

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники» (ТУСУР)

**УТВЕРЖДАЮ:**

Зав. Кафедрой РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ д.т.н. В.И.Туев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

## **Гидравлика**

**Методические указания по СРС (самостоятельной и индивидуальной  
работе) студентов, обучающихся по направлению 20.03.01  
«Техносферная безопасность»**

**Разработчик:**

**к.т.н. Апкарьян А.С.**

ТОМСК 2015

## Содержание

	Стр.
1. Введение	3
2. Цели и задачи дисциплины	4
3. Содержание лекционного курса	4
4. Правила выполнения лабораторных работ	4
5. Лабораторный практикум	6
6. Практические занятия	10
7. Тестовый контроль	11
8. Список экзаменационных вопросов	12
9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины	

## **Введение**

Изучение дисциплины «Гидравлика» студентами технических высших учебных заведений предусматривает проведение определённого количества лабораторных и практических работ. В данных методических указаниях даются общие разделы, ознакомление с которыми необходимо для правильного проведения работ: содержание работы, описание экспериментальной установки, методика и последовательность проведения лабораторных работ, обработка результатов измерений и методика решения задач.

Данное методическое указание не ограничивается только лишь проведением эксперимента и решением задач. В каждой работе дана и расчётная часть, а в отдельных работах полученные экспериментальные данные дают возможность провести аналитическое описание изученных свойств и составить графики исследуемого процесса.

Некоторые работы проводятся непосредственно на действующем предприятии, что вызывает особый интерес у студентов, когда теоретические знания реально применяются на практике.

## 1. Цели и задачи дисциплины

**Цель преподавания дисциплины** – теоретически и практически ознакомить будущих специалистов с законами равновесия и движения жидкости, и использование их для решения конкретных технических задач. Широко использовать эти законы для решения практических задач во многих областях техники: машиностроении, гидроэнергетики, гидромеханизации, водоснабжении и др. При этом необходимо особое внимание уделить максимальной экономии энергетических ресурсов и материалов, интенсификации технологических процессов, выявлению и использованию вторичных энергоресурсов, защите окружающей среды и безопасности людей.

### **Задачи изучения дисциплины**

Задачей курса является формирование у студентов знаний; основ гидростатики, изучающей законы равновесия жидкостей, и гидродинамики, законы движения жидкостей. Дисциплина даёт знания основных принципов обеспечения жизнедеятельности и безопасности при работе на насосном и вентиляционном оборудовании.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать: основные законы гидростатики и гидродинамики, устройство и назначение насосов и вентиляторов.
- уметь: определять гидростатическое давление, проводить расчёты давления жидкости на плоскую, криволинейную и цилиндрическую стенки сосудов, объяснять физический смысл уравнения элементарной струйки и уравнения Бернулли, определять основные параметры жидкости при истечении через отверстие и насадки, объяснять причины возникновения и формулы расчёта гидроудара.
- владеть: знаниями устройства насосов и вентиляторов, основными положениями по охране труда, экологии и пожарной безопасности при работе с насосами и вентиляторами с целью обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в техносфере.

## 2. Содержание лекционного курса

### 2.1. Разделы лекционного курса

#### **Раздел 1. Гидростатика**

Вводные сведения. Основные физические свойства жидкостей и газов. Идеальная и реальная жидкости. Гидростатическое давление. Силы, действующие в жидкостях. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Абсолютный и относительный покой (равновесие) жидких сред. Модель идеальной (невязкой жидкости). Гидравлический пресс и гидравлический аккумулятор. Измерение давления. Давление жидкости на плоскую стенку. Давление жидкости на криволинейную стенку. Давление жидкости на стенки цилиндрических сосудов и труб. Закон Архимеда.

#### **Раздел 2. Гидродинамика**

Основы кинематики. Элементарная струйка. Поток. Элементарный объёмный расход. Расход потока. Средняя скорость потока. Общие законы и уравнения статики и динамики жидкостей и газов. Общее уравнение энергии в интегральной и дифференциальной форме. Смоченный периметр. Ламинарный и турбулентный режим течения жидкости. Турбулентность и ее основные статистические характеристики. Уравнения Навье-Стокса и Рейнольдса. Энергия элементарной струйки. Уравнение Бернулли. Трубка Пито. Трубка Прандтля. Одномерные потоки жидкостей и газов. Приборы для измерения расхода

жидкости. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Трубопроводы. Гидравлический удар. Истечение жидкости через отверстия и насадки.

### **Раздел 3. Насосы и вентиляторы**

Подобие гидромеханических процессов. Основные понятия о насосах. Лопастные насосы. Основное уравнение центробежного насоса. Кавитация. Осевые насосы. Вихревые насосы. Регулирование подачи и напора лопастных насосов. Объёмные насосы. Поршневые насосы. Винтовые насосы. Шестерённые насосы. Крыльчатые насосы. Регулирование подачи объёмных насосов. Струйные насосы. Сравнение работы центробежных и поршневых насосов.

Основные понятия о вентиляторах. Центробежные вентиляторы. Осевой вентилятор. Инструкции по технике безопасности при работе с насосами. Инструкции по технике безопасности при работе с вентиляторами.

## **2.2. Разделы внесённые на самостоятельную работу**

2.2.1. Подготовка к лабораторным работам

2.2.2. Подготовка к лекциям.

2.2.3. Подготовка к практическим занятиям

2.2.4. Подготовка и сдача курсовой работы

2.2.5. Подготовка и сдача экзамена

## **3. Лабораторный практикум**

### **3.1. Лабораторные работы:**

Работа 1. Измерение давлений.

Работа 2. Закон Паскаля. Гидравлический пресс.

Работа 3. Определение силы давления жидкости на плоскую стенку.

Работа 4. Исследование режимов течения жидкости в круглой трубе.

### **3.2. Правила выполнения лабораторных работ по гидрогазодинамике**

3.2.1. Каждая лабораторная работа выполняется бригадой в составе 3-4 студентов.

3.2.2. Прежде чем приступить к лабораторной работе, каждый студент должен изучить ее описание, подготовить бланк отчета и сдать преподавателю коллоквиум по теоретическим вопросам, относящийся к данной работе.

3.2.3. Студент, не имеющий бланк отчета или не сдавший коллоквиум, к проведению лабораторной работы не допускается. Он обязан отработать ее в указанное преподавателем время.

3.2.4. После окончания лабораторных занятий результаты измерений и расчетов каждый студент предъявляет преподавателю для визирования.

3.2.5. К началу следующего лабораторного занятия студент должен сдать законченный отчет по выполненной работе, без данного отчета он не допускается к дальнейшим лабораторным работам.

3.2.6. Отчет по работе выполняется на листах белой бумаги (формат А4) в соответствии с ГОСТ 2.105-95. На титульном листе указывается наименование работы, кто выполнил, кто проверил, указывается год выполнения работы. На листах отчета должны быть: цель работы, схема опытного устройства, таблицы результатов измерений и таблицы результатов расчетов, с расчетами. Особое внимание при проведении расчетов необходимо

обращать на соблюдение единства систем единиц измерения. Все величины, участвующие в расчетах, выражать в единицах СИ. Графики строятся на бумаге формата А4 и прилагаются к отчету.

### **3.3. Инструкция по технике безопасности при работе в лаборатории по гидрогазодинамике.**

- 3.3.1. К практическим занятиям в лаборатории допускаются студенты, получившие инструктаж по технике безопасности с соответствующим оформлением его в журнале.
- 3.3.2. Запрещается без разрешения преподавателя включать электрооборудование, открывать и закрывать задвижки и вентили трубопроводов, включать измерительные приборы и установки.
- 3.3.3. Перед началом работы необходимо ознакомиться с заданием, с правилами безопасности проведения работ, проверить исправность ограждений и предохранительных устройств.
- 3.3.4. При работе в лаборатории выполняется только та лабораторная работа, которая предусмотрена планом. Категорически воспрещается выполнять другие лабораторные работы.
- 3.3.5. Во время выполнения лабораторной работы ходить без дела по лаборатории запрещается, т.к. этим отвлекается внимание других студентов и остается без наблюдения лабораторная установка, что может повлечь за собой несчастный случай.
- 3.3.6. Оборудование лаборатории относится к разряду опасных, в связи с возможностью поражения электрическим током. Поэтому студенты обязаны строго соблюдать правила безопасности. В случае прекращения подачи электроэнергии необходимо отключить установку и оставаться у рабочего места.
- 3.3.7. Если произошел несчастный случай, то необходимо немедленно оказать первую помощь и сообщить об этом преподавателю.
- 3.3.8. Бережное отношение к приборам и оборудованию лаборатории создает условия вашей безопасности.
- 3.3.9. Запрещается в лабораторию приносить верхнюю одежду.
- 3.3.10. По окончании работы приведите в порядок рабочее место

### **3.4. Пример выполнения лабораторной работы**

Цель работы.

1. Закрепление знаний по разделу «Гидростатика».
2. Ознакомление с приборами для измерения давлений (пьезометрами, манометрами, вакуумметрами, дифференциальными манометрами).
3. Определение избыточного давления, вакуума (разрежения) и абсолютного давления воздуха на поверхности жидкости по показаниям U-образного пьезометра;
4. Освоить единицы измерения давления в различных системах (СИ, СГС, МКГСС) и их взаимосвязь.
5. Освоить методику расчет абсолютного гидростатического давления в любой точке покоящейся жидкости.

Необходимое оборудование и материалы

Для измерения избыточного давления и разрежения в лабораторной установке (рис. 3.1) предусмотрен небольшой замкнутый резервуар 1 с краном К, заполненный воздухом и

соединенный резиновым шлангом с подвижным резервуаром 2, частично заполненным водой. Таким образом, резервуары 1 и 2 являются сообщающимися сосудами.

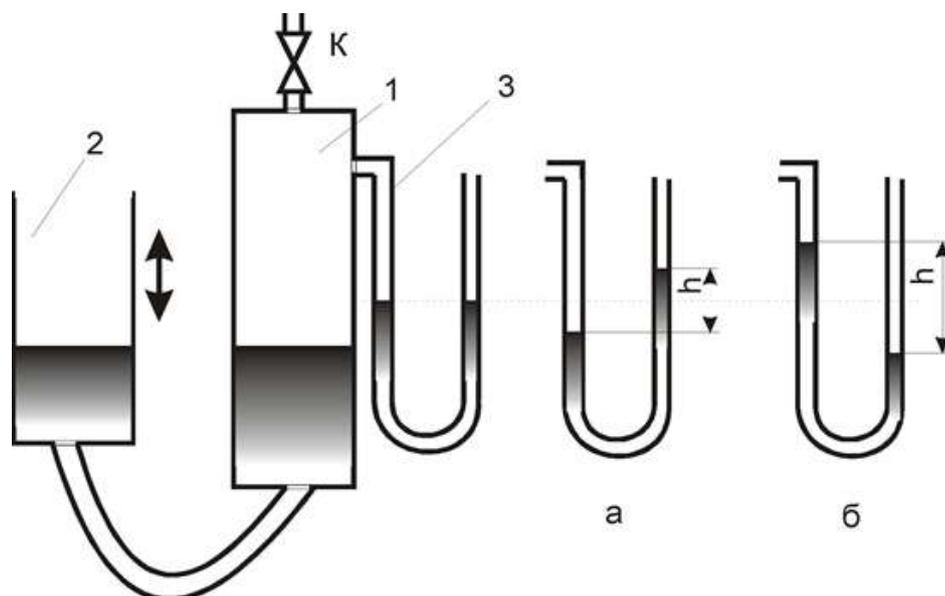


Рис.3.1 Схема лабораторной установки для измерения избыточного давления и разрежения

Если кран К на резервуаре открыт, то в резервуаре атмосферное давление и положение уровней жидкости в U-образном пьезометре 3 в правом и левом колене одинаковы.

После закрытия крана и перемещения резервуара 2 вверх, над жидкостью в резервуаре 1 создается избыточное давление за счет перелива жидкости из резервуара 2 в резервуар 1. Это избыточное давление измеряется разностью уровней жидкости в правом и левом колена U-образного пьезометра (рис. 3.1,а).

При перемещении резервуара 2 вниз и закрытом кране на резервуаре 1 из-за перелива части жидкости из резервуара 1 в резервуар 2 в замкнутом пространстве резервуара 1 создается вакуум. Величина вакуума измеряется также U-образным пьезометром (рис. 3.1,б).

#### Теоретические основы метода

Полное или абсолютное гидростатическое давление в любой точке покоящейся жидкости определяется по основному уравнению гидростатики:

$$p = p_0 + \rho gh \quad \text{или} \quad p = p_0 + \nu h, \quad (3.1)$$

где  $p$  - абсолютное (полное) гидростатическое давление;

$p_0$  - абсолютное давление на свободной поверхности жидкости;

$\nu$  - удельный (объемный) вес жидкости;

$\rho$  - плотность жидкости;

$g$  - ускорение свободного падения;

$h$  - глубина погружения точки под уровень жидкости.

Исходя из формулы (3.1), можно сказать, что расчет абсолютного гидростатического давления сводится к определению абсолютного давления на поверхности жидкости  $p_0$  в соответствующих единицах измерения (удельный вес  $\nu$  или плотность  $\rho$ , а также глубина погружения точки  $h$  задаются исходными данными).

Абсолютное давление - это давление, отсчитанное от абсолютного нуля (полного вакуума), подобно тому, как отсчитывается температура по шкале Кельвина. В технике промышленных измерений давления отсчет ведут от относительного нуля - атмосферного давления. Давление, выше атмосферного измеряют манометрами, и называют избыточным или манометрическим. Давление, ниже атмосферного (вакуум), измеряют вакуумметрами. На рис.3.2 можно проследить пределы изменения и взаимосвязь абсолютного давления  $p_{абс}$ , избыточного  $p_{изб}$  и вакуума  $p_{вак}$ .

Абсолютное давление при наличии вакуума (формула 3.2) называют также остаточным давлением.

В открытых сосудах абсолютное давление на поверхности жидкости равно атмосферному давлению.

$$P_0 = P_{атм} + P_{изб} . \quad P_0 = P_{атм} - P_{вак} . \quad (3.2)$$

Применяемые в гидротехнической практике единицы измерения давления и их взаимосвязь следующие:

1 атм. = 760 мм.рт.ст. = 101325 Па = 101,325 кПа - физическая атмосфера;

1 ат = 98066, Па = 98,066 кПа = 0,1 МПа - техническая атмосфера;

1 мм.вод.ст. = 9,806 Па ;

1мм.рт.ст. = 133,322 Па;

1бар = 100 кПа = 0,1 МПа;

1бар = 100 кПа = 0,1 МПа.

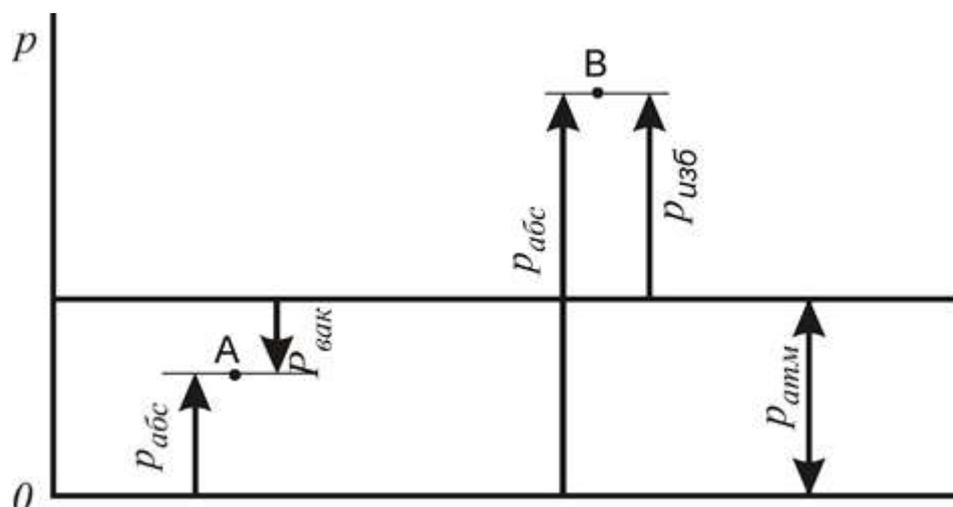


Рис.3.2 . Взаимосвязь давлений избыточного, абсолютного и давления вакуума

Абсолютное и избыточное давления, выраженные в атмосферах, обозначаются, соответственно, "ата" или "ати" (например,  $p = 2$  ата,  $p = 3$  ати и т.п.).

Давление может быть выражено высотой столба жидкости над рассматриваемой точкой. Высота столба жидкости определяется по зависимости:

$$h = P/\gamma = P/\rho g . \quad (3.3)$$

Из формулы (3.3) следует, что одно и то же давление в зависимости от плотности жидкости может быть создано столбом различной высоты. Так, техническая атмосфера (1 ат) соответствует 10 м. вод. ст. (при удельном весе воды  $\gamma = 1000$  кгс/м<sup>3</sup>) и 735,5 мм. рт.ст. (при удельном весе ртути 13600 кгс/м<sup>3</sup>).

Задание.

Рассчитать абсолютное давление  $P_0$  в замкнутой воздушной области внутри резервуара 1 для всех опытов по формулам и занести в таблицы 3.1 и 3.2. Атмосферное давление принять равным технической атмосфере.

Проведение опыта.

1. При открытом кране К установить положение резервуара 1 и 2 в соответствии с рис. 3.1.
2. Долить воды в U-образный пьезометр до нулевой отметки в обеих трубках. При переливе избыток удалить фильтровальной бумагой.
3. Закрывать кран К и перемещая резервуар 2 создать избыточное давление в замкнутом пространстве резервуара.
4. Записать в журнал наблюдений величину  $h$  (рис.3.1а), характеризующую избыточное давление. Следует провести 2-3 опыта, меняя избыточное давление. Опытные данные занести в таблицу 3.1.
5. Перемещая резервуар 2, создать вакуум в замкнутой воздушной области резервуара 1; измерить его величину по пьезометру 3 (рис.3.1б). Так же, как и в предыдущем случае, следует провести 2 - 3 опыта, меняя величину вакуума. Опытные данные занести в таблицу 3. 2.

3. 2. Обработка результатов  
Рассчитать абсолютное давление  $P_0$  в замкнутой воздушной области внутри резервуара 1 для всех опытов по формулам и занести в таблицы 3.1 и 3.2. Атмосферное давление принять равным технической атмосфере.

Таблица 3.1 Расчёт абсолютного давления воздуха по избыточному давлению

Атмосферное давление			Избыточное давление			Абсолютное давление	
мм.вод.ст	кгс/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>	мм.вод.ст	кгс/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>	кгс/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>

Таблица 3.2 Расчёт абсолютного давления воздуха при наличии вакуума

Атмосферное давление			Избыточное давление			Абсолютное давление	
мм.вод.ст	кгс/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>	мм.вод.ст	кгс/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>	кгс/м <sup>2</sup>	Н/м <sup>2</sup>

Отчет по работе.

Отчет по работе должен включать следующие пункты:

- 1 Титульный лист.
- 2 Наименование и цель работы.
- 3 Схему опытной установки.
- 4 Таблицу наблюдений.
- 5 Обработку результатов опыта.
- 6 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Цель лабораторного исследования.
- 2 Гидростатическое давление и его свойства.
- 3 Основное уравнение гидростатики.
- 4 Единицы измерения давления и их взаимосвязь.
- 5 Понятие абсолютного, избыточного давлений, вакуума.

Подписи исполнителей

Подписи руководителя

#### **4. Практические занятия**

Предлагаемые задачи составлены в соответствии с Рабочей программы дисциплины «Гидрогазодинамика» и Методическими указаниями по практическим занятиям.

##### **4.1. Темы практических занятий**

4.1.1. Определение абсолютного и избыточного гидростатического давления и вакуума. Учет изменения плотности по высоте.

4.1.2. Определение силы давления воды и точки ее приложения на плоские и цилиндрические поверхности. Гидравлический пресс.

4.1.3. Примеры использования уравнения Бернулли в гидравлических расчетах. Построение линии энергии и пьезометрической линии для трубопроводных систем.

4.1.4. Расчет условий перехода от ламинарного течения в турбулентное. Расчет потерь напора при ламинарном и турбулентном режиме течения в трубах и местных сопротивлениях с использованием, формулы Дарси и опытных данных Никурадзе.

4.1.5. Расчеты фильтрации при строительном водопонижении, дренаже.

Основное назначение методических указаний по практическим занятиям – помочь изучающим гидрогазодинамику в получении навыков применения теории при решении инженерных задач и освоении методики гидравлических расчетов.

Методические указания по практическим занятиям содержат разнообразные по сложности примеры, соответствующие тематике и охватывающие основные темы курса «Гидрогазодинамика». Каждый раздел содержит пример решения задачи, показывающий рекомендуемую последовательность выполнения решения.

#### **5. Тестовый контроль**

##### **5.1. Первый промежуточный контроль (первая контрольная точка)**

- 5.1.1. Физические свойства жидкости.
- 5.1.2. Идеальная и реальная жидкость.
- 5.1.3. Гидростатическое давление.
- 5.1.4. Единицы измерения давления.
- 5.1.5. Основное уравнение гидростатики.
- 5.1.6. Закон Паскаля.
- 5.1.7. Схема работы гидравлического пресса.
- 5.1.8. Давление жидкости на плоскую стенку.

- 5.1.9. Давление жидкости на криволинейную стенку. Фактические растягивающие напряжения возникающие на стенке сосуда. Условие прочности сосуда по кольцевому поперечному сечению
- 5.1.10. Закон Архимеда.
- 5.1.11. Величины, характеризующие состояние движущейся жидкости. Элементарная струйка. Виды движения жидкости. Линия тока. Трубка тока.
- 5.1.12. Уравнение неразрывности струйки. Поток. Расход потока. Смоченный периметр. Гидравлический радиус.
- 5.1.3. Режимы течения жидкости. Опыт О. Рейнольдса. Условия для создания режима течения жидкости.

## **5.2. Второй промежуточный контроль (вторая контрольная точка)**

- 5.2.1. Энергия элементарной струйки. Уравнение Бернулли.
- 5.2.2. Принцип действия трубки Пито. Измерение скорости движения жидкости.
- 5.2.3. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости.
- 5.2.4. Местные потери напора.
- 5.2.5. Трубопроводы и их виды
- 5.2.6. Гидравлический удар.
- 5.2.7. Истечение жидкости через отверстия и насадки. Определение напора. Уравнение Торичелли.
- 5.2.8. Основные понятия о насосах. Подача (расход) насоса.
- 5.2.9. Напор насоса. Манометрический напор.
- 5.2.10. Высота всасывания.
- 5.2.11. Мощность и коэффициент полезного действия насоса.
- 5.2.12. Классификация насосов. Лопастные насосы.
- 5.2.13. Кавитация
- 5.2.14. Осевые насосы.
- 5.2.15. Регулирование подачи и напора лопастных насосов.
- 5.2.16. Объёмные насосы.
- 5.2.17. Регулирование подачи объёмных насосов.
- 5.2.18. Крыльчатые насосы.
- 5.2.19. Струйные насосы.
- 5.2.20. Основные понятия о вентиляторах. Типы вентиляторов. Напор вентилятора.
- 5.2.21. Подача вентилятора. Потребляемая мощность вентилятора.
- 5.2.22. Основные правила по технике безопасности при работе с насосами

## **6. Список экзаменационных вопросов**

- 6.1. Физические свойства жидкости
- 6.2. Основные правила техники безопасности при работе с насосами
- 6.3. Идеальная и реальная жидкость
- 6.4. Основные понятия о вентиляторах. Типы вентиляторов. Напор вентилятора. Подача вентилятора. Потребляемая мощность двигателя.
- 6.5. Гидростатическое давление
- 6.6. Струйные насосы
- 6.7. Единицы измерения давления
- 6.8. Крыльчатые насосы

- 6.9. Основное уравнение гидростатики
- 6.10. Регулирование подачи объёмных насосов
- 6.11. Закон Паскаля
- 6.12. Объёмные насосы
- 6.13. Схема работы гидравлического пресса
- 6.14. Регулирование подачи и напора лопастных насосов
- 6.15. Давление жидкости на плоскую стенку
- 6.16. Осевые насосы
- 6.17. Давление жидкости на криволинейную стенку. Фактические растягивающие напряжения. Условие прочности сосуда по кольцевому поперечному сечению
- 6.18. Кавитация
- 6.19. Закон Архимеда
- 6.20. Классификация насосов. Лопастные насосы
- 6.21. Величины, характеризующие состояние движущейся жидкости. Элементарная струйка. Виды движения жидкости. Линия тока.
- 6.22. Мощность и к.п.д. насоса
- 6.23. Режим течения жидкости. Опыт О Рейнольдса. Условия для создания режим течения жидкости
- 6.24. Напор насоса. Манометрический напор
- 6.25. Энергия элементарной струйки. Уравнение Бернулли
- 6.26. Основные понятия о насосах. Подача (расход) топлива
- 6.27. Принцип действия трубки Пито. Измерение скорости движения жидкости
- 6.28. Гидравлический удар
- 6.29. Уравнение Бернулли для реальной жидкости
- 6.30. Истечение жидкости через отверстия и насадки. Определение напора. Уравнение Торичелли
- 6.31. Местные потери напора
- 6.32. Трубопроводы и их виды

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **7.1. Основная литература**

7.1.1 Козырев А. В. Механика: Курс лекций по общей физике : Учебное пособие для вузов / Андрей Владимирович Козырев; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2003. - 130[2] с. (Экз. 50).

### **7.2. Дополнительная литература**

7.2.1. Прикладная механика. Курс лекций по гидромеханике : Учебное пособие / А. С. Ткаченко ; Министерство образования Российской Федерации, Томский государственный педагогический университет. - Томск : Томский государственный педагогический университет, 2002. - 69[1] с. : ил. - Библиогр.: с. 67. (Экз 1).

7.2.3. Савельев И. В. Курс общей физики : учебное пособие для втузов: В 3 т. / И. В. Савельев. - 7-е изд., стереотип. - СПб. : Лань, 2007. Т. 1 : Механика. Молекулярная физика. - СПб. : Лань, 2007. - 432 с. (Экз. 155).

### **7.3. Перечень методических указаний**

- 3.3.1 Апкарьян А.С. Гидравлика. Методические указания по практическим занятиям, 2012. - 17с. Электронный ресурс: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1940>.
- 3.3.2. Апкарьян А.С. Гидравлика. Методические указания по лабораторным занятиям, 2011. - 31с. Электронный ресурс: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1938>.
- 3.3.3. Методические указания по выполнению самостоятельной работы приведены в методических указаниях по практическим занятиям на стр. 4-10 и методических указаниях по лабораторным занятиям на стр. 6, 11-16, 25-26.

Зав кафедрой  
Составитель  
Лектор

В.И.Туев  
А.С.Апкарьян  
А.С.Апкарьян