверки:

1. Что изучает гидростатика?
2. Какую форму принимает свободная поверхность жидкости, находящейся в абсолютном покое?
3. Какие силы действуют на жидкости, находящиеся в равновесии?
4. Какие силы называются массовыми?
5. Как распределяются поверхностные силы?
6. Что называют гидростатическим давлением и каковы его свойства?
7. В каких единицах измеряется давление?
8. Каким давлением пользуются при решении технических задач?
9. Какие виды давления различают в гидравлике?
10. Что утверждает закон Паскаля и в чем заключается его практическая ценность?
11. Какими приборами измеряют различные виды давления?
12. Какими свойствами обладает гидростатическое давление?
12. По какому принципу работают жидкостные и пружинные манометры?
13. Что можно определить, используя основное уравнение гидростатики?
14. Что называют абсолютным покоем жидкости?
15. Что называют относительным покоем жидкости?
16. При каких условиях тело погруженное в воду плавает?
17. Что утверждает закон Архимеда? При каких условиях он применим?

1.5 Основы гидродинамики . Основные законы кинематики и динамики жидкости

Гидродинамика - раздел гидравлики, в котором изучаются законы движения жидкости и ее взаимодействие с неподвижными и подвижными поверхностями.

Параметры, характеризующие движение жидкости - скорость и давление - изменяются в потоке, в пространстве и во времени.

Если отдельные частицы абсолютно твердого тела жестко связаны между собой, то в движущейся жидкой среде такие связи отсутствуют. Движение жидкости состоит из чрезвычайно сложного перемещения отдельных молекул.

Течение жидкости может быть установившимся и неустановившимся.

Установившимся движением называется такое движение жидкости, при котором в данной точке русла давление и скорость не изменяются во времени.

Установившееся движение может быть равномерным и неравномерным. *Равномерное - скорость, а в ряде случаев и давление не меняются вдоль потока.*

Движение, при котором скорость и давление изменяются не только от координат пространства, но и от времени, называется неустановившимся или нестационарным.

Течение жидкости может быть напорным и безнапорным.

Напорное течение наблюдается в закрытых руслах без свободной поверхности. Напорное течение наблюдается в трубопроводах с повышенным (пониженным давлением).

Безнапорное - течение со свободной поверхностью, которое наблюдается в открытых руслах (реки, открытые каналы, лотки и т.п.). В данном курсе будет рассматриваться только напорное течение.

Линия, по которой движется частица, называется её траекторией. Траектория движения частиц при установившемся течении является неизменной во времени.

Линия тока (применяется при неустановившемся движении) - это кривая, в каждой точке которой вектор скорости в данный момент времени направлены по касательной (рисунок 12, а).

Трубка тока - трубчатая поверхность, образуемая линиями тока с бесконечно малым поперечным сечением.

Часть потока, заключенная внутри трубки тока называется элементарной струйкой.

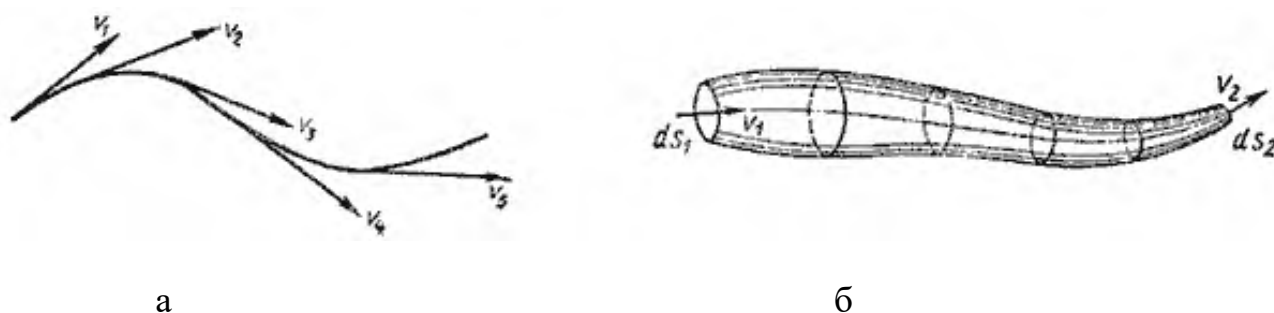


Рисунок 12 - Линия тока и струйка тока

В любой точке трубки тока скорости частиц жидкости направлены по касательной, нормальная к этой поверхности составляющая скорости отсутствует, следовательно, при установившемся движении ни одна частица жидкости ни в одной точке не может проникнуть внутрь струйки или выйти наружу. Таким образом, трубка тока является как бы непроницаемой стенкой, а элементарная струйка – это самостоятельный элементарный поток.

Поток жидкости представляет собой совокупность элементарных струек, которые скользят друг по другу, не перемешиваясь.

Живое сечение тока - площадь поперечного сечения потока, проведенная нормально к линиям тока.

1.5.1 Расход. Уравнение расхода

Расход - количество жидкости, которое протекает через данное сечение в единицу времени.

В зависимости от того в каких единицах измеряют количество жидкости расход различают: объемный Q ($\text{м}^3/\text{с}$), Q_m массовый ($\text{кг}/\text{с}$) и весовой Q_G ($\text{Н}/\text{с}$).

Объемный расход определяется по формуле

$$Q = v \cdot \Delta\omega, \quad (36)$$

где Q - объемный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;

v - скорость потока, $\text{м}/\text{с}$;

$\Delta\omega$ - площадь сечения струйки, м^2 .

Между этими расходами существует такая же связь как и между объемом, массой и весом

$$Q_m = Q \cdot \rho, \quad Q_G = Q_m \cdot g, \quad Q_G = Q \cdot \rho \cdot g, \quad (37)$$

Расход связан со скоростью движения.

При расчетах гидравлических систем широко используют уравнение расхода (уравнение неразрывности). Данное равенство получают из равенства расходов в двух сечениях одного потока. Если рассматривать трубку тока и в ней два произвольных течения $\Delta\omega_1$ и $\Delta\omega_2$ (на рисунке 12, б - dS_1 и dS_2), нормальных трубке потока, то за единицу времени через первое сечение пройдет объем жидкости $v_1 \cdot \Delta\omega_1$, а через второе - $v_2 \cdot \Delta\omega_2$. Очевидно, эти расходы в первом и втором сечениях одинаковы, то есть $Q_1 = Q_2$. Тогда

$$v_1 \cdot \Delta\omega_1 = v_2 \cdot \Delta\omega_2, \quad (38)$$

Уравнение (38) получило название расхода. Оно позволяет определить среднюю скорость в любом сечении потока жидкости (например, v_1), если известна хотя бы одна из средних скоростей этого потока (например, v_2) и его геометрические размеры.

1.5.2 Уравнение Бернулли

Движение жидкости характеризуется скоростями движения частиц и давлением в отдельных точках потока.

Уравнение Бернулли является основным уравнение гидродинамики, устанавливающим связь между средней скоростью и гидродинамическим давлением в установившемся потоке.

1. Для идеальных жидкостей

Если рассматривать течение элементарной струйки идеальной жидкости, то она находится под действием лишь одной массовой силы -

силы тяжести. В жидкости могут действовать нормальные силы сжатия (давления), но не могут действовать касательные напряжения (трения), так как у таких жидкостей отсутствуют силы трения.

Для идеальной жидкости уравнение Бернулли выражает постоянство полной механической энергии движущейся вдоль трубки тока и вдоль элементарной струйки

$$Z_1 + \frac{P_1}{r \times g} + \frac{u^2_1}{2 \times g} = Z_2 + \frac{P_2}{r \times g} + \frac{u^2_2}{2 \times g}, \quad (39)$$

где Z - геометрическая высота;

$\frac{P}{r \times g}$ - удельная энергия давления (сжатия) жидкости в сечениях или

пьезометрическая высота, или пьезометрический напор;

$\frac{u^2}{2 \times g}$ - удельная кинетическая энергия жидкости в сечениях или

скоростная высота, или скоростной (динамический) напор;

$Z + \frac{P}{r \times g}$ - удельная потенциальная энергия жидкости в сечениях или

гидростатический напор;

$Z + \frac{P}{r \times g} + \frac{u^2}{2 \times g}$ - полная удельная энергия в каждом сечении струйки жидкости или полный напор.

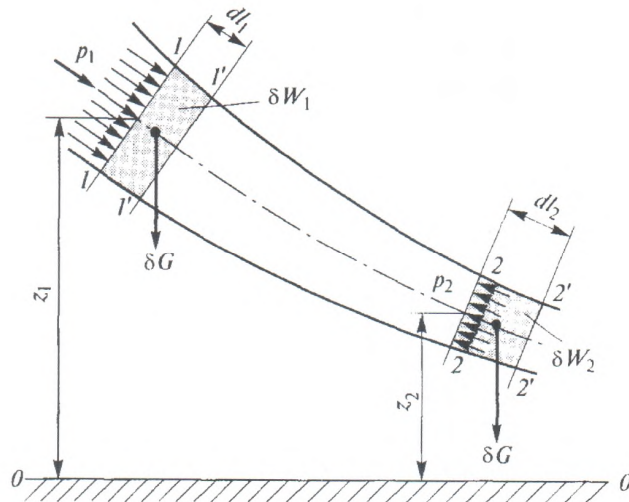


Рисунок 13 - Схема струйки идеальной жидкости

Энергетический смысл уравнения Бернулли заключается в следующем - в потоке идеальной жидкости её полная удельная энергия в сечении есть величина постоянная. В процессе движения жидкости одна форма энергии может превращаться в другую, но полная энергия остается постоянной.

Геометрический смысл уравнения Бернулли заключается в следующем - при установившемся движении идеальной жидкости сумма трех высот (напоров) - геометрической, пьезометрической и скоростной - вдоль потока остается постоянной.

2. Для реальных жидкостей

При движении реальной жидкости вследствие её вязкости и трения происходит потеря энергии. Поэтому при составлении уравнения Бернулли учитывалась неравномерность распределения скоростей в потоке и энергия потока, расходуемая на преодоление гидравлического сопротивления в канале.

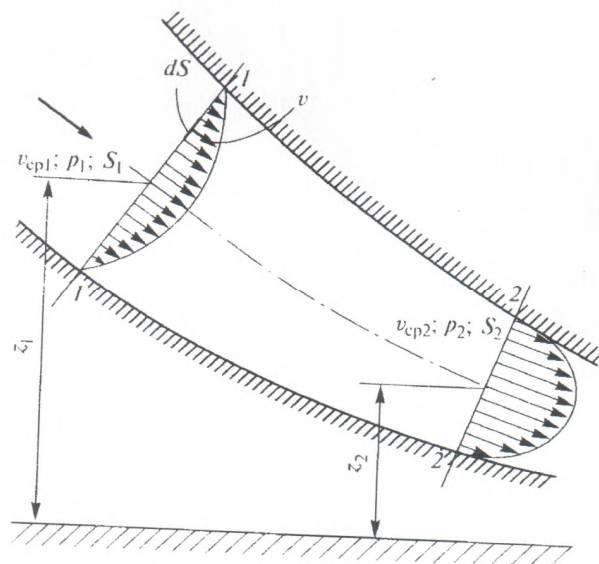


Рисунок 14 - Схема потока реальной жидкости

Изменение полной энергии потока жидкости при перемещении от одного сечения к другому равно удельной энергии, затраченной на преодоление сопротивления между этими сечениями.

$$Z_1 + \frac{P_1}{r \times g} + a \frac{u^2_1}{2 \times g} = Z_2 + \frac{P_2}{r \times g} + a \frac{u^2_2}{2 \times g} + h_{1-2}, \quad (40)$$

где α - коэффициент Кориолиса; $\alpha = 1,05 \dots 1,1$; при одинаковых скоростях в пределах одного сечения $\alpha=1$;

h_{1-2} - потери напора в сопротивлениях, как в местных, так и по длине.

Уравнение Бернулли широко используется в технике, например для расчетов водопроводов, нефтепроводов, газопроводов и насосов. На его основании сконструирован ряд приборов и устройств, таких как карбюратор (служит для подсоса бензина и смешивания его с потоком воздуха), водоструйный насос, расходомер Вентури (устройство, устанавливаемое в трубопроводах и осуществляющее сужение потока - дросселирование).

1.5.3 Гидравлические сопротивления. Режимы течения жидкости

Потери энергии (уменьшение гидравлического напора) можно наблюдать в движущейся жидкости не только на сравнительно длинных участках, но и на коротких. В одних случаях потери напора распределяются по длине трубопровода - это линейные потери; в других - они сосредоточены на очень коротких участках, длиной которых можно пренебречь, - на так называемых местных гидравлических сопротивлениях: вентили, всевозможные закругления, сужения, расширения и т.д. Источником потерь во всех случаях является вязкость жидкости.

Потери напора и по длине и в местных гидравлических сопротивлениях существенным образом зависят от так называемого режима движения жидкости.

При наблюдении за движением жидкости в трубах и каналах, можно заметить, что в одном случае жидкость сохраняет определенный строй своих частиц, а в других - перемещаются бессистемно. Исчерпывающие опыты по этому вопросу были проведены Рейнольдсом.

Установка Рейнольдса (рисунок 15) состоит из резервуара *A* с водой, от которого отходит стеклянная труба *B* с краном *C* на конце, и сосуда *D* с водным раствором краски, которая может по трубке вводиться тонкой струйкой внутрь стеклянной трубы *B*.

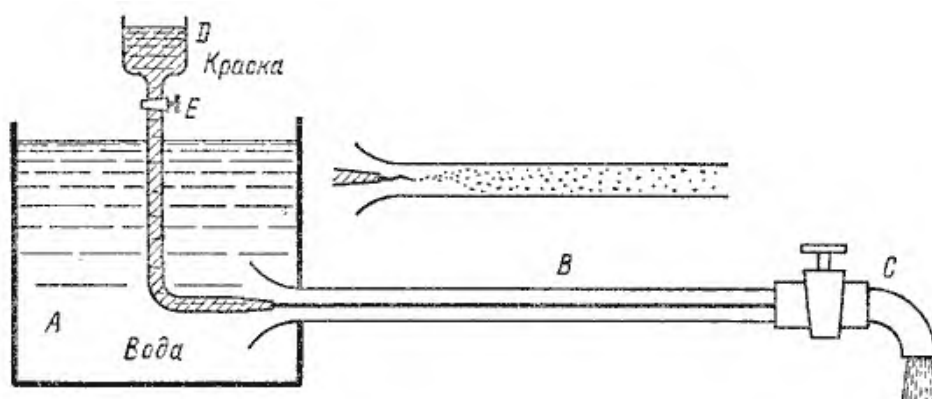


Рисунок 15 - Схема установки Рейнольдса

Первый случай движения жидкости. Если немного приоткрыть кран *C* и дать возможность воде протекать в трубе с небольшой скоростью, а затем с помощью крана *E* впустить краску в поток воды, то увидим, что введенная в трубу краска не будет перемешиваться с потоком воды. Струйка краски будет отчетливо видимой вдоль всей стеклянной трубы, что указывает на слоистый характер течения жидкости и на отсутствие перемешивания. Если при этом, если к трубе подсоединить пьезометр или трубку Пито, то они покажут неизменность давления и скорости по времени. Такой режим движения называется *ламинарный*.

Второй случай движения жидкости. При постепенном увеличении скорости течения воды в трубе путем открытия крана *C* картина течения

вначале не меняется, но затем при определенной скорости течения наступает быстрое ее изменение. Струйка краски по выходе из трубки начинает колебаться, затем размывается и перемешивается с потоком воды, причем становятся заметными вихреобразования и вращательное движение жидкости. Пьезометр и трубка Пито при этом покажут непрерывные пульсации давления и скорости в потоке воды. Такое течение называется *турбулентным* (рисунок 15, вверху).

Если уменьшить скорость потока, то восстановится ламинарное течение.

Ламинарным называется слоистое течение без перемешивания частиц жидкости и без пульсации скорости и давления. При ламинарном течении жидкости в прямой трубе постоянного сечения все линии тока направлены параллельно оси трубы, при этом отсутствуют поперечные перемещения частиц жидкости.

Турбулентным называется течение, сопровождающееся интенсивным перемешиванием жидкости с пульсациями скоростей и давлений. Наряду с основным продольным перемещением жидкости наблюдаются поперечные перемещения и вращательные движения отдельных объемов жидкости.

Переход от ламинарного режима к турбулентному наблюдается при определенной скорости движения жидкости. Эта скорость называется *критической* $v_{кр}$.

Значение этой скорости прямо пропорционально кинематической вязкости жидкости и обратно пропорционально диаметру трубы, определяется по формуле

$$u_{кр} = \frac{\nu}{d} \cdot k, \quad (41)$$

где $v_{кр}$ - критическая скорость, м/с;
 ν - кинематическая вязкость, м²/с;
 k - безразмерный коэффициент;
 d - внутренний диаметр трубы, м.

Входящий в эту формулу безразмерный коэффициент k , одинаков для всех жидкостей и газов, а также для любых диаметров труб. Этот коэффициент называется *критическим числом Рейнольдса* $Re_{кр}$ и определяется по формуле

$$Re = \frac{u_{кр} \cdot d}{\nu}, \quad (42)$$

где Re - критическое число Рейнольдса.

Как показывает опыт, для труб круглого сечения $Re_{кр}$ примерно равно 2300.

Критерий подобия Рейнольдса позволяет судить о режиме течения жидкости в трубе:

- при $Re < 2600$ - течение устойчивое ламинарное;
- при $Re = 2300$ - происходит разрушение ламинарного течения в круглых трубах;
- при $Re = 2300 \dots 4000$ имеет место переходная, критическая область, при которой не может существовать ни устойчивое ламинарное, ни развитое турбулентное;
- при $Re > 4000$ течение является развитым турбулентным.

Режим движения жидкости напрямую влияет на степень гидравлического сопротивления трубопроводов.

1.6 Практическая работа № 3 Решение задач по разделу "Основы гидродинамики"

Цель работы: привитие навыков определения режимов течения жидкости; расхода жидкости

Оснащение работы: счетная техника, методическое пособие

Порядок выполнения работы:

1. Повторение теоретических сведений по теме "Основы гидродинамики".

2. Разбор приемов и способов выполнения задач.

3. Индивидуальное выполнение задач.

Задания на расчётную работу составлены по вариантной системе (смотреть Приложение В). Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале.

При расчёте величин указывать их размерности.

3.1 Задача 1. Определить массовый расход горячей воды в трубопроводе.

Исходные данные для решения задачи 1 (смотреть Приложение В, таблица В.1):

- внутренний диаметр трубопровода d , мм;
- средняя скорость воды v , м/с;
- плотность воды ρ , кг/м³.

Требуется определить: массовый расход воды Q_m , кг/с.

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить объемный расход жидкости по формуле

$$Q = v \cdot \frac{\rho \times d^2}{4}, \quad (43)$$

где Q - объемный расход жидкости, м³/с;
 v - скорость потока, м/с;
 d - внутренний диаметр трубопровода, м.

2. Определить массовый расход жидкости по формуле (37).

3.2 *Задача 2. Определить режим течения воды (находящейся в состоянии насыщения) по трубопроводу.*

Исходные данные для решения задачи 2 (смотреть Приложение В, таблица В.2):

- диаметр трубопровода d , мм;
- объемный расход жидкости Q , м³/час;
- температура воды t , °С.

Требуется определить: давление на внутреннюю стенку открытого канала $P_{абс.}$, МПа при разных значениях барометрического давления.

Рекомендации к расчету. Расчёт следует делать в следующем порядке:

1. Определить кинематическую вязкость жидкости по формуле

$$\nu = \mu \cdot V, \quad (44)$$

где ν - кинематическая вязкость, м²/с;
 μ - динамическая вязкость, Н·с/м²; определяется по таблице В4 Приложения В в зависимости от температуры воды;
 V - удельный объем жидкости, м³/кг; определяется по таблице В4 Приложения В в зависимости от температуры воды).

2. Определить критическую скорость движения воды по формуле

$$u_{кр} = \frac{Q}{\frac{\rho \times d^2}{4}}, \quad (45)$$

где $u_{кр}$ - скорость движения воды, м/с;
 Q - объемный расход жидкости, м³/час;
 d - внутренний диаметр трубы, м.

3. Вычислить критерий Рейнольдса используя формулу (42).

4. По полученному числу Рейнольдса Re определить характер течения жидкости.

3.3 *Задача 3.* На прямом участке реки одновременно сделаны замеры поперечного сечения и определены живые сечения в плоскостях A, B, C - F_A, F_B, F_C (рисунок 16). Определить средние скорости при известном расходе воды.

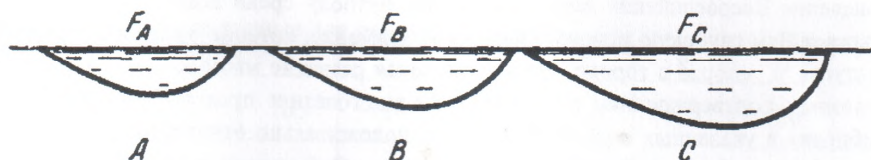


Рисунок 16 - Схема для решения задачи

Исходные данные для решения задачи 3 (смотреть Приложение В, таблица В.3):

- расход воды Q , $\text{м}^3/\text{час}$;
- живые сечения - F_A, F_B, F_C , м^2 .

Требуется определить: средние скорости течения в плоскостях A, B и C , $\text{м}/\text{с}$.

Рекомендации к расчету. Для определения скорости течения жидкости в сечениях необходимо использовать уравнение неразрывности

$$F_A \cdot v_A = F_B \cdot v_B = F_C \cdot v_C, \quad (46)$$

где F_A, F_B, F_C - площадь живого сечения в плоскостях A, B и C , м^2 ;
 v_A, v_B, v_C - Скорость течения жидкости в плоскостях A, B и C , $\text{м}/\text{с}$.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какое движение жидкости называется установившимся?
2. Какое движение жидкости называется неустановившимся?
3. Что такое линия тока?
4. Что называется траекторией частицы?
5. Что называется стружкой?
6. Что называется трубкой тока?
7. Что такое живое сечение потока?
8. Какие движения жидкости называется равномерным и неравномерным?
9. Какие движения жидкости называются напорными и безнапорными?

10. Какое движение жидкости называется ламинарным? Какие условия соответствуют данному течению жидкости?
11. Какое движение жидкости называется турбулентным? Какие условия соответствуют данному течению жидкости?
12. Что понимается под расходом жидкости?
13. В каких единицах измеряется расход? В зависимости от единиц измерения какие виды расхода бывают?
14. Каков энергетический и геометрический смысл членов уравнения Бернулли для идеальной жидкости?
15. Чем отличаются уравнения Бернулли для идеальной и реальной жидкостей?
16. Каков энергетический смысл уравнения Бернулли для потока реальной (вязкой) жидкости?
17. Что собой представляют гидравлические потери потока реальной жидкости?
18. Какие виды потерь возникают при движении жидкости?
19. От чего зависят гидравлические потери?
20. Что изучает гидродинамика?
21. Какими гидродинамическими характеристиками обладает поток движущейся жидкости?
22. С какой целью при расчетах гидросистем применяют критерии подобия?
23. Какие критерии подобия применяют для оценки процессов в гидромеханике?
24. Как по числу Рейнольдса определить характер течения жидкости?
25. Где больше расход воды в узком или широком месте реки? Почему?

2 Гидравлический привод

Гидравлический привод (объемный гидропривод) это совокупность объемных гидромашин, гидроаппаратуры и других устройств, предназначенная для передачи механической энергии и преобразования движения посредством жидкости.

Принцип действия гидропривода основан на использовании двух главных свойств рабочего тела гидропередачи - рабочей жидкости. Первое свойство - жидкость является упругим телом и практически несжимаема; второе - в замкнутом объеме жидкости изменение давления в каждой точке передается в другие точки без изменения.

Гидравлический привод обладает рядом достоинств: малые масса и габариты гидроагрегатов, возможность передавать большие усилия и моменты, высокое быстродействие, бесступенчатость и широкий диапазон регулирования скоростей.

В гидроприводах, работающих при температуре 10.. 70 °С, в качестве рабочей жидкости применяются минеральные масла с кинематической вязкостью 20.. 40 мин²/с; промышленное И-20 или турбинное Т-22. Для специальных условий можно использовать синтетические жидкости с рабочей температурой —50... + 205 °С.

В состав гидропривода входят:

- насосы;
- устройства подготовки и передачи масла;
- распределительная и контрольно-регулирующая аппаратура;
- исполнительные механизмы (гидродвигатели).

Гидравлическими машинами называются машины, которые сообщают протекающей через них жидкости механическую энергию (насос), либо получают от жидкости часть энергии и передают ее рабочему органу для полезного использования (гидродвигатель).

Насосы и гидромоторы применяют в *гидропередачах*, назначением которых является передача механической энергии от двигателя к исполнительному органу, а также преобразование вида и скорости движения последнего посредством жидкости.

2.1 Гидравлические насосы

Насос - это гидравлическая машина, сообщающая жидкости механическую энергию. Таким образом, насос позволяет преобразовать механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости.

В деревообрабатывающем оборудовании применяют в основном нерегулируемые гидравлические насосы постоянной производительности:

1. Шестеренные насосы производительностью 5...140 л/мин для создания давления до 2,5 МПа;

2. Лопастные насосы производительностью 5.. .20 л/мин, давлением 2,5.. .6,5 МПа;

3. Плунжерные (поршневые) насосы производительностью до 400 л/мин и давлением до 20 МПа. Применяют, когда давление в системе должно превышать 6,5 МПа или когда требуется компактность машины.

Иногда для повышения производительности машины применяют комбинированный привод с двумя насосами разной характеристики. В этом случае сочетается работа насоса высокой производительности и небольшого давления для выполнения быстрого холостого хода и насоса малой производительности, но большого давления - для выполнения рабочего хода.

2.1.1 Лопастные насосы

Рабочим органом лопастной машины является вращающееся рабочее колесо, снабженное лопастями. Лопастные насосы делятся на центробежные и осевые.

В *центробежном лопастном насосе* (рисунок 17) жидкость под действием центробежных сил перемещается через рабочее колесо от центра к периферии.

Проточная часть насоса состоит из трех основных элементов - подвода 1, рабочего колеса 2 и отвода 3. По подводу жидкость подается в рабочее колесо из подводящего трубопровода. Рабочее колесо 2 передает жидкости энергию от приводного двигателя. Рабочее колесо состоит из двух дисков *а* и *б*, между которыми находятся лопатки *в*, изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Жидкость движется через колесо из центральной его части к периферии. По отводу жидкость отводится от рабочего колеса к напорному патрубку или, в многоступенчатых насосах, к следующему колесу.

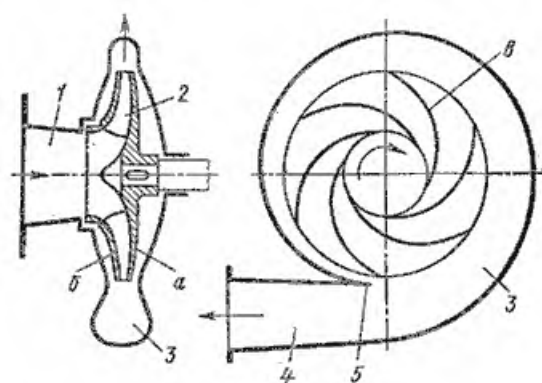


Рисунок 17 - Схема центробежного насоса

В *осевом лопастном насосе* жидкость перемещается в основном вдоль оси вращения рабочего колеса (рисунок 18).

Рабочее колесо осевого насоса похоже на винт корабля. Оно состоит из втулки 1, на которой закреплено несколько лопастей 2. Отводом насоса служит осевой направляющий аппарат 3, с помощью которого устраняется закрутка жидкости, и кинетическая энергия ее преобразуется в энергию

давления. Осевые насосы применяют при больших подачах и малых давлениях.

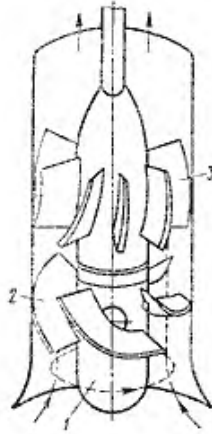


Рисунок 18 - Схема осевого насоса

2.1.2 Поршневые насосы

Поршневые насосы относятся к числу объемных насосов, в которых перемещение жидкости осуществляется путем ее вытеснения из неподвижных рабочих камер вытеснителями. *Рабочей камерой* объемного насоса называют ограниченное пространство, попеременно сообщаемое со входом и выходом насоса. *Вытеснителем* называется рабочий орган насоса, который совершает вытеснение жидкости из рабочих камер (плунжер, поршень, диафрагма).

а) *Насос простого действия* (рисунок 19). Поршень 2 связан с кривошипно-шатунным механизмом через шток 3, в результате чего он совершает возвратно-поступательное движение в цилиндре 1. Поршень при ходе вправо создает разрежение в рабочей камере, вследствие чего всасывающий клапан 6 поднимается и жидкость из расходного резервуара 4 по всасывающему трубопроводу 5 поступает в рабочую камеру 7.

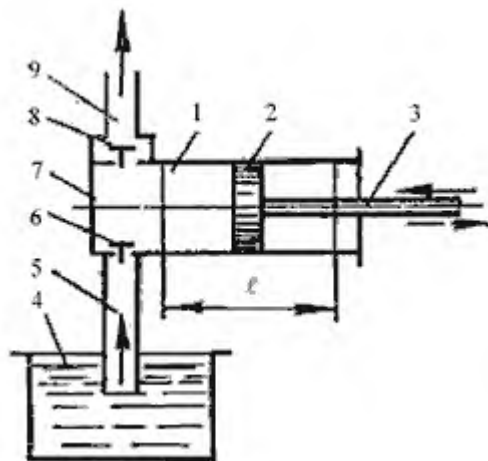


Рисунок 19 - Схема поршневого насоса простого действия

При обратном ходе поршня (влево) всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный клапан δ открывается, и жидкость нагнетается в напорный трубопровод 9.

б) *Насос двойного действия* (рисунок 20) характеризуется более равномерной и увеличенной подачей жидкости, по сравнению с насосом простого действия. Каждому ходу поршня соответствуют одновременно процессы всасывания и нагнетания. Эти насосы выполняются горизонтальными и вертикальными, причем последние наиболее компактны.

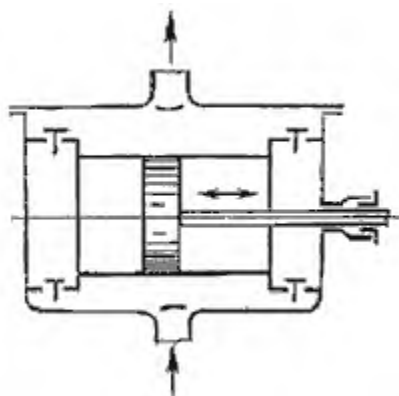


Рисунок 20 - Схема поршневого насоса двойного действия

2.1.3 Шестеренные насосы

Шестеренный насос (рисунок 21) состоит из двух цилиндрических шестерен, помещенных в корпусе.

Шестерня - ведущая, жестко посажена на валу, шестерня - ведомая, получает вращение от шестерни.

При вращении шестерен выступы зубьев одной, выходя поочередно из впадин другой, образуют в полости разрежение, в результате которого жидкость засасывается из трубопровода. В полости выступы зубьев, входя в зацепление, выдавливают жидкость из впадин между зубьями, создавая давление в нагнетательном трубопроводе. Жидкость от всасывающего трубопровода перемещается к нагнетательному в полостях, образованных впадинами зубьев шестерен и стенками корпуса насоса.

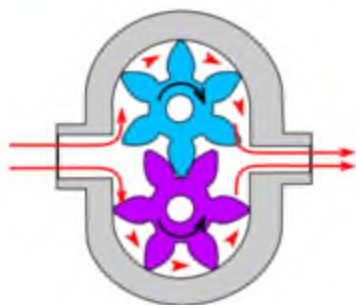


Рисунок 21 - Схема шестеренных насосов

Во время работы насоса каждая вновь вступающая в зацепление пара зубьев закрывает выход для жидкости, поданной ранее вступившей в зацепление парой. Происходит заклинивание жидкости, которая начинает под большим давлением выдавливаться через зазоры, в связи с чем давление на оси шестерен возрастает и увеличивается износ подшипников.

Чтобы устранить это вредное явление, на торцовых стенках корпуса, там где зацепляются шестерни, делают канавки или сверлят каналы, соединяющие диаметрально противоположные впадины зубьев шестерен. Иногда для этой цели у зубьев шестерен увеличивают зазоры или срезают один бок профиля.

2.2 Устройства подготовки и передачи масла

Устройства подготовки масла включают:

- гидробаки вместимостью 60; 100; 160 и 250 л;
- фильтры - для очистки масла от загрязнения;
- магнитные улавливатели - для удаления из масла металлических частиц;
- охладители масла - для водяного охлаждения или обдува;
- аккумуляторы - для снижения производительности насоса при чередующихся циклах большого и малого расхода масла.

В гидросистемах оборудования масло подается по стальным трубам или гибким шлангам.

2.3 Распределительная аппаратура

Распределительная аппаратура (устройства) предназначена для направления масла к соответствующим узлам машины и отвода его в резервуар. К ней относятся клапаны (обратные, предохранительные), гидрораспределители (напорные, реверсивные).

2.4 Регулирующая аппаратура

Регулирующая аппаратура служит для регулирования давления, числа и скорости потоков масла и выдержки времени срабатывания отдельных механизмов. В деревообрабатывающем оборудовании наиболее распространены редуцирующие клапаны и дроссели.

2.5 Гидродвигатели

В качестве исполнительных механизмов (гидродвигателей) применяются силовые цилиндры, служащие для осуществления возвратно-поступательных прямолинейных и поворотных перемещений исполнительных механизмов.

В качестве гидродвигателей наиболее часто используют поршневые, плунжерные, диафрагменные, роторные пластинчатые (лопастные) и аксиально-поршневые гидродвигатели. Наибольшее распространение в деревообрабатывающем производстве получили поршневые гидродвигатели (гидроцилиндры).

Гидроцилиндры являются объемными гидромашинами и предназначены для преобразования гидравлической энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена, в гидроцилиндре в результате воздействия давления жидкости на поршень, линейно перемещается шток.

Гидравлический цилиндр (рисунок 22) позволяет получить поступательное движение выходного звена в гидравлическом приводе.

Основными параметрами гидроцилиндров являются их внутренний диаметр, диаметр штока, ход поршня и номинальное давление, определяющее его эксплуатационную характеристику и конструкцию.

Гидроцилиндры работают при высоких давлениях (до 32 МПа), их изготавливают одностороннего и двухстороннего действия, с односторонним и двухсторонним штоком и телескопические.

1. Поршневые гидроцилиндры - их поршень уплотнен относительно гильзы и соединен со штоком (рисунок 22).

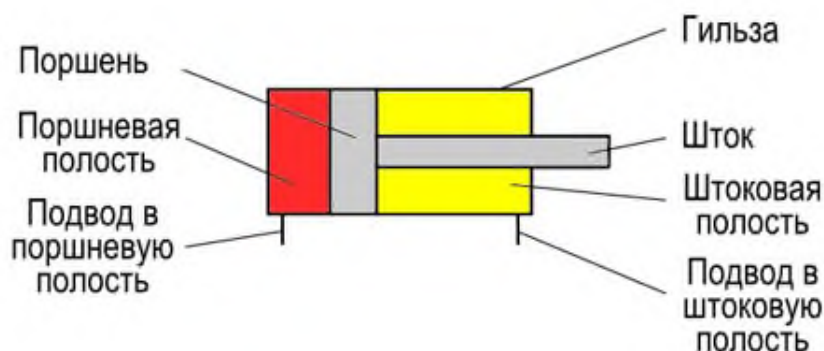


Рисунок 22 - Основные элементы гидроцилиндра

а) Гидроцилиндр одностороннего действия (рисунок 23, а).

В гидроцилиндрах одностороннего действия рабочая жидкость подводится только в одну из полостей (как правило, поршневую), обратный ход осуществляется под действием пружины, силы тяжести, или внешнего воздействия на шток.

б) Гидроцилиндр двустороннего действия

В гидроцилиндрах двухстороннего действия во время прямого хода штока рабочая жидкость подводится в поршневую полость, для обратного хода жидкость подводится в штоковую полость.

Усилие на штоке гидроцилиндра при прямом и обратном ходе поршня возникает за счёт образования давления рабочей жидкости в штоковой и поршневой полости.

Гидроцилиндры, в которых один поршень связан с одним штоком называют гидроцилиндрами с односторонним штоком (рисунок 23, б).

Гидроцилиндры, в которых один поршень связан с двумя штоками называют гидроцилиндрами с двухсторонним штоком (рисунок 23, в).

Необходимо принимать во внимание, что усилие на штоке при прямом ходе поршня в несколько раз больше, при этом скорость движения штока в несколько раз меньше, по сравнению с обратным ходом — посредством разницы в площадях, к которой прикладывается сила давления жидкости.

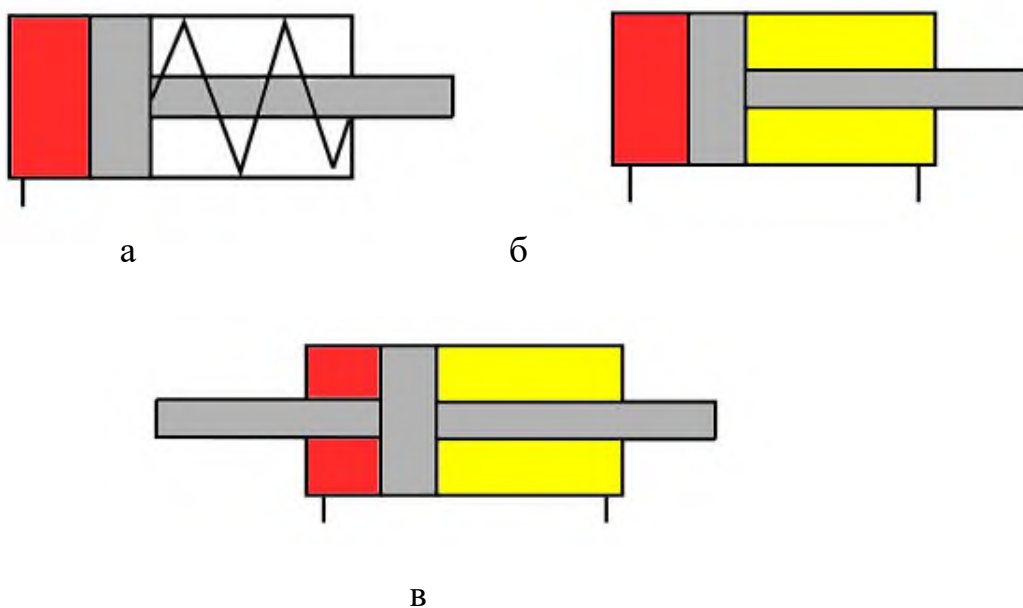


Рисунок 23 - Схема поршневых гидроцилиндров

а - одностороннего действия, б - двустороннего действия с односторонним штоком, в - двустороннего действия с двухсторонним штоком.

2. Гидроцилиндры плунжерные - штоковая и поршневая полость герметичны.

Гидроцилиндры, в которых вместо поршня и штока установлен плунжер называют плунжерными (рисунок 24) . В таких гидроцилиндрах нельзя выделить штоковую полость. Плунжерные гидроцилиндры - одностороннего действия.



Рисунок 24 - Плунжерные гидроцилиндры

3. *Телескопический гидроцилиндр* (рисунок 25) - силовой цилиндр, общий ход штоков которого превышает длину корпуса цилиндра (внутренняя полость поршневого штока используется в качестве цилиндра для поршня второй ступени, внутренняя полость штока поршня этого второго цилиндра - для последующего (третьего) цилиндра и т. д).

Эффективность работы телескопического гидроцилиндра происходит благодаря возможности одновременной работы штоковой и поршневой полости, а также благодаря наличию двух рабочих штоков. Телескопические гидроцилиндры используются при заперении, перемещении, опускании, поднимании грузов, а также в областях, где необходимая высокая мощность при малых габаритах.

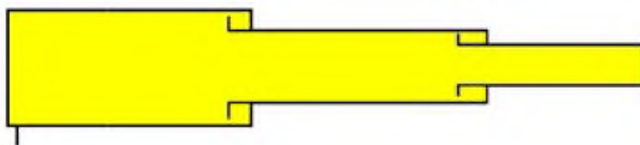


Рисунок 25 - Телескопический гидроцилиндр

2.6 Практическая работа № 4 "Расчет гидропривода"

Цель работы: привитие навыков расчета элементов гидропривода

Оснащение работы: счетная техника, методическое пособие

Порядок выполнения работы:

1. Повторение теоретических сведений по блок тем "Гидравлический привод".
2. Разбор приемов и способов выполнения задач.
3. Индивидуальное выполнение задач.

Задания на расчётную работу составлены по вариантной системе (смотреть Приложение Г). Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнале.

Для удобства работы студентов справочная информация, необходимая для расчёта гидропривода, собрана в виде приложений. При расчёте следует

обратить внимание на многообразие используемых в данной дисциплине величин и их размерностей. Поэтому при вычислении требуемых величин и параметров все размерности необходимо сводить к единой системе единиц.

При расчёте величин указывать их размерности.

Задача: Рассчитать гидропривод поступательного движения в соответствии с принципиальной гидравлической схемой (смотреть рисунок 2б), где имеется гидробак Б, насос Н, направляющий распределитель РН, гидроцилиндр Ц, дроссель ДР, предохранительный клапан К, напорная Р и сливная Т гидролинии.

Исходные данные для расчёта (смотреть Приложение Г, таблица Г.1):

- усилие на штоке цилиндра F , Н;
- ход поршня L , мм;
- длина напорной линии l_1 , м;
- длина сливной линии l_2 , м;
- в напорной линии имеется k_1 крутых поворотов (под углом 90°) и n_1 плавных;
- в сливной – k_2 крутых поворотов и n_2 плавных;
- поршень должен совершать m циклов в минуту;
- температура окружающей среды $t^\circ\text{C}$;
- рабочий ход поршня соответствует выходу штока из гидроцилиндра.

Требуется:

- выбрать номинальное давление в гидроцилиндре;
- определить диаметр гидроцилиндра и диаметр штока;
- выбрать диаметр трубопроводов гидролиний;
- подобрать рабочую жидкость
- определить основные размеры направляющего распределителя;
- выбрать насос.
- рассчитать коэффициент полезного действия гидропривода.

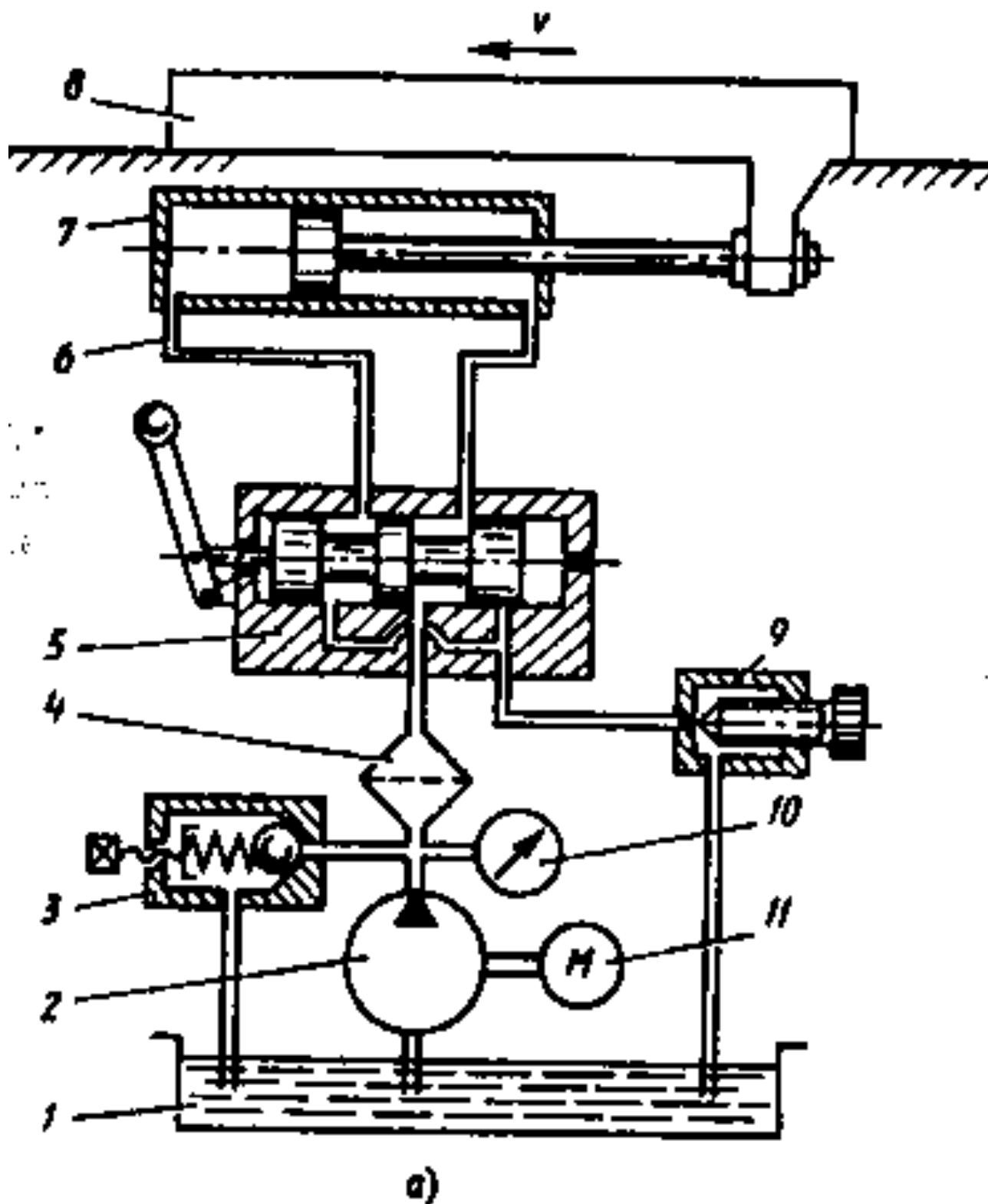
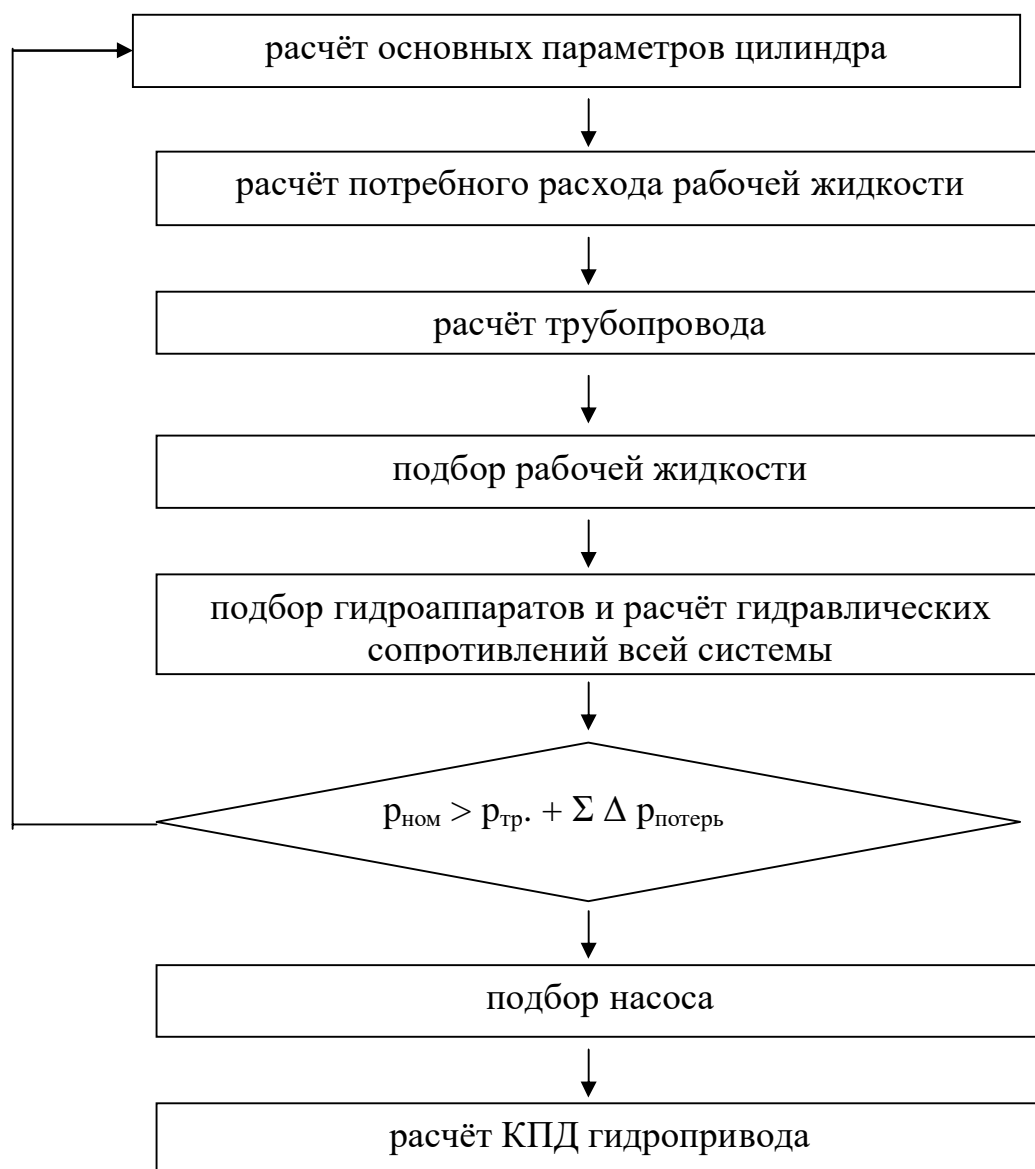


Рисунок 26 - Гидравлическая принципиальная схема

1 - бак, 2 - насос, 3 - предохранительный клапан, 4 - фильтр, 5 - распределитель, 6 - трубопровод, 7 - цилиндр, 8 - рабочий орган, 9 - дроссель, 10 - манометр, 11 - электродвигатель.

Рекомендации к расчету. Расчет следует делать по следующей схеме:



1. Расчёт основных параметров гидроцилиндра

1.1. Рассчитать диаметр цилиндра по формуле

Номинальное давление подбирается из стандартного ряда (смотреть Приложение Д, таблица Д.1). При выборе давления (как и прочих величин) следует учитывать её размерность. При подстановке в формулу для расчёта размерность нужно уметь переводить в систему СИ (например, $1 \text{ кгс/см}^2 = 98100 \text{ Па}$).

Диаметр цилиндра рассчитывается по формуле

$$D_p = \sqrt{\frac{4F}{\rho \times P_{ном}}} , \quad (47)$$

где D_p - расчетный диаметр цилиндра, м.

Затем из стандартного ряда (Приложение Д, таблица Д.1) выбирают значение диаметра цилиндра $D_{ц}$, большее расчётного.

Диаметр штока выбирают также из соответствующего стандартного ряда, исходя из условия

$$d_{ш} = (0,3 \dots 0,5) \cdot D_{ц} , \quad (48)$$

где $d_{ш}$ - диаметр штока, м;

$D_{ц}$ - диаметр цилиндра, м.

1.2. Расчёт потребного расхода рабочей жидкости

Каждый цикл работы гидроцилиндра состоит из двух этапов: прямого хода и обратного хода выходного звена.

Количество рабочей жидкости, которое необходимо подать в камеру А цилиндра для совершения прямого хода, рассчитывается по формуле

$$V_{ок} = (S_{ц} - S_{ш}) \times L = \frac{D_{ц}^2 - d_{ш}^2}{4} \times \rho \times L , \quad (49)$$

где $V_{ок}$ - количество рабочей жидкости, которое необходимо подать в камеру А цилиндра, м³;

L - ход поршня, м.

Количество рабочей жидкости, которое необходимо подать в камеру В цилиндра для совершения обратного хода, рассчитывается по формуле

$$V_{ок} = S \times L = \frac{\rho D_{ц}^2}{4} \times L , \quad (50)$$

где $V_{ок}$ - количество рабочей жидкости, необходимой для подачи в камеру В цилиндра, м³;

$S_{ц}$ и $D_{ц}$ - площадь и диаметр цилиндра, м;

$S_{ш}$ и $D_{ш}$ - площадь и диаметр цилиндра, м.

Количество рабочей жидкости, необходимой для совершения одного цикла определяется по формуле

$$V_{\text{п}} = V_{\text{пх}} + V_{\text{ок}} = \frac{(2 \times D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2) \times \rho \times L}{4}, \quad (51)$$

где $V_{\text{п}}$ - количество рабочей жидкости, необходимой для совершения одного цикла, м^3 .

Потребный расход рабочей жидкости определяется по формуле

$$Q = \frac{(2 \times D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2) \rho \times L \times m}{240}, \quad (52)$$

где Q - потребный расход рабочей жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;
 m - количество циклов в сек.

Полученное значение потребного расхода рабочей жидкости должно выражаться в $\text{м}^3/\text{с}$. Полезно тут же перевести его в л/мин и $\text{м}^3/\text{час}$, так как в некоторых справочниках встречаются и такие единицы размерности.

1.3. Расчёт трубопровода

Площадь живого сечения в трубопроводе определяется по формуле

$$S_{\text{т}} = \frac{\rho \times d_{\text{п}}^2}{4}, \quad (53)$$

где $d_{\text{п}}$ - диаметр трубопровода, м.

Диаметр трубопровода рассчитывается по формуле

$$d_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\rho \times \mu}}, \quad (54)$$

Максимальная скорость рабочей жидкости в трубопроводе в соответствии с рекомендациями (СЭВ РС 3644-72) принимается равной 2 м/с;

Затем из стандартного ряда условных проходов гидравлических и пневматических систем (Приложение Д, таблица Д.1) подобрать ближайшее большее значение диаметра трубопровода $d_{\text{у}}$.

Под условным проходом устройства следует понимать номинальный внутренний диаметр присоединяемого к нему трубопровода. Для упрощения расчётов рекомендуется принимать диаметр трубопроводов одинаковым для всех гидролиний.

После этого необходимо сделать уточнённый расчёт скорости потока рабочей жидкости в трубопроводе по формуле

$$u_y = \frac{4 \cdot Q}{\rho \cdot d_y^2}, \quad (55)$$

где u_y - уточненная скорость потока рабочей жидкости в трубопроводе, м/с.

Расчёт труб на прочность сводится к определению толщины их стенок при известном максимальном давлении и допустимом напряжении материала трубы и рассчитывается по формуле

$$d = \frac{P_{ном} \cdot d_y}{2 \cdot [\sigma]}, \quad (56)$$

где δ - толщина стенок трубопровода, м;

$[\sigma]$ - напряжение материала трубы, МПа; для стали предел прочности на разрыв $\sigma_{max}=300\dots400$ МПа, для цветных металлов $\sigma_{max}=200\dots250$ МПа. Запас прочности при расчёте обычно выбирают равным трём, следовательно $[\sigma] = \frac{\sigma_{max}}{3}$;

$P_{ном}$ - номинальное давление, МПа.

1.4. Подбор рабочей жидкости

Рабочую жидкость можно выбрать из таблицы Д.2 Приложение Д.

Рабочая жидкость должна удовлетворять следующим основным условиям:

- обладать хорошей смазывающей способностью;
- температура застывания должна быть на 15-20°C ниже наименьшей температуры окружающей среды;
- температура вспышки на 15-20°C выше температуры окружающей среды;
- при давлении до 7 МПа рекомендуется применять минеральные масла, имеющие кинематическую вязкость $\nu_{50}=(20\dots40) \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Следует обратить внимание на то, что в справочной литературе кинематическая вязкость может быть указана в стоксах (Ст) или сантистоксах (с·Ст). При расчёте их надо переводить в м²/с (1м²/с = 10⁴ Ст = 10⁶ с·Ст).

1.5. Подбор гидроаппаратов и расчёт гидравлических сопротивлений всей системы

Подбор гидроаппаратов (гидродросселя, распределителя направляющего, предохранительного клапана) осуществляется из Приложения Е в соответствии с выбранным номинальным давлением и определённым расходом рабочей жидкости в системе.

В заданном расчёте необходимо по выбранным аппаратам выписать марку, максимальное давление, максимальный расход, потери напора или давления.

Гидравлическое сопротивление системы в виде потерь напора или давления определяется из потерь по длине и местных потерь.

Потери напора и потери давления связаны прямо-пропорциональной зависимостью

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h, \quad (57)$$

где ΔP - потери давления, Па;

ρ - плотность рабочей жидкости, кг/м³;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

Δh - потери напора, м.

Величину потерь давления для гидроаппаратов смотреть в таблицах Е.1, Е.2, Е.3 Приложения Е в соответствии с выбранным номинальным давлением и определённым расходом рабочей жидкости в системе.

Потери напора в гидросистеме разделяют на потери напора по длине и местные потери.

Потери напора по длине трубопровода рассчитывают по формуле

$$\Delta h_l = l \times \frac{\lambda}{d} \times \frac{v^2}{2 \times g}, \quad (58)$$

где Δh_l - потери напора по длине трубопровода, м;

l - длина трубопровода, м;

d - диаметр трубопровода, м;

v^2 - скоростной напор, м;

λ - безразмерный коэффициент потерь напора по длине, определяется при помощи критерия Рейнольдса.

Критерий Рейнольдса определяется по формуле (42). Критическая скорость $v_{кр}$ определяется по формуле (45).

Сравнивая с критическим значением $Re_{кр}=2300$, необходимо определить режим движения жидкости.

В случае ламинарного режима движения жидкости (при $Re < Re_{кр}$) коэффициент потерь напора вычисляют по формуле

$$l = \frac{75}{\text{Re}}, \quad (59)$$

При турбулентном режиме коэффициент потерь напора определяют по формуле

$$l = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}}, \quad (60)$$

Местные потери напора вычисляют по формуле

$$\Delta h_m = z \times \frac{u^2}{2g}, \quad (61)$$

где Δh_m - местные потери напора, м;
 ζ - безразмерный коэффициент, определяющий потери в данном местном сопротивлении.

Из местных потерь в данной работе рекомендуется рассматривать потери на гидроаппаратах, потери на поворотах и потери на всасывающей линии.

Коэффициент местных сопротивлений ζ рассчитывается согласно схеме гидросистемы.

Коэффициенты местных сопротивлений ζ для всасывающей, напорной и сливной линий определяются по формуле

$$\zeta = \zeta_{mc} \cdot b, \quad (62)$$

где b - поправочный коэффициент, учитывающий зависимость потерь в местном сопротивлении от числа Рейнольдса. Для всасывающей линии $b_{вс}=1,09$, для напорной линии $b_n=1$, для сливной линии поправочный коэффициент не учитывается;

ζ_{mc} - коэффициент местных сопротивлений определенный расчетным путем (смотреть таблицу 1).

Таблица 1 - Коэффициент местного сопротивления

Участок	Расчетная формула	Значение
1	2	3
Всасывающий	$\zeta_{вх} = \zeta_{вх}$	0,5
Напорный	$\zeta_n = 2 \cdot \zeta_{крест} + 3 \cdot \zeta_{пов} + \zeta_{вх.ц}$ $\zeta_{крест}$ - крестовое разветвление, равный 0,1; $\zeta_{пов}$ - поворот трубопровода, равный 1,19; $\zeta_{вх.ц}$ - вход в гидроцилиндр, равное 1,0	$2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 1,19 + 1 = 4,77$

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Сливной	$Z_{сл} = \zeta_{крест} + \zeta_{пов} + \zeta_{вых.},$ $\zeta_{крест}$ - крестовое разветвление, равный 0,1; $\zeta_{пов}$ - поворот трубопровода, равный 1,19; $\zeta_{вх.ц}$ - вход в гидроцилиндр, равное 1,0	$0,1 + 1,19 + 1 = 2.29$

Значения коэффициентов ζ для наиболее распространенных видов местных сопротивлений принимают следующими:

- для штуцеров и переходников для труб $\zeta = 0,1 \dots 0,15$;
- для угольников с поворотом под углом 90° $\zeta = 1,5 \dots 2,0$;
- для прямоугольных тройников для разделения и объединения потоков $\zeta = 0,9 \dots 2,5$;
- для крутых поворотов $\zeta = 0,15$;
- для плавных поворотов $\zeta = 0,05$;
- для входа в трубу $\zeta = 0,5$;
- для выхода из трубы в бак или в цилиндр $\zeta = 1$.

По окончании расчётов всех гидросопротивлений результаты следует свести в таблицу 2 и вычислить общее сопротивление.

Таблица 2 - Суммарные потери в гидросистеме

Название элемента гидропривода	Потери напора Δh , м	Потери давления ΔP , Па
Прямолинейные участки трубопровода: - напорный - сливной - всасывающий -		
Повороты плавные		
Повороты крутые		
Дроссель		
Предохранительный клапан		
.....		
Сумма всех потерь	$\Sigma \Delta h_i$	$\Sigma \Delta P_{потерь} =$

1.6. Проверка условия достаточности выбранного номинального давления

Затем необходимо проверить условие

$$P_{\text{ном}} > P_{\text{н}} + \Sigma \Delta P_{\text{потерь}} , \quad (67)$$

где $P_{\text{ном}}$ - выбранное номинальное давление, Па;
 $P_{\text{н}}$ – требуемое давление со стороны рабочей жидкости на поршень гидроцилиндра для обеспечения заданной максимальной нагрузки.

При выполнении указанного условия можно переходить к следующему этапу выполнения расчёта, в противном случае – необходимо разрешить возникшую проблему. Это можно сделать тремя способами:

- увеличить номинальное давление;
- увеличить диаметр цилиндра;
- уменьшить гидросопротивления.

После проведения корректировки параметра необходимо уточнить все расчёты.

1.7. Подбор насоса

Зная номинальное давление и потребный расход рабочей жидкости, по каталогам (смотреть Приложение Е, таблицы Е.4, таблица Е.5) подбирается насос. При этом необходимо отразить в пояснительной записке марку насоса, его производительность, номинальное давление и потребляемую мощность.

Для заданных гидроприводов рекомендуется использовать шестерённые насосы.

1.8. Расчёт коэффициента полезного действия гидропривода

Коэффициент полезного действия численно равен отношению полезной мощности к затрачиваемой. Полезной считается работа по преодолению требуемой нагрузки на выходном звене гидропривода.

Полезная мощность рассчитывается по формуле

$$N_n = \frac{4 \times Q \times F}{\rho \times D_{\text{ц}}^2} , \quad (68)$$

где N_n - полезная мощность, кВт;

Коэффициент полезного действия рассчитывается по формуле

$$h = \frac{N_n}{N} \times 100\% , \quad (69)$$

где η - коэффициент полезного действия;

N – потребляемая насосом мощность.

После проведения необходимых расчётов и исследования возможных вариантов, студент должен сделать заключение о целесообразности использования рассчитанной модели.

Вопросы для самопроверки:

1. Для чего предназначен гидропривод?
2. Назовите составляющие гидропривода и их назначение.
3. Какую машину называют насосом?
4. Назовите вспомогательное оборудование гидропривода и его назначение.
5. Какие машины называются насосами?
6. Какими параметрами характеризуется работа насоса?
7. Что такое напор насоса?
8. На чем основано действие гидропривода?
9. Какую машину называют гидродвигателем?
10. По конструктивному исполнению какие насосы и гидродвигатели используют чаще всего в деревообрабатывающей отрасли?
11. В чем отличие поршневых гидродвигателей одностороннего и двустороннего действия?
12. Каково назначение рабочей жидкости в гидроприводе?
13. Рабочие жидкости каких типов используют в гидроприводе?
14. Какие устройства называют гидроаппаратом?
15. Какие классы гидроаппаратуры используют в гидроприводе и каково их назначение?

Заключение

Методическое пособие разработано для освоения Модуля МДК01.01 "Лесопильное производство", раздел "Гидро-пневмопривод деревообрабатывающего оборудования", изучаемых учащимися специальности "Технология деревообработки".

В данных методических указаниях представлен материал по темам "Основы гидравлики" и "Гидравлический привод".

В методических указаниях даны пояснения по выполнению практических работ в объеме 8 часов.

В результате практических работ студенты закрепляют теоретические знания и получают практические навыки подбора и расчета элементов гидропривода; применения законов гидростатики и гидродинамики при решении практических задач;

Знания и умения, полученные при выполнении практических работ, позволяют будущим специалистам участвовать в совершенствовании технологии деревообрабатывающего производства.

Для контроля знаний студентов составлены контрольные вопросы для самопроверки по каждой теме и разработаны индивидуальные тестовые задания.

Данное методическое пособие поможет студентам, изучающим данную дисциплину, в организации наиболее эффективной работы при усвоении всех видов занятий, используемых в дисциплине.

Список использованных источников

- 1 Лепешкин А.В. Гидравлические и пневматические системы: учеб./А.В.Лепешкин, А.А. Михайлин - М., 2006. – 331с.
- 2 Бавельский М.Д. Гидроавтоматика деревообрабатывающего оборудования: учеб./ Бавельский М.Д. - М.: "Лесная промышленность", 1969 - 320с.
- 3 Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Башта Т.М., Руднев С.С., Некоасов Б.Б. - 2-е издание, перераб. - М.: Машиностроение, 1982. - 423с., ил.
- 4 Гидравлический привод [Электронный ресурс]: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-183-derevoobrabotka/73.htm>
- 5 Гидравлические машины [Электронный ресурс]: <http://gidravl.narod.ru/mashine.html>
- 6 Гидроцилиндры [Электронный ресурс]: <http://gidravl.narod.ru/gidrocil.html>
- 7 Что такое гидравлика [Электронный ресурс]: <http://melma.ru/reviews/391-chto-takoe-gidravluka.html>
- 8 Расчет гидропривода [Электронный ресурс]: <http://refleader.ru/jgemerotrbew.html>

Приложение А
Варианты заданий для выполнения практической работы № 1

Таблица А.1 - Исходные данные для решения Задачи №1

Вариант	Исходные данные			Вариант	Исходные данные		
	d, мм	Δh, мм	ρ, кг/м ³		d, мм	Δh, мм	ρ, кг/м ³
1	1500	500	983	16	1400	300	906
2	1550	600	986	17	1500	450	890
3	1600	700	985	18	1300	360	870
4	1700	550	980	19	1200	120	978
5	1750	450	963	20	900	500	935
6	1800	250	945	21	1000	380	865
7	1850	320	968	22	1050	270	987
8	1900	850	972	23	1350	650	965
9	1950	240	960	24	1250	210	852
10	2000	200	985	25	1200	100	753
11	2050	150	976	26	1100	500	951
12	2100	400	899	27	850	141	963
13	2150	350	905	28	750	800	852
14	2200	280	912	29	960	160	741
15	2300	280	945	30	2400	430	935

Таблица А.2 - Исходные данные для решения Задачи № 2

Вариант	ρ, кг/м ³	Вариант	ρ, кг/м ³	Вариант	ρ, кг/м ³
1	976	11	983	21	985
2	899	12	986	22	753
3	905	13	985	23	951
4	912	14	980	24	900
5	945	15	963	25	910
6	963	16	945	26	920
7	852	17	968	27	930
8	741	18	972	28	940
9	935	19	960	29	908
10	830	20	840	30	876

Таблица А.3 - Исходные данные для решения Задачи № 3

Вариант	Исходные данные		Вариант	Исходные данные		Вариант	Исходные данные	
	ρ, кг/м ³	⁰ ВУ		⁰ ВУ	ρ, кг/м ³		ρ, кг/м ³	⁰ ВУ
1	900	2	11	970	9	21	850	16
2	910	3	12	980	10	22	840	17
3	920	4	13	990	11	23	830	14,5
4	930	5	14	890	12	24	810	15,5
5	940	6	15	880	13	25	800	12,5
6	950	7	16	870	14	26	780	10,5
7	960	8	17	860	15	27	855	8,5
8	870	5,4	18	750	2,4	28	854	5,6
9	950	8,2	19	746	3,6	29	856	8,1
10	905	6,1	20	556	5,2	30	964	7,4

Приложение Б

Варианты заданий для выполнения практической работы № 2

Таблица Б.1 - Исходные данные для решения Задачи №1

Вариант	Исходные данные			Вариант	Исходные данные		
	a, м	b, м	V, м ³		a, м	b, м	V, м ³
1	5	2	20	16	25	6,5	45
2	6	3	30	17	24	7,2	50
3	7	4	40	18	30	4,5	65
4	8	5	50	19	32	6,1	25
5	9	6	60	20	2,5	3,5	30
6	10	7	70	21	3,5	4,2	45
7	11	10,2	80	22	4,5	5,6	50
8	12	12,5	90	23	6,4	8,4	60
9	13	4,9	100	24	7,8	12,0	80
10	14	7,9	110	25	9,5	6,3	95
11	15	12,6	120	26	10,2	4,9	85
12	16	5,6	75	27	5,6	5,6	75
13	17	8	65	28	9,2	2,6	65
14	18	9	75	29	6,7	3,4	45
15	20	10	85	30	4,8	7,8	55

Таблица Б.2 - Исходные данные для решения Задачи №2

Вариант	Исходные данные			Вариант	Исходные данные		
	P _{бар 1} , ММ рт.ст	P _{бар 2} , ММ рт.ст	h, м		P _{бар 1} , ММ рт.ст	P _{бар 2} , ММ рт.ст	h, м
1	700	650	0,3	16	705	750	0,54
2	710	750	0,4	17	715	760	0,68
3	720	800	0,5	18	735	655	0,48
4	725	630	0,6	19	745	800	0,57
5	730	760	0,7	20	755	780	0,68
6	740	640	0,8	21	765	779	0,23
7	750	645	0,35	22	775	860	0,56
8	760	700	0,45	23	785	850	0,45
9	770	720	0,55	24	795	657	0,68
10	780	900	0,65	25	805	905	0,45
11	790	820	0,42	26	815	789	0,35
12	800	650	0,53	27	825	855	0,40
13	810	750	0,48	28	835	655	0,23
14	820	800	0,29	29	695	705	0,41
15	830	780	0,32	30	685	650	0,54

Таблица Б.3 - Исходные данные для решения Задачи № 3

Вариант	Исходные данные		Вариант	Исходные данные		Вариант	Исходные данные	
	Δh_1 , мм	Δh_2 , мм		Δh_1 , мм	Δh_2 , мм		Δh_1 , мм	Δh_2 , мм
1	100	105	11	200	230	21	210	230
2	110	135	12	205	125	22	220	155
3	120	140	13	300	500	23	230	165
4	130	110	14	350	420	24	340	400
5	140	125	15	400	230	25	320	500
6	150	156	16	450	125	26	420	125
7	160	200	17	500	450	27	510	400
8	170	210	18	550	125	28	430	320
9	180	155	19	600	650	29	460	420
10	190	320	20	650	450	30	155	250

Таблица Б.4 - Исходные данные для решения Задачи №4

Вариант	Исходные данные			Вариант	Исходные данные		
	$P_{\text{бар}}$, мм рт.ст	Δh_1 , мм	Δh_2 , мм		$P_{\text{бар}}$, мм рт.ст	Δh_1 , мм	Δh_2 , мм
1	705	210	230	16	650	230	105
2	715	220	155	17	750	125	135
3	735	230	165	18	800	500	140
4	745	340	400	19	630	420	110
5	755	320	500	20	760	230	125
6	765	420	125	21	640	125	156
7	775	510	400	22	645	450	200
8	785	430	320	23	700	125	210
9	795	460	420	24	720	650	155
10	805	155	250	25	900	450	320
11	815	200	125	26	820	100	156
12	825	205	450	27	650	110	200
13	835	300	125	28	750	120	210
14	695	350	650	29	800	130	155
15	685	400	450	30	780	140	320

Таблица Б.5 - Исходные данные для решения Задачи № 5

Вариант	Исходные данные		Вариант	Исходные данные		Вариант	Исходные данные	
	n	ρ , кг/м ³		n	ρ , кг/м ³		n	ρ , кг/м ³
1	0,5	810	11	0,45	804	21	0,72	801
2	0,2	820	12	0,55	862	22	0,56	815
3	0,8	840	13	0,65	823	23	0,87	826
4	0,4	850	14	0,75	756	24	0,68	795
5	0,6	790	15	0,85	725	25	0,54	791
6	0,7	810	16	0,25	821	26	0,82	689
7	0,3	820	17	0,35	890	27	0,76	745
8	0,55	840	18	0,25	678	28	0,71	805
9	0,68	850	19	0,84	657	29	0,83	864
10	0,56	790	20	0,64	845	30	0,43	809

Приложение В

Варианты заданий для выполнения практической работы № 3

Таблица В.1 - Исходные данные для решения Задачи №1

Вариант	Исходные данные			Вариант	Исходные данные		
	d, мм	v, м/с	ρ , кг/м ³		d, мм	v, м/с	ρ , кг/м ³
1	300	2,5	801	16	440	3,05	810
2	310	2,6	815	17	290	3,15	820
3	320	2,7	826	18	305	3,25	840
4	330	2,8	795	19	405	3,35	850
5	340	2,9	791	20	345	2,55	804
6	350	3,0	689	21	325	2,65	862
7	360	3,1	745	22	421	2,75	823
8	370	3,2	805	23	438	2,85	756
9	380	3,3	864	24	245	2,95	725
10	390	3,4	809	25	125	3,35	821
11	400	3,5	810	26	325	3,45	890
12	410	2,0	820	27	265	3,55	678
13	420	2,1	840	28	205	2,12	657
14	430	2,15	850	29	246	2,25	845
15	435	2,20	790	30	334	2,01	810

Таблица В.2 - Исходные данные для решения Задачи №2

Вариант	Исходные данные			Вариант	Исходные данные		
	d, мм	t, °C	Q, м ³ /час		d, мм	t, °C	Q, м ³ /час
1	90	100	84,0	16	170	140	93,0
2	95	105	84,5	17	175	260	93,5
3	100	110	85,0	18	180	310	94,0
4	105	150	86,0	19	200	185	94,5
5	110	120	86,5	20	96	20	95,0
6	115	125	87,0	21	102	220	100,0
7	120	90	87,5	22	104	300	80,0
8	125	95	88,0	23	98	330	80,5
9	130	290	88,5	24	106	30	81,0
10	135	102	89,0	25	205	40	81,5
11	140	190	90,0	26	196	50	82,0
12	145	180	90,5	27	165	60	82,5
13	150	170	91,0	28	245	70	83,0
14	155	160	91,5	29	132	80	83,5
15	160	150	92,0	30	112	110	92,5

Таблица В.3 - Исходные данные для решения Задачи №3

Вариант	Исходные данные				Вариант	Исходные данные			
	$F_A, м^2$	$F_B, м^2$	$F_C, м^2$	$Q, м^3/с$		$F_A, м^2$	$F_B, м^2$	$F_C, м^2$	$Q, м^3/с$
1	40	50	55,5	50,0	16	42	52	65	75,0
2	45	57	62,8	55,0	17	45	53	65	55,0
3	47	59	64,3	58,0	18	47	58	70	64,0
4	49	60	65,5	60,0	19	49	60	74	54,0
5	50	62	67,7	62,0	20	54	66	82	56,0
6	55	69	74,5	68,0	21	56	70	84	75,0
7	57	69	77,1	68,5	22	60	74	86	62,0
8	59	72	77,9	73,0	23	62	74	90	52,0
9	61	74	79,8	74,0	24	64	80	92	74,0
10	65	77	82,6	77,0	25	48	60	72	82,0
11	30	42	49	75,0	26	66	80	94	78,0
12	32	50	60	70,0	27	68	78	90	68,0
13	35	50	62	72,0	28	70	82	95	76,0
14	37	49	62	68,0	29	32	45	54	80,0
15	40	45	58	80,0	30	43	56	74	82,0

Таблица В.4 - Физические характеристики воды на линии насыщения

$t, ^\circ C$	$\mu \cdot 10^{-6}, Н \cdot с/м^2$	$V \cdot 10^3, м^3/кг$	$t, ^\circ C$	$\mu \cdot 10^{-6}, Н \cdot с/м^2$	$V \cdot 10^3, м^3/кг$
0,01	1786,5	1,0002	190	144,1	1,1415
10	1304,4	1,0004	200	136,2	1,1565
20	1003,5	1,0018	210	130,3	1,1726
30	800,7	1,0044	220	124,5	1,1900
40	652,7	1,0079	230	119,6	1,2087
50	548,8	1,0121	240	114,7	1,2291
60	469,4	1,0171	250	108,8	1,2512
70	405,7	1,0228	260	105,8	1,2755
80	354,8	1,0290	270	101,9	1,3023
90	314,6	1,0359	280	98,0	1,3321
100	282,2	1,0435	290	94,1	1,3655
110	258,7	1,0515	300	91,1	1,4036
120	237,6	1,0603	310	88,2	1,4470
130	217,6	1,0697	320	85,3	1,4990
140	200,9	1,0798	330	81,3	1,5620
150	186,2	1,0906	340	77,4	1,6390
160	173,5	1,1021	350	72,5	1,7410
170	162,7	1,1144	360	66,6	1,8940
180	152,9	1,1275	370	56,8	2,2200

Приложение Г

Варианты заданий для выполнения практической работы № 4

Таблица Г.1 - Исходные данные

№ варианта	F, Н	L, мм	l_1 , м	l_2 , м	k_1	n_1	k_2	n_2	M, цикл/мин	t°С
1	30000	45	5	7	3	3	5	5	10	-10
2	20000	55	6	8	4	2	2	4	12	-5
3	10000	63	7	9	3	3	5	5	15	0
4	5000	80	3	4	4	2	2	4	20	5
5	15000	90	15	15	3	3	5	5	10	10
6	25000	110	9	10	4	2	2	4	12	15
7	12000	125	8	10	3	3	5	5	15	20
8	7000	160	12	14	4	2	2	4	20	25
9	8000	180	4	5	3	3	5	5	10	30
10	22000	200	5	6	4	2	2	4	12	35
11	27000	250	6	7	3	3	5	5	15	40
12	16000	45	7	8	4	2	2	4	20	45
13	9000	55	3	5	3	3	5	5	10	50
14	8000	63	15	16	4	2	2	4	12	55
15	4000	80	9	12	3	3	5	5	15	60
16	18000	90	8	10	4	2	2	4	20	30
17	12000	110	12	14	3	3	5	5	10	-15
18	11000	125	4	6	4	2	2	4	12	-20
19	7500	160	10	11	3	3	5	5	15	-30
20	9900	110	12	12	4	2	2	4	20	-25
21	9000	80	4	5	3	3	5	5	15	40
22	8000	90	5	6	4	2	2	4	20	45
23	4000	110	6	7	3	3	5	5	10	50
24	18000	125	7	8	4	2	2	4	12	55
25	9000	80	3	5	3	3	5	5	15	60
26	8000	90	15	16	4	2	2	4	20	30
27	4000	110	9	12	3	3	5	5	10	-15
28	18000	125	8	10	4	2	2	4	12	-20
29	2100	70	4	6	3	3	5	5	10	-15
30	9800	85	10	14	4	2	2	4	12	12

Приложение Д

Таблица Д.1 - Основные параметры гидравлических и пневматических цилиндров и аппаратуры

Номинальное давление, МПа	Условные проходы гидравлических и пневматических систем, мм	Ряды диаметров цилиндров, мм	Ряды диаметров штока, мм	Ряды хода поршня цилиндра, мм
ГОСТ 12445-80	ГОСТ 16516-80	ГОСТ 12447-80	ГОСТ 12447-80	ГОСТ 12447-80
0,1	1	10	4	4
0,16	1,6	12	5	6
0,25	2	16	6	8
0,4	2,5	20	8	10
0,63	3	25	10	12
1	4	32(36)	12	16
1,6	6	40(45)	16	20
2,5	8	50(56)	20	25
4	10	63(70)	25	32(36)
6,3	12	80(90)	32(36)	40(45)
10	16	100(110)	40(45)	50(56)
12,5	20	125(140)	50(56)	63(70)
16	25	160(180)	63(70)	80(90)
20	32	200(220)	80(90)	100(110)
25	40	250(280)	100(110)	125(140)
40	50	320(360)	125(140)	160(180)
50	63	400(450)	160(180)	200(220)
63	80	500(560)	200(220)	250(280)
80	100	630(710)	250(280)	320(360)
100	125	800(900)	320(360)	400(450)
125	160	1000	400(450)	500(560)
160	200		500(560)	630(710)
200	250		630(710)	800
250			800(900)	1000(1120)

Примечание: без скобок основные ряды, в скобках – дополнительные.

Таблица Д.2 - Свойства рабочих жидкостей

Наименование марки масла, назначение	Плотность, кг/м ³	Вязкость кинематическая при 50°С, с·Ст	Температура, °С	
			Вспышки в закрытом тигле	застывания
Индустриальное И-5А: для высокоскоростных механизмов (4,5-6 м/с)	880	5	125	-25
Индустриальное И-8А: механизмы, работающие с малой нагрузкой при скорости 3-4,5 м/с	880	8	130	-20
Индустриальное И-12А: гидравлические системы станков при скорости до 3 м/с	880	12	165	-30
Индустриальное И-20А: станки малого и среднего размеров, работающие при повышенных скоростях, гидравлические системы оборудования	880	20	180	-15
Индустриальное И-30А: крупные и тяжёлые станки, гидравлические системы станков	880	30	190	-15
Индустриальное И-40А: тяжёлые станки, работающие с малыми скоростями.	880	40	200	-15

Приложение Е

Гидроаппараты, насосы

Таблица Е.1 - Дроссель осевой

Типоразмер	Наибольший рекомендуемый расход, л/мин	Рабочее давление, кгс/см ²	Потери давления при наибольшем рекомендуемом расходе через открытый дроссель, кгс/см ²
Г55-31В	1,5	До 125	1
Г55-31Б	3	До 125	1,3
Г55-31А	5	До 125	1,5
Г55-31	8	До 125	1,8
Г77-23	35	До 200	2
Г77-24	70	До 200	2
Г77-25А	100	До 200	2
Г77-25	140	До 200	2
Г77-26	280	До 200	2
Г77-27А	400	До 200	2
Г77-27	500	До 200	2
ПГ 77-12	20	До 20	2,5

Таблица Е.2 - Клапан предохранительный

Типоразмер	Наибольший рекомендуемый расход, л/мин	Рабочее давление, кгс/см ²	Потери давления при наибольшем рекомендуемом расходе через клапан предохранительный, кгс/см ²
Г52-12	18	3...50	0,8
Г52-13	35	3...50	0,9
Г52-14	70	3...50	1,2
Г52-16	140	3...50	2
БГ52-13	35	50...200	2
БГ52-14	70	50...200	3
БГ52-15А	100	50...200	3
БГ52-15	140	50...200	5
БГ52-16	280	50...200	5

Таблица Е.3 - Клапаны направляющие золотниковые

Типоразмер	Наибольший рекомендуемый расход, л/мин	Рабочее давление, кгс/см ²	Потери давления при наибольшем рекомендуемом расходе через клапан направляющий, кгс/см ²
Г74-12	18	3...80	2
Г74-13	35	3...80	2
Г74-14	70	3...80	2
Г74-16	130	3...80	2

Таблица Е.4 - Шестерённые насосы

Марка	Номинальная подача	Номинальная давление, МПа	Номинальная мощность, кВт
ШВ 20-6	9 м ³ /ч	0,6	2,5
Ш 20-25	9 м ³ /ч	2,5	11
ШФ 20-25	9 м ³ /ч	2,5	11
Ш 20-16	18 м ³ /ч	1,6	15
ШФ 20-16	18 м ³ /ч	1,6	15
Ш 80-16	36 м ³ /ч	1,6	30
ШФ 80-16	36 м ³ /ч	1,6	30
Ш 120-16	58 м ³ /ч	1,6	50
Г 11-22а	12,3 л/мин	2,5	1
Г 11-22	18 л/мин	2,5	1,3
Г 11-23а	26 л/мин	2,5	1,6
Г 11-23	38 л/мин	2,5	2,3
Г 11-24а	50 л/мин	2,5	3
Г 11-24	72 л/мин	2,5	4,1
Г 11-25а	104 л/мин	2,5	5,8
Г 11-25	133 л/мин	2,5	7,2
НШ 4-3(4)	10,8	16	3,5
НШ10Г-3(4)	22,6	25	8,6

Таблица Е.5 - Горизонтальные трёхплунжерные насосы

Марка	Подача, м ³ /ч	Давление, МПа	Мощность, кВт
ПТ-1-1,6/250	1,6	25	16
ПТ-1-2,5/160	2,5	16	16
ПТ-1-4,0/100	4,0	10	16
ПТ-1-6,3/63	6,3	6,3	16
ПТ-1-10/40	10	4	16
ПТ-1-16/25	16	2,5	16
ПТ-1-16/63	16	6,3	40
ПТ-1-25/40	25	4	40
ПТ-2-25/25	25	2,5	25
Т-2-25/40	25	4	40
ПТ-2-25/40	25	4	40
Т-2-40/25	40	2,5	40
ПТ-2-40/25	40	2,5	40
ПТ-2-40/40	40	4	63
Т-3-50/40	50	4	80
ПТ-3-50/40	50	4	80
ПТ-3-50/63	50	6,3	125
ПТ-2-16/40	16	4	25