

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
Для лабораторных работ
по дисциплине «Гидрогазодинамика»

для студентов, обучающихся по направлению
20.03.01 – Техносферная безопасность

Ставрополь, 2026

Основным направлением лабораторного практикума является разъяснение физической сущности рассматриваемых гидравлических явлений, ознакомление студентов с методикой экспериментальных исследований, а также усвоение и закрепление теоретического материала по важнейшим разделам и отдельным вопросам учебной дисциплины «Гидрогазодинамика».

Каждая работа в практикуме описана отдельно, по возможности, без ссылок на предыдущие и последующие работы. Гидрогазодинамика – прикладная инженерная наука о равновесии и движении жидкости, основанная преимущественно на эмпирических данных. Лабораторные исследования дают возможность визуально отслеживать на физической модели течения жидкостей в трубопроводах при различных условиях, работу гидравлических сооружений и устройств, получать значения опытных констант, входящих в расчетные зависимости.

В лабораторном практикуме для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Гидрогазодинамика» сформулированы цели и содержание исследований, даны теоретические обоснования работ, приведены описания лабораторных стендов и указания по технике безопасности, изложена методика проведения экспериментов и обработки полученных данных, содержание отчета и его форма, указаны контрольные вопросы и задачи для подготовки к защите работ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Определение кинематического коэффициента вязкости вискозиметром Энглера.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Исследование работы гидравлического пресса	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Исследование режимов движения жидкости	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Определение потерь напора по длине при установившемся турбулентном течении жидкости	33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 Определение местных потерь напора при установившемся турбулентном режиме движения жидкости	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 Определение коэффициентов истечения для отверстия и насадков.....	47
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 Изучение устройства и определение характеристик редукционного клапана	54
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 Изучение устройства и определение характеристик напорных гидроклапанов	59
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10 Изучение устройства и определение характеристик двухлинейного регулятора расхода	66
ЛИТЕРАТУРА.....	72

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Определение кинематического коэффициента вязкости вискозиметром Энглера

1.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Определение вязкости жидкости при различных температурах и построение температурной кривой $\nu = f(T)$.

1.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Одним из основных свойств жидкости является вязкость.

Вязкостью называется способность жидкости оказывать сопротивление относительному смещению слоев. Сила сопротивления сдвигу слоев называется силой внутреннего трения.

При прямолинейном слоистом движении широкого класса жидкостей сила внутреннего трения между смещающимися слоями выражается формулой Ньютона-Петрова (1.1).

$$F = \mu S \frac{\partial v}{\partial n}, \text{ Н}, \quad (1.1)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с.

S – площадь соприкасающихся слоев жидкости, м².

$\frac{\partial v}{\partial n}$ – градиент скорости, являющийся показателем интенсивности изменения величины скорости по нормали к ее направлению, с⁻¹.

Динамический коэффициент вязкости μ , являющийся основной количественной характеристикой вязкости жидкостей и газов, численно равен силе трения, возникающей на единичной площади при единичном градиенте скорости. Наряду с динамическим коэффициентом вязкости μ в технических дисциплинах широко используют кинематический коэффициент вязкости ν , определяемый соотношением (1.2).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (1.2)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Единица измерения кинематического коэффициента вязкости ν в системе СИ – м²/с, а в системе СГС («сантиметр грамм секунда») – Ст (в «стоксах»): 1 Ст=10⁻⁴ м²/с, внесистемная единица – градус Энглера.

Единица измерения динамического коэффициента вязкости μ в системе СИ – Па·с, а в системе СГС – П (в «пуáзах») 1 П=0,1 Па·с.

Жидкости, для которых выполняется уравнение Ньютона–Петрова, называются ньютоновскими, остальные неньютоновскими.

Для определения вязкости применяют вискозиметры различных систем: Энглера, капиллярные, шариковые, ротационные.

1.3 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Вискозиметр Энглера применяется для определения вязкости капельных жидкостей, вязкость которых выше вязкости воды. Он относится к разряду условных приборов, в которых вязкость определяется по отношению к вязкости известной жидкости (дистиллированной воды). Вискозиметр представляет собой два концентрически вставленных друг в друга резервуара (рисунок 1.1). Основной частью вискозиметра является латунная ванна (1) (ее вместимость до остриев штифтов составляет 240 см³) с вмонтированным в ее дно суживающимся насадком (3) из нержавеющей стали. Площади сечения насадка на входе и выходе постоянны и соответственно равны 6,6 мм² и 6,16 мм². На внутренней поверхности ванны имеется три заостренных крючка-штифта (4), с помощью которых осуществляется контроль уровня измеряемой жидкости. Входное отверстие насадка закрывается стержнем (7). Сосуд имеет крышку (5) с отверстиями для запорного стержня и термометра (6). Латунная ванна помещается в водяную баню (2), которая оборудована электроподогревающим устройством (9) и мешалкой. Температура воды в бане контролируется с помощью термометра (6). Имеется круглая площадка для мерного стакана (8) емкостью 200 – 500 мл.

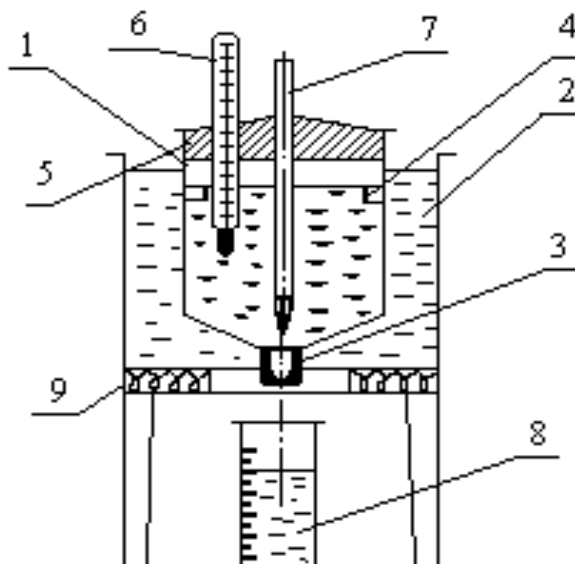


Рисунок 1.1 – Схема вискозиметра Энглера

1.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

1.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом опыта необходимо установить прибор в строго горизонтальное положение. Воду, находящуюся в бане, подогреть последовательно до заданной температуры и поддерживать эту температуру в процессе проведения опыта, постоянно перемешивая жидкость (воду).

Входное отверстие насадка закрыть стержнем и во внутренний резервуар залить исследуемую жидкость с условием, чтобы свободная поверхность жидкости в ванне касалась остриев всех трех штифтов. Затем ванну закрыть крышкой, вставить термометр и, после стабилизации температуры по всему объему исследуемой жидкости, открыть входное отверстие насадка для выпуска жидкости, одновременно включив секундомер.

По достижении уровня жидкости в мерном стакане отметки 200 мл,

секундомер выключить. (При изменении вязкости масла пена, находящаяся выше уровня, в расчет не принимается). Измерения производить только при условии непрерывности струи. Если жидкость вытекает по каплям, то измерения вязкости производить при высоких температурах, когда будет соблюдаться условие непрерывности. В этом случае вязкость жидкости при более низких температурах вычисляют графически или аналитически.

При определении вязкости очень густых жидкостей можно измерить время истечения 100 мл и умножить на коэффициент 2,35, что приблизительно соответствует времени истечения 200 мл этой жидкости. При каждой температуре жидкости опыты повторяются. Данные опыта заносят в таблицу 1.1.

Условная вязкость испытываемой жидкости характеризуется градусами Энглера.

Число градусов Энглера определяется отношением времени истечения (в секундах) 200 мл испытуемой жидкости при данной температуре из вискозиметра типа ВУ (Энглера) ко времени истечения (в секундах) 200 мл дистиллированной воды из того же прибора при нормальной температуре (20 °С) и находится по формуле (1.3).

$$^{\circ}E = \frac{\tau_{ж}}{\tau_{пр}}, \quad (1.3)$$

где $\tau_{ж}$ – время истечения 200 мл испытываемой жидкости через насадок при заданной температуре, с;

$\tau_{пр}$ – время истечения 200 мл дистиллированной воды при 20°С, $\tau_{пр}=52$ с.

Для перехода от условной вязкости $^{\circ}E$ к кинематическому коэффициенту вязкости ν воспользуемся формулой (1.4).

$$\nu = 0,0732 \cdot ^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (1.4)$$

Таблица 1.1 – Обработка данных опыта

Величина	Обозначение	Единицы измерения	Опыты			
			1	2	3	4
Температура жидкости	t	°С				

Объем	V	мл				
Время истечения	$\tau_{ж}$	с				
Вязкость в градусах Энглера	$^{\circ}E = \frac{\tau_{ж}}{\tau_{пп}}$	—				
Кинематический коэффициент вязкости	$\nu = 0,0732 \cdot ^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E}$	м ² /с				

После обработки опыта строится температурная кривая $\nu = f(T)$.

1.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняется в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости. К отчету прилагается график, выполненный в графическом редакторе на ПК.

Отчет может быть выполнен на ПК и распечатан на листах формата А4.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

1.7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Жидкость (основные понятия). Физические свойства жидкости: плотность, удельный вес, сжимаемость (закон Гука).
2. Вязкость жидкости. Коэффициенты, характеризующие вязкость жидкости; их единицы измерения и формула взаимосвязи.
3. Каков физический смысл динамического коэффициента вязкости?
4. Сила внутреннего трения жидкости, формула ее определения.

5. Какими приборами измеряется вязкость жидкости?
6. Температурное расширение. Сжимаемость.
7. Поверхностное натяжение и капиллярные явления в жидкости.

Растворимость газов в жидкостях (закон Генри).

8. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 500$ мм и длиной $l = 1$ км для повышения давления до $\Delta p = 5 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь. ($\beta_w = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1}$)

9. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды $W = 0,4 \text{ м}^3$. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с 20 до 90°C ? ($\rho_{20^\circ} = 998 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{90^\circ} = 965 \text{ кг/м}^3$)

10. Определить высоту подъема воды в стеклянном капилляре диаметром $d = 0,001$ м при температуре воды $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и $t_2 = 80^\circ\text{C}$. ($\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$; $\sigma = \sigma_0 - \beta \cdot \Delta t$, где σ_0 – поверхностное натяжение при $t = 0^\circ\text{C}$, $\sigma_0 = 0,0726 \text{ Н/м}$; $\beta = 0,00015^\circ\text{C}^{-1}$; $\rho = 972 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды при $t = 80^\circ\text{C}$).

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Исследование работы гидравлического пресса**2.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ**

Изучить устройство, принцип действия гидравлического пресса; рассчитать силы и выигрыш в силе.

2.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

В покое жидкости возможен лишь один вид напряжения – гидростатическое давление, силы вязкости в покое не проявляются.

Гидростатическое давление обладает тремя свойствами:

- гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали к площадке, на которую оно действует (по направлению к площадке, а не от нее);
- гидростатическое давление действует одинаково по всем направлениям, то есть не зависит от угла наклона площадки, на которую оно действует;
- гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве, то есть $p = f(x, y, z)$ и увеличивается с возрастанием глубины ее погружения.

Согласно основному закону гидростатики, давление в любой точке покоей жидкости складывается из давления на свободную поверхность жидкости p_0 и давления, зависящего от глубины погружения h , то есть давления, обусловленного весом вышележащих слоев жидкости ρgh . Аналитически основной закон гидростатики записан в виде формулы (2.1).

$$p = p_0 + \rho gh, \text{ Па.} \quad (2.1)$$

Давление, приложенное к жидкости (внешнее давление), передается внутри жидкости во все стороны без изменения, то есть всякое изменение внешнего давления приводит к изменению давления в каждой точке жидкости. В гидравлике это понятие носит название закона Паскаля.

Закон Паскаля имеет широкое применение в технике и используется при конструировании гидравлических установок, действие которых основано на передаче давления внутри жидкости.

По этому принципу работают гидравлические аккумуляторы, гидравлический пресс, мультипликаторы, домкраты, и др. устройства. Рассмотрим принцип действия и устройство гидравлического пресса.

2.3 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Принципиальная схема пресса показана на рисунке 2.1. Пресс состоит из двух цилиндров, соединенных системой трубок. В малом цилиндре находится поршень Π_1 с рычагом, имеющим неподвижную шарнирную опору, а в большом цилиндре – поршень Π_2 со столом, на котором помещается прессуемое тело.

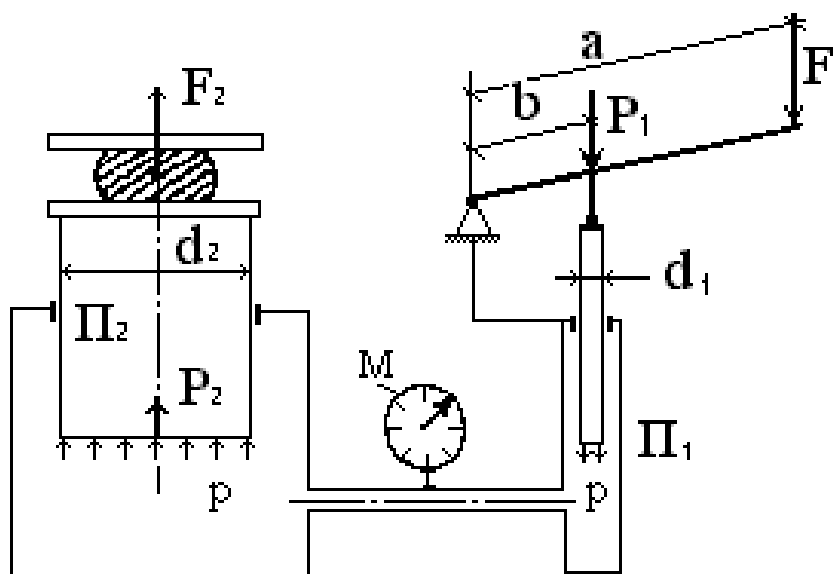


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема гидравлического пресса

Возвратно-поступательным движением рычага с малым поршнем Π_1 накачивают жидкость в полость под большим поршнем Π_2 . Давление в системе регистрируется манометром M . Помимо этого пресс снабжен шариковыми клапанами (на схеме не показаны), которые предотвращают возврат жидкости в бачок и под малый поршень.

2.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

2.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Если к рукоятке рычага приложить силу F_1 , то согласно «золотому правилу механики» (правилу рычага) на малый поршень передается сила P_1 , определяемая по формуле (2.2).

$$P_1 = \frac{F_1 \cdot a}{b}, \text{ Н}, \quad (2.2)$$

где a – длина рукоятки рычага,

b – длина плеча малого поршня.

Сила P_1 создает гидростатическое давление p , вычисляемое по уравнению (2.3).

$$p = \frac{P_1}{S_1}, \text{ Па}, \quad (2.3)$$

где S_1 – площадь сечения малого поршня Π_1 (см. Рисунок 2.1), определяемое по уравнению (2.4).

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (2.4)$$

Давление жидкости p передается без изменения под поршень Π_2 большего диаметра (см. Рисунок 2.1). Пренебрегая практически незначительной поправкой на разность высотных положений нижних поверхностей поршней, получаем силу давления P_2 на больший поршень по формуле (2.5).

$$P_2 = p \cdot S_2, \text{ Н}, \quad (2.5)$$

где S_2 – площадь сечения большого поршня, определяемая по уравнению (2.6).

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (2.6)$$

Учитывая потери на трение в движущихся частях и утечки жидкости введением КПД (η), получим значение силы F_2 , сжимающей прессуемое тело, по формуле (2.7).

$$F_2 = \eta \cdot P_2, \text{ Н}. \quad (2.7)$$

КПД пресса обычно принимают равным $\eta = 0,8 \div 0,85$.

Выигрышем в силе гидравлического пресса называют отношение силы F_2 , прессующей тело, к силе F_1 , приложенной к рычагу. Выигрыш в силе определяется по формуле (2.8).

$$W = \frac{F_2}{F_1}, \quad (2.8)$$

или

$$W = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\eta \cdot P_2}{P_1} = \eta \frac{p \cdot S_2}{p \cdot S_1} = \eta \frac{S_2}{S_1}.$$

Максимальный теоретический же выигрыш в силе можно найти, записав отношение площадей поршней, по формуле (2.9).

$$W = \frac{S_2}{S_1}. \quad (2.9)$$

Но пресс не дает такого выигрыша в силе из-за наличия сил трения, которые снижают «эффективность» гидравлического пресса и учитывается в расчетах КПД установки.

В лабораторной работе по известному давлению жидкости в системе p необходимо определить действующие силы F_1 , P_1 , P_2 , F_2 и выигрыш в силе W , для четырех значений давления в системе. Вычисления сводятся в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Исходных данных и обработки измеренных величин опыта

Заданные и вычисленные величины	Обозначение	Единица измерения	Опыты			
			1	2	3	4

Заданные давления в системе	p	$\times 10^5$ Па	2	4	6	8
Измеряемая длина рукоятки рычага	a	м				
Измеряемая длина плеча малого поршня Π_1	b	м				
Измеряемый диаметр малого поршня Π_1	d_1	м				
Измеряемый диаметр большого поршня Π_2	d_2	м				
Площадь малого поршня Π_1	$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$	м ²				
Площадь большого поршня Π_2	$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$	м ²				
Сила на малом поршне	$P_1 = p \cdot S_1$	Н				
Сила на большом поршне	$P_2 = p \cdot S_2$	Н				
Усилие, прилагаемое к рукоятке рычага	$F_1 = \frac{P_1 \cdot b}{a}$	Н				
Сила, сжимающая прессуемое тело	$F_2 = \eta \cdot P_2$	Н				
Выигрыш в силе	$W = \frac{F_2}{F_1}$	—				
Теоретический максимальный выигрыш в силе	$W = \frac{S_2}{S_1}$	—				

2.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

2.7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Гидростатическое давление и его свойства.
2. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля и примеры его применения.
3. Виды гидростатического давления, эпюры гидростатического давления.
4. Приборы для измерения давления.
5. Сила гидростатического давления на плоскую стенку. Положение центра давления.
6. Сила давления на криволинейные поверхности.
7. Плавание тел. Закон Архимеда.
8. В гидравлическом прессе площадь малого поршня $S_1 = 2 \text{ см}^2$, площадь большого – $S_2 = 200 \text{ см}^2$. Сила, действующая на малый поршень, $F_1 = 400 \text{ Н}$, на большой – $F_2 = 36 \text{ кН}$. Какой выигрыш в силе даёт этот пресс? Почему пресс не даёт максимального (наибольшего) выигрыша в силе? Какой выигрыш в силе должен был бы давать этот пресс при отсутствии силы трения между поршнями и стенками пресса?
9. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием $h = 0,42 \text{ м}$. Определить разрежение под поршнем (рис. 2.2).

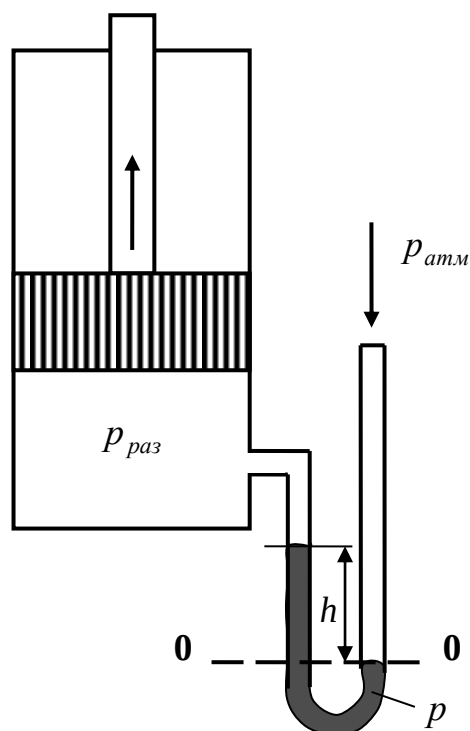


Рисунок 2.2

10. Грунтовые воды, формирующие систему с нефтяным пластом, выходят на поверхность (рис. 2.3). Какова должна быть плотность глинистого раствора, применяемого при бурении ($\rho_{\min}$), чтобы не было фонтанирования нефти при вскрытии пласта? Глубина скважины $h = 2500$ м; расстояние между уровнем выхода подземных вод на поверхность и границей вода – нефть $h_1 = 3200$ м; расстояние между уровнем выхода грунтовых вод на поверхность и устьем скважины $h_2 = 600$ м; плотность подземных вод $\rho_e = 1100$ кг/м³; плотность нефти $\rho_n = 850$ кг/м³.

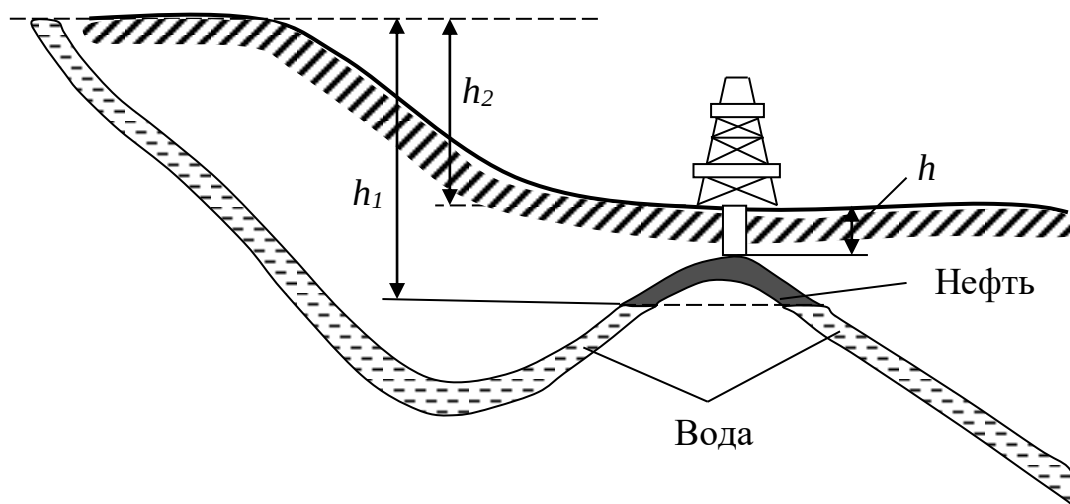


Рисунок 2.3

11. Избыточное давление воды в океане на глубине $h = 300$ м равно $31,5 \cdot 10^5$ Па. Требуется определить: плотность морской воды на этой глубине в общем виде; плотность морской воды на этой глубине в районах Северного полюса и экватора ($g_{пол} = 9,831$ м/с²; $g_{экв} = 9,781$ м/с²).

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Исследование режимов движения жидкости

3.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Визуальное наблюдение ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, а также смены режимов. Вычисление по опытным данным значений критерия Рейнольдса (Re) при наблюдаемых режимах.

3.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Одна из основных задач гидравлики – оценка потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений, возникающих при движении реальных жидкостей в различных гидравлических системах.

Чтобы правильно определить эти сопротивления, прежде всего, необходимо составить ясное представление о механизме самого движения жидкости. При исследовании вопроса приходим к заключению о существовании двух различных, резко отличающихся режимов движения: ламинарного (слоистого) и турбулентного (вихревого). При ламинарном движении частицы жидкости движутся без перемешивания, их траектории не пересекаются, наблюдается слоистое перемещение.

Ламинарный режим наблюдается преимущественно при движении вязких жидкостей – нефть, битум, смазочные масла и др. или при движении любых жидкостей с малыми скоростями.

Турбулентный режим характеризуется беспорядочным, хаотичным движением частиц жидкости и имеет место при сравнительно больших скоростях и малой вязкости.

Существование того или иного режима движения жидкости определяется значением критерия Рейнольдса (Re). В общем случае критерий Рейнольдса вычисляется по формуле (3.1).

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}, \text{ или } Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu} \quad (3.1)$$

где v – средняя скорость движения жидкости, м/с;

l – определяющий геометрический размер, м. Для трубопроводов круглого сечения принимается диаметр d , а для открытых потоков – гидравлический радиус R (отношение площади к смоченному периметру χ);

ν (греч. «ню») – кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$;

μ (греч. «мю») – динамический коэффициент вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

ρ – плотность движущейся жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таким образом, для трубопроводов круглого сечения критерий Рейнольдса (Re) определяется по формуле (3.2).

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3.2)$$

где d – внутренний диаметр трубы, м.

Критерий Рейнольдса (Re) – это безразмерный комплекс физических величин. С физической точки зрения число Рейнольдса характеризует соотношение между силами инерции и вязкости (внутреннего трения), действующими в потоке. Когда преобладают силы вязкости (число Рейнольдса мало), частицы жидкости движутся параллельно не перемешиваясь.

Если же преобладают инерционные силы (когда число сравнительно велико), то упорядоченность движения частиц нарушается, они движутся хаотично.

Опытами установлено, что при $Re < 2320$ в круглой цилиндрической трубе наблюдается устойчивое ламинарное течение (см. Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Ламинарный режим движения жидкости

При $Re > 2320$ слоистое движение нарушается, и при $2320 < Re < 10\,000$ имеет место так называемый переходный режим, для которой характерна перемежающаяся турбулентность, то есть периодическое изменение характера течения с ламинарного на турбулентное. Ламинарное течение может сохраняться и при $Re > 2300$, но оно будет неустойчивым, и при небольших возмущениях (толчки, вибрации) сразу же переходит в турбулентное. При $Re > 10\,000$ наблюдается турбулентный режим движения жидкости (см. Рисунок 3.2).

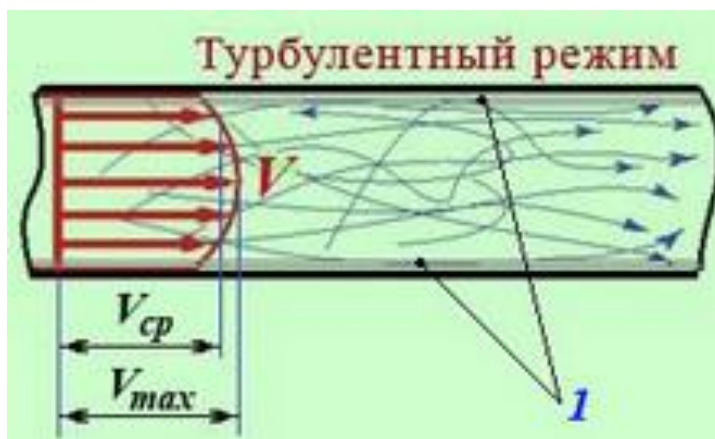


Рисунок 3.2 – Турбулентный режим движения жидкости

Числа Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного режима к переходному и от переходного к турбулентному, носят название критических значений числа Рейнольдса – $Re_{кр1}$ и $Re_{кр2}$.

Например, для труб круглого сечения первое и второе (или нижнее и верхнее) критические значения числа Рейнольдса следующие $Re_{кр1} = 2320$ и $Re_{кр2} = 10\,000$ (см. Рисунок 3.3).

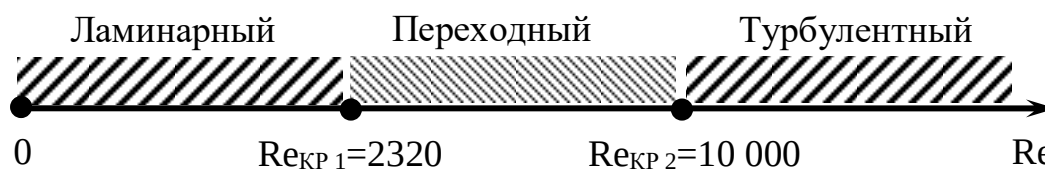


Рисунок 3.3 – Зависимость критерия Рейнольдса и режимов движения жидкости для трубопроводов круглого сечения

Критическому значению числа Рейнольдса соответствует критическая скорость движения жидкости, характеризующая смену режима движения

жидкости:

– для трубопроводов круглого сечения

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{v_{\text{кр}} \cdot d}{\nu}; \quad (3.3)$$

– для открытых потоков

$$\text{Re}_{\text{кр}} = \frac{v_{\text{кр}} \cdot R}{\nu}. \quad (3.4)$$

где $v_{\text{кр}}$ – критическая скорость, соответствующая смене режимов движения жидкости, м/с.

d – внутренний диаметр трубы, м.

R – гидравлический радиус открытого потока, м.

Критическое значение числа Рейнольдса для открытых потоков равно 500 ($\text{Re}_{\text{кр}} = 500$).

3.3 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, заполняемого водой, и сосуда 4, в который наливают красящие вещества. Труба 2 имеет на конце кран 3, позволяющий регулировать расход и скорость движения жидкости. Измерение расхода жидкости осуществляется объемным способом при помощи мерного бака 7. Труба 2 для осуществления плавного входа в нее имеет входную воронку, из сосуда 4 подведена тонкая трубка 5 с зажимом 6, по которой в поток подаются красящие вещества (рисунок 3.2).

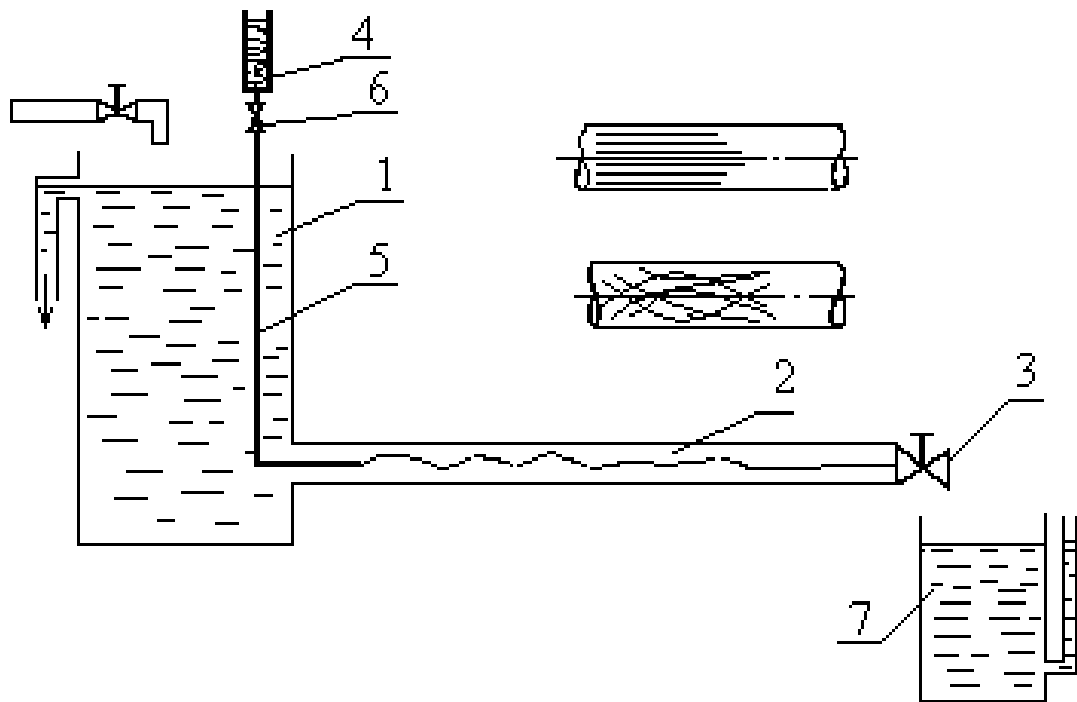


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема лабораторной установки

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу также можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена на рис.3.3.

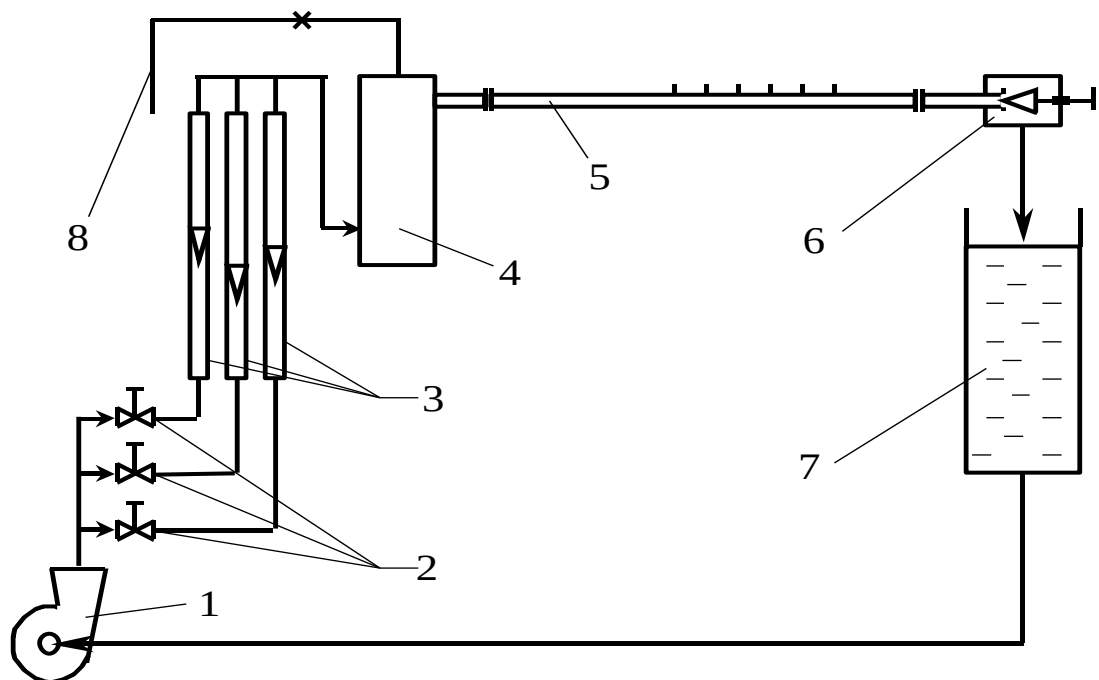


Рисунок 3.3 – Универсальный лабораторный стенд: 1 – насос, 2 – регулирующие вентили, 3 – система ротаметров, 4 – компенсационный бак, 5 – лабораторный модуль, 6 – игольчатый вентиль, 7 – сливной бак, 8 – воздухоотводчик с пережимом

Путем смены лабораторного модуля 5, этот стенд можно подготовить для изучения различных гидравлических процессов.

3.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

3.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Во время опыта уровень воды в баке 1 поддерживается постоянным с помощью перелива. Опыт начинается с малых скоростей, для этого кран 3 немного открывают и одновременно пускают красящие вещества через трубку 5. В стеклянной трубе должна быть видна окрашенная струйка, которая легко выделяется в движущемся потоке. Следовательно, движущаяся струйка, которая не перемешивается с соседними струйками, т.е. наблюдается струйное движение, называемое ламинарным. Увеличивая степень открытия крана 3 увеличивают скорость движения жидкости до тех пор, пока струйка красящего вещества не начнет теряться в общем потоке жидкости, т.е. происходит переход из ламинарного режима в турбулентный. Дальнейшим открытием крана устанавливают скорость движения, соответствующую установившемуся турбулентному течению, струйка совершенно исчезает, поток окрашивается равномерно.

В каждом опыте производят замеры температуры, времени полного или частичного заполнения мерного бака, объема мерного бака. Результаты заносят в таблицу 3.1. Опыт, соответствующий переходу из ламинарного в турбулентный режим, производят 3 раза для более точного установления критического числа Рейнольдса.

Таблица 3.1 – Обработка результатов опыта

Величины	Обозначения	Единицы	Опыты
----------	-------------	---------	-------

		измерения	1	2	3
Режим движения жидкости	—	—			
Объем жидкости в мерном баке	V	м^3			
Время заполнения мерного бака	τ	с			
Температура в напорном баке	t	$^{\circ}\text{C}$			
Объемный расход жидкости	$Q = \frac{V}{\tau}$	$\text{м}^3/\text{с}$			
Средняя скорость	$v = \frac{Q}{S}$	м/с			
Кинематический коэффициент вязкости	ν	$\text{м}^2/\text{с}$			
Число Рейнольдса	$\text{Re} = \frac{v d}{\nu}$	—			

Постоянные величины: диаметр трубы – $d = 2,5$ см; площадь сечения – $S = \pi d^2/4 \text{ м}^2$.

3.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

3.7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Гидродинамика (основные понятия и определения).
2. Расход жидкости. Классификация расходов. Уравнение постоянства расхода.
3. Режимы движения жидкости. Критерий определения режима движения жидкости.
4. Особенности течения жидкости при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости.
5. Физический смысл критерия Рейнольдса.
6. Определить режим движения и объемный расход нефти в трубопроводе диаметром $d = 400$ мм при скорости движения $v = 0,13$ м/с. Кинематический коэффициент вязкости нефти $\nu = 0,3 \cdot 10^{-4}$ м²/с.
7. Определить число Рейнольдса и режим движения воды в водопроводной трубе диаметром $d = 300$ мм при расходе $Q = 0,136$ м³/с и температуре воды 20°C ($\nu = 1,306 \cdot 10^{-6}$ м²/с для воды при $t = 20^\circ\text{C}$).
8. Для квадратной трубки, сторона которой $a = 10$ мм, определить критическую скорость движения $v_{кр}$ воды при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ ($\nu = 0,01$ Ст), воздуха при $p = 0,1$ МПа и $t = 20^\circ\text{C}$ ($\mu = 1,82 \cdot 10^{-4}$ П и $\rho = 1,17$ кг/м³) и турбинного масла при $t = 20^\circ\text{C}$ ($\nu = 1$ Ст), приняв $Re_{кр} = 2000$.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли

4.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

На напорном трубопроводе переменного сечения проследить по приборам переход энергии в потоке из потенциальной в кинетическую. По опытным данным построить линии полного и пьезометрического напоров.

4.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения энергии применительно к движущему потоку жидкости. Оно устанавливает связь между удельной потенциальной, удельной кинетической энергией и удельной энергией, затрачиваемой на преодоление сопротивлений движению жидкости, на участке от сечений 1–1 до N–N.

Для установившегося потока вязкой жидкости, движущейся от сечения 1–1 до сечения 6–6, (рис. 4.1) уравнение Бернулли представлено в виде формулы (4.1).

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} = z_6 + \frac{p_6}{\rho g} + \frac{\alpha_6 \cdot v_6^2}{2g} + h_{1-6}, \quad (4.1)$$

где z_1 и z_6 – высота центров тяжести живых сечений 1–1 и 6–6 по отношению к горизонтальной плоскости сравнения, м;

v_1 и v_6 – средняя скорость движения жидкости в живых сечениях 1–1 и 6–6, м;

p_1 и p_6 – давление в центрах тяжести сечений 1–1 и 6–6, Па;

α_1 и α_6 – коэффициент Кориолиса (учитывает неравномерность распределения скоростей по живому сечению потока реальной жидкости); $\alpha = 2$ – для ламинарного режима движения жидкости; $\alpha = 1$ – для турбулентного режима движения;

h_{1-6} – потери напора на преодоление сопротивлений движению жидкости, м.

Уравнение Бернулли имеет энергетический и геометрический смысл. Энергетический смысл заключается в том, что каждый член уравнения представляет собой удельную энергию – энергию, отнесенную к единице веса жидкости, а геометрический смысл заключается в том, что каждый член представляет собой высоту:

z – удельная потенциальная энергия положения или геометрическая высота;

$\frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия давления или пьезометрическая высота;

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия или скоростная высота (скоростной напор).

Сумма геометрической высоты z и пьезометрической высоты $\frac{p}{\rho g}$ называется пьезометрическим напором (удельной потенциальной энергией).

Линия, изображающая изменение удельной потенциальной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется пьезометрической линией.

Линия, изображающая изменение полной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется напорной линией.

В зависимости от изменения живого сечения вдоль потока, происходит перераспределение удельной потенциальной $z + \frac{p}{\rho g}$ и удельной кинетической

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ энергии. При уменьшении площади живого сечения потока увеличивается средняя скорость потока v и, следовательно, возрастает удельная кинетическая энергия $\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$, а потенциальная энергия $z + \frac{p}{\rho g}$, соответственно, уменьшается.

Гидродинамический напор (полная удельная энергия) по направлению

движения потока реальной жидкости непрерывно уменьшается из-за наличия сил внутреннего трения и трения жидкости о стенки трубопровода, в то время как пьезометрический напор не всегда уменьшается.

Пьезометрическая высота $\frac{p}{\rho g} \left(\frac{p}{\gamma} \right)$ измеряется с помощью прозрачных трубок (пьезометров), герметически присоединенных к отверстию в стенке трубопровода.

Для измерения полной энергии используются гидродинамические трубки (ГДТ или трубки Пито) с нижним концом, погруженным на ось трубопровода и отогнутым против направления движения жидкости. Уровень воды в ГДТ поднимается выше, чем уровень в пьезометрах на величину скоростной высоты $\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$.

4.3 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, напорного вентиля 2, из труб 3, 4 и 5, мерного бака 6, расходного вентиля 7, пьезометрических трубок 8 и гидродинамических трубок (трубок Пито) 9, холостого водослива 10 и питающей трубы 11 (рисунок 4.1).

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена в лабораторной работе № 3 на рис.3.3.

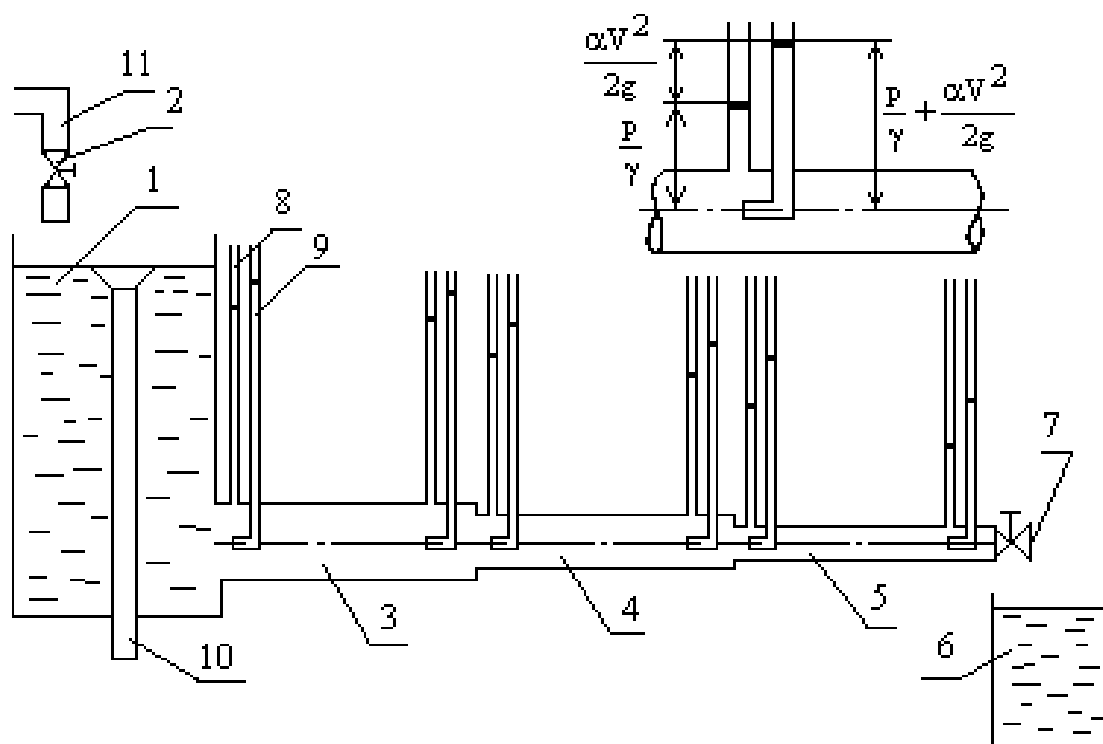


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема лабораторной установки

4.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

4.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Медленно открыть напорный вентиль 2, заполняя трубы водой. До начала работы необходимо убедиться в том, что в пьезометрах 8 и гидродинамических трубках 9 отсутствует воздух, для чего сравнивают между собой показания всех пьезометров и трубок Пито. Уровни в них должны быть на одной и той же высоте.

Для проведения опытов производится открытие вентиля 7, устанавливается расход Q .

После установления уровня жидкости в трубках, измеряются и записываются показания уровней в пьезометрических 8 и гидродинамических 9 трубках в каждом сечении. Результаты замеров заносят

в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Экспериментальные значения и результаты обработки опытных данных

Название измерительных и вычисленных величин	Обозначение	Размерность	Точка присоединения пьезометра и ГДТ			
			1	2	3	4
Диаметр трубопровода на участке	d	мм				
Геометрическая высота	z	см				
Показания пьезометрических трубок	$z + \frac{p}{\rho g}$	см				
Показания гидродинамических трубок (ГДТ)	$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$	см				
Скоростной напор	$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$	см				
Потери напора на участке	h_{1-4}	см				

По полученным данным на листе миллиметровой бумаги в исследуемых сечениях вверх от плоскости сравнения 0–0 откладываются пьезометрические и гидродинамические высоты, т. к. трубопровод горизонтальный, то $z_1=z_2=\dots=z_6=0$.

Соединяя полученные точки, строят опытные пьезометрическую и напорную линии (линию удельной потенциальной энергии и линию полной удельной энергии).

4.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки таблица для записи

основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости. К отчету прилагается график, выполненный на миллиметровой бумаге или на ПК.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

4.7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Уравнение Бернулли для струйки и потока идеальной и реальной жидкости.
2. Энергетический смысл уравнения Бернулли и входящих в него слагаемых.
3. Геометрический смысл уравнения Бернулли и входящих в него слагаемых.
4. Построение пьезометрической и напорной линий для случая реальной жидкости.
5. Вода протекает по водомеру Вентури, состоящему из трубы диаметром $D_1=20$ см, в которую вставлен участок трубы диаметром $D_2=10$ см (см. рисунок 4.2). Пренебрегая сопротивлением, определить расход воды, если в пьезометрах Π_1 и Π_2 разность показаний $h=0,25$ м.

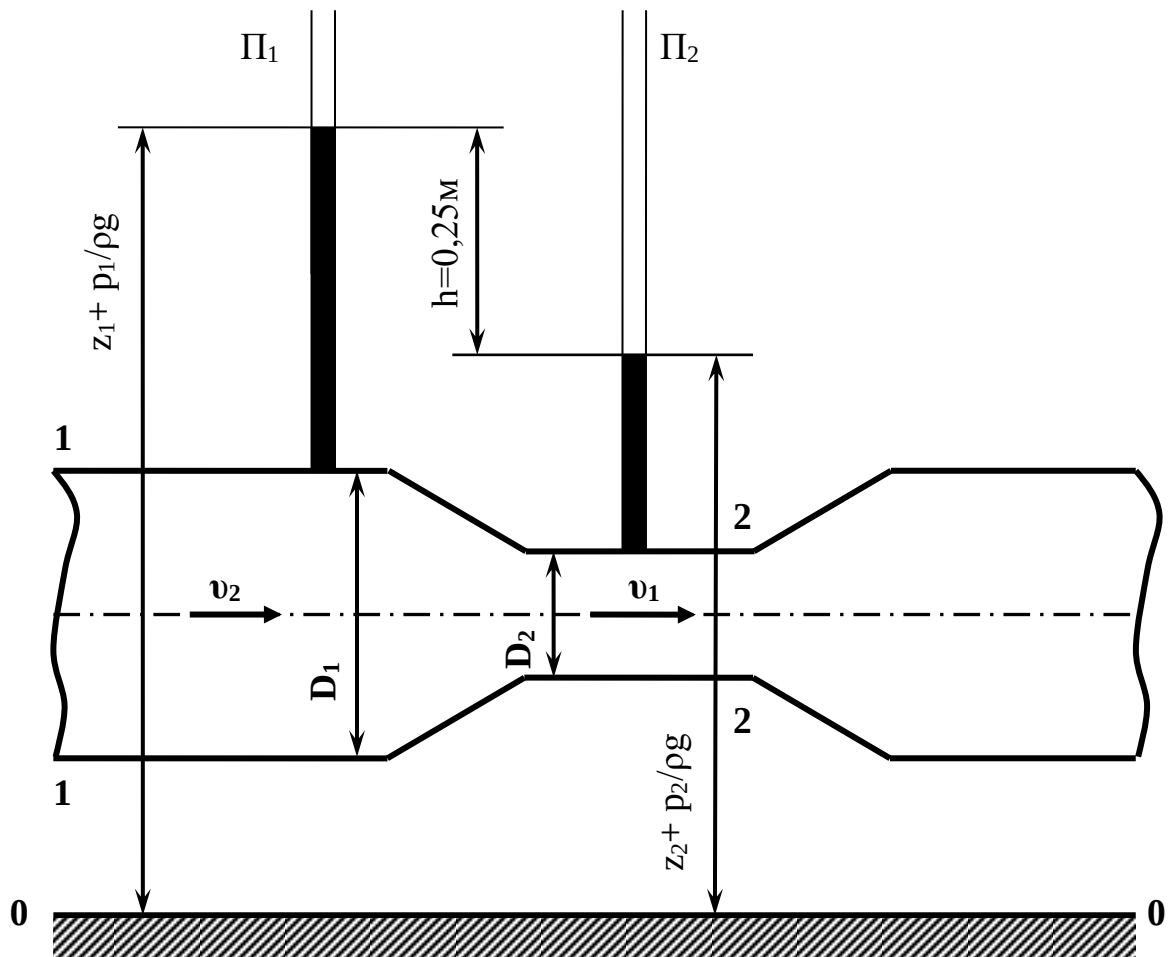


Рисунок 4.2 – К решению задачи 5

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

**Определение потерь напора по длине при установившемся
турбулентном течении жидкости**

5.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Экспериментально определить потери напора и найти численное значение коэффициента гидравлического сопротивления трения для прямолинейного участка трубопровода постоянного диаметра с установившимся в нем турбулентным движением воды. Выяснить области сопротивления, в которых проводится опыт, и подобрать формулы для вычисления коэффициентов λ .

5.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Движение всякой вязкой жидкости по трубопроводу сопровождается потерей напора по длине, возникающей вследствие трения жидкости о стенки трубопровода, трения между слоями движущейся жидкости, а также турбулентного перемешивания. Кроме того, величина потерь зависит также от формы, размеров и шероховатости труб, а также от скорости движения и вязкости жидкости.

Потеря напора – есть часть механической энергии жидкости, которая ввиду работы сил трения, распределенных по длине потока (потери по длине), а также сосредоточенных в отдельных участках потока (местные потери), переходит в тепло и необратимо теряется.

Потери напора по длине h_{TP} , для установившегося турбулентного режима движения жидкости определяется по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{TP} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (5.1)$$

где h_{TP} – потери напора;

L – длина трубопровода;

λ – коэффициент гидравлического трения;

v – средняя скорость потока;

d – диаметр трубопровода.

Коэффициент гидравлического трения λ учитывает влияние на потерю напора по длине таких факторов, которые не получили отражения в формуле Дарси-Вейсбаха в явном виде. Важнейшим из этих факторов является вязкость жидкости и состояние стенок трубы. При турбулентном режиме движения коэффициент гидравлического трения, как установлено теорией подобия, в общем случае зависит от двух безразмерных параметров числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости $\frac{K_{\vartheta}}{d}$:

$$\lambda = f\left(Re, \frac{K_{\vartheta}}{d}\right). \quad (5.2)$$

Коэффициент гидравлического трения λ экспериментально определяется на основании соотношения, получаемого из формулы (5.1) Дарси-Вейсбаха.

$$\lambda = \frac{h_{TP} \cdot d \cdot 2g}{L \cdot v^2}, \quad (5.3)$$

Таким образом, коэффициент гидравлического трения можно определить по измеренным величинам потери напора и скоростного напора на экспериментальном участке трубопровода.

Внутренняя структура потока и характеристика шероховатости поверхности трубы (относительная шероховатость) обуславливают четыре типа зависимости коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса и относительной шероховатости (см. рисунок 5.1).

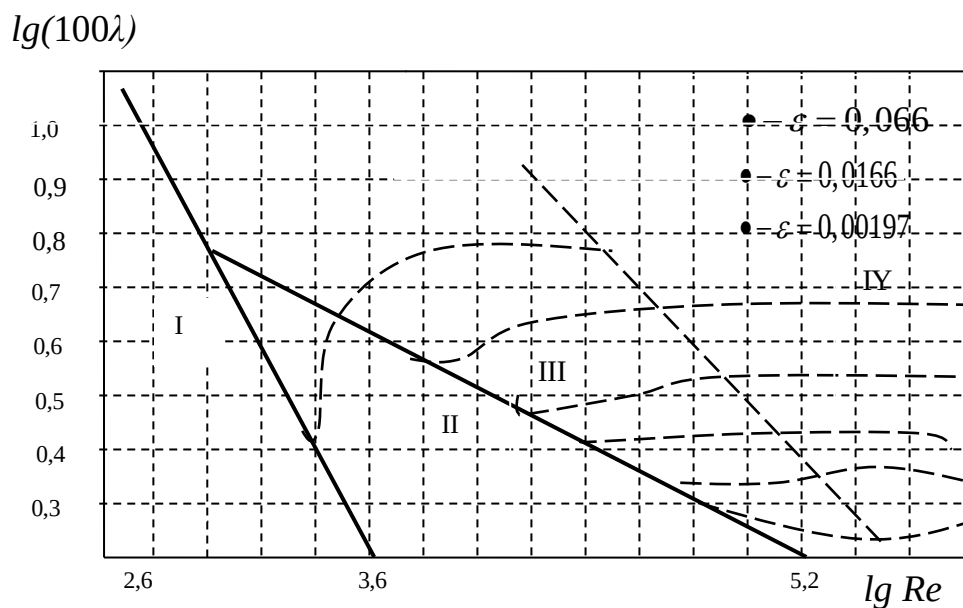


Рисунок 5.1 – графики Никурадзе: ламинарный режим ($lg Re < 3,4$ или $Re < 2320$), зона гладких труб ($4000 < Re < 10d/Kэ$); зона шероховатых труб ($10d/Kэ < Re < 500d/Kэ$); квадратичная (автомодельная) зона ($Re > 500 d/Kэ$)

1. Ламинарный режим ($Re < 2300$). Обтекание выступов шероховатости стенок трубы плавное, вследствие чего относительная шероховатость не влияет на величину коэффициента λ , т.е. $\lambda = f(Re)$. Этот коэффициент зависит только от скорости потока и определяется по формуле Пуазейля (5.4)

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (5.4)$$

2. Гидравлически гладкие трубы ($4000 < Re < 10^5$). Поток состоит из турбулентного ядра и ламинарного пристеночного подслоя. Толщина ламинарного подслоя больше среднего значения абсолютной шероховатости. Поэтому коэффициент λ не зависит от относительной шероховатости, а зависит только от числа Re , т.е. $\lambda = f(Re)$. Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Блазиуса (5.5)

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (5.5)$$

3. Доквадратичная область (шероховатых труб) $10^5 < Re < 500d/kэ$.

Толщина ламинарного подслоя соизмерима с величиной значения абсолютной шероховатости. Отдельные выступы выходят за пределы ламинарного подслоя и влияют на сопротивление движению. Коэффициент гидравлического трения λ зависит как от числа Рейнольдса, так и от относительной шероховатости:

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{K_{\text{э}}}{d}\right). \quad (5.6)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Альтшуля (5.7).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (5.7)$$

4. Квадратичная (автомодельная) область ($\text{Re} > 500 \cdot d/K_{\text{э}}$) Развитый турбулентный режим. Толщина ламинарного слоя уменьшается по мере увеличения Re и намного меньше среднего значения абсолютной шероховатости. Поэтому коэффициент λ зависит только от относительной шероховатости $K_{\text{э}}/d$:

$$\lambda = f\left(\frac{K_{\text{э}}}{d}\right). \quad (5.8)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Шифрисона (5.9).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_{\text{э}}}{d} \right)^{0,25}. \quad (5.9)$$

Особо следует выделить область, соответствующую переходному режиму ($2300 < \text{Re} < 4000$). Для этой области характерна перемежающаяся турбулентность, т.е. постоянно происходит изменение структуры потока из ламинарной в турбулентную и обратно коэффициент Дарси λ можно определить по формуле Френкеля (5.10).

$$\lambda = \frac{2,7}{\text{Re}^{0,53}}. \quad (5.10)$$

5.3 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, уровень воды в котором поддерживается холостым сливом 2. Опытный участок трубопровода 4 длиной L , в котором в начальном и конечном сечениях установлены пьезометры 5 и 6. Из трубопровода через кран 3 вода поступает в мерную емкость 7 (рисунок 5.2).

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена в лабораторной работе №3 на рис.3.3.

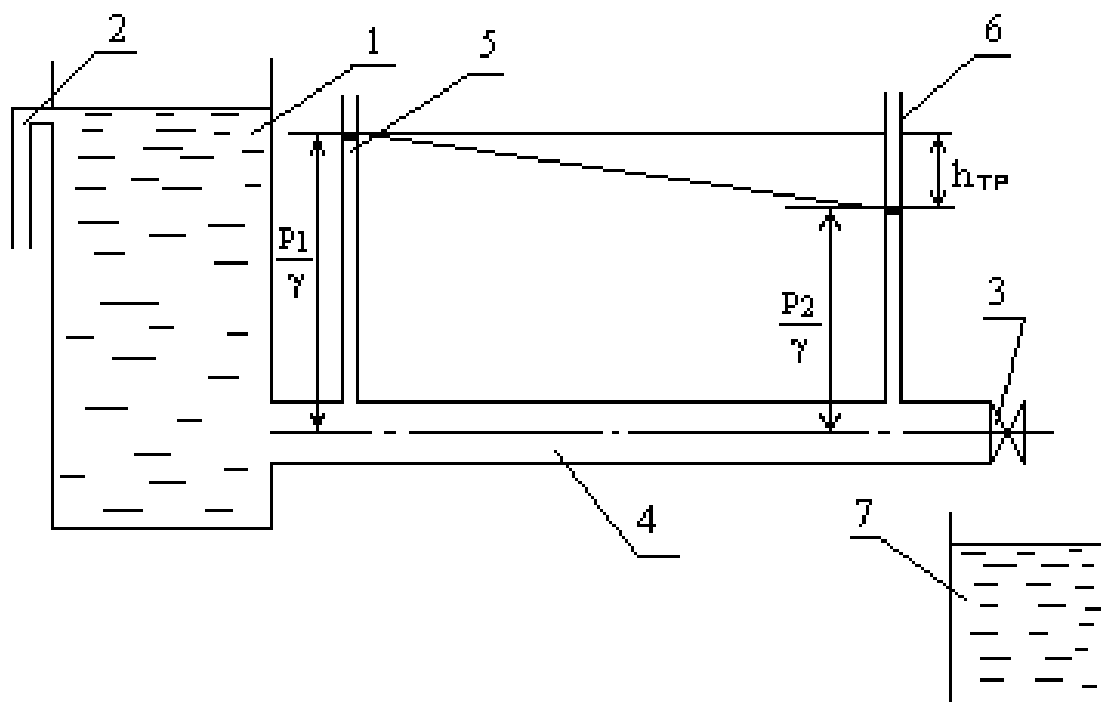


Рисунок 5.2 – Принципиальная схема лабораторной установки

5.2 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

5.3 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- устанавливается постоянный напор в питающем баке 1;
- открывается кран 3 в конце трубопровода – устанавливается

равномерный турбулентный режим движения;

– измеряется температура воды, определяется кинематический коэффициент вязкости;

– записываются показания пьезометров в начальном и конечном сечениях;

– объемным способом определяется расход Q , для чего измеряется время τ заполнения мерного бака некоторого объема V ;

– опыты повторяются 3 раза при различных расходах, расход меняется открытием крана 3;

– результаты заносятся в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Экспериментальные значения и результаты обработки опытных данных

Название измеренных вычисленных величин	Обозначение	Размерн ость	Опыты		
			1	2	3
Экспериментальные значения по результатам наблюдений					
Длина трубопровода	L	м			
Диаметр трубопровода	d	м			
Объем воды в мерном баке	V	м ³			
Температура воды	t	°С			
Время проведения опыта	τ	с			
Показания пьезометров	$\frac{p_1}{\gamma}$	см			
	$\frac{p_2}{\gamma}$	см			
Результаты обработки опытных данных					
Площадь сечения	$S = \frac{\pi d^2}{4}$	м ²			
Кинематический коэффициент вязкости	ν	м ² /с			

Расход воды	$Q = \frac{V}{\tau}$	м ³ /с			
Средняя скорость	$v = \frac{Q}{S}$	м/с			
Потери на трение	$h_{TP} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$	см			
Коэффициент трения	λ по ф-ле (5.3)	—			
Критерий Рейнольдса	$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$	—			

По результатам вычислений строят график $\lambda = f(Re)$ и определяют область сопротивления.

5.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости. К отчету прилагается график, выполненный на миллиметровой бумаге или ПК.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

5.7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Понятие о гладких и шероховатых трубах.
2. Влияние шероховатости и режима движения на коэффициент трения (графики Никурадзе).
3. Какие причины вызывают потери напора на трение?

4. Формула Дарси-Вейсбаха, обозначить входящие в нее величины.
5. Какие бывают области сопротивления при движении жидкости?
6. Понятие об экономически наивыгоднейшем диаметре трубопровода.
7. Классификация трубопроводов. Основные формулы для расчета трубопроводов.
8. Труба, по которой течет масло, имеет переменное сечение. Определить скорость во втором сечении, если скорость в первом сечении $v_1 = 0,05$ м/с; $d_1 = 0,2$ м; $d_2 = 0,1$ м.
9. По трубопроводу диаметром $d = 150$ мм перекачивается нефть плотностью $\rho = 800$ кг/м³ в количестве 1200 т в сутки. Определить секундный объемный расход нефти Q и среднюю скорость ее течения v .

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Определение местных потерь напора при установившемся турбулентном режиме движения жидкости

6.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

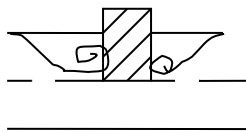
Найти численные значения коэффициента местного сопротивления ζ шарового крана в зависимости от степени его открытия, проведя серию экспериментов.

6.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

При движении реальной жидкости по трубопроводам, помимо потерь на трение по длине, могут возникнуть еще так называемые местные потери напора. Причиной этих потерь, например, в трубопроводах, являются различного вида конструктивные вставки, необходимость установки, которых вызывается условиями сооружения и эксплуатации трубопровода. К ним относятся: колена, тройники, вентили, сужения, расширения трубопроводов и т.д. Так, колено устанавливается в случае необходимости поворота трубопровода, тройник – для присоединения к основному трубопроводу ответвления, задвижка и вентиль – для изменения пропускной способности трубопровода.

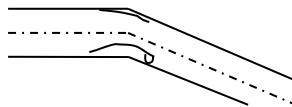
Конструктивные вставки изменяют живое сечение потока, что приводит к изменению скорости движения жидкости как по величине, так и по направлению, а также приводят к отрыву транзитной струи от стенок русла и возникновению вихреобразований.

Задвижка



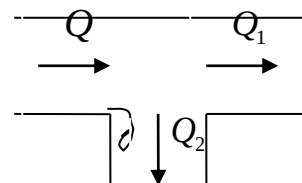
Вентиль

Колено



Сужение

Тройник
(разветвление потока)



Тройник

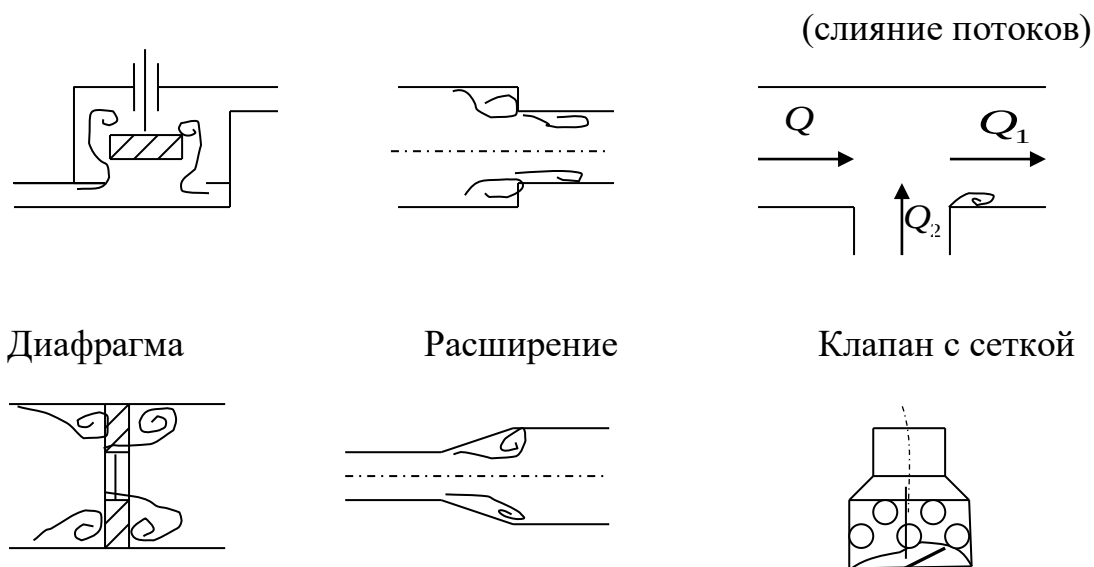


Рисунок 6.1 – Примеры местных гидравлических сопротивлений

При турбулентном режиме движения жидкости местные потери напора пропорциональны квадрату скорости и вычисляются по формуле Дарси (6.1).

$$h_M = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (6.1)$$

где ζ – безразмерный коэффициент местного сопротивления;

v – средняя скорость движения жидкости за местным сопротивлением, м/с.

Величина коэффициента ζ определяется опытным путем и зависит от характера и конструктивного оформления местного сопротивления и при турбулентном режиме движения практически не зависит от числа Рейнольдса. В общем случае значения коэффициента местных сопротивлений приводятся в справочниках.

6.3 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, уровень воды в котором можно поддерживать во время опыта постоянным, благодаря системе перелива 2.

Напорный бак соединен с опытным участком трубопровода 4, в котором в качестве местного сопротивления использован шаровой кран 6. Измерение расхода жидкости осуществляется с помощью мерной емкости 7. До и после крана устанавливается два пьезометра 5 для замера потерь

напора. На шаровом кране установлено измерительное приспособление, с помощью которого можно определить степень открытия крана (рисунок 6.2).

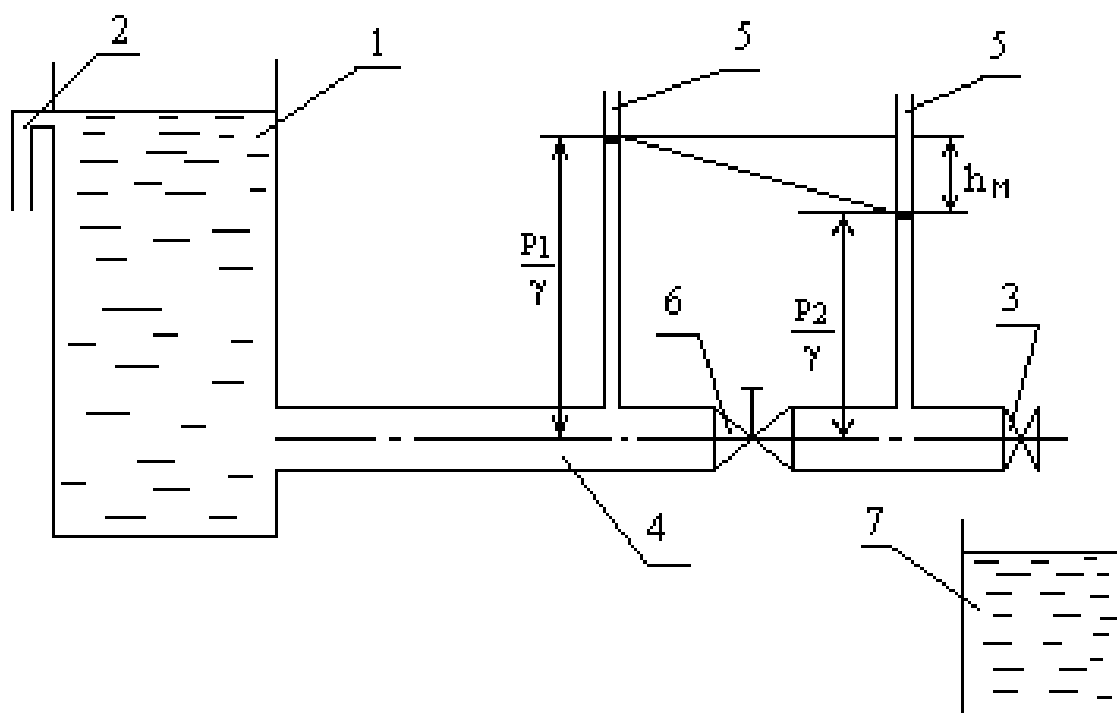


Рисунок 6.2 – Принципиальная схема лабораторной установки

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена в лабораторной работе №3 на рис.3.3.

6.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

6.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- открывают напорный кран 3 и при полностью открытом кране 6, устанавливают турбулентный режим движения жидкости;
- устанавливают определенную степень открытия крана 6 по измерительному приспособлению;

- записывают показания пьезометров до и после крана $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$,
замеряют объемным способом расход жидкости $Q = \frac{V}{\tau}$, для чего определяют
время заполнения τ мерного бака объемом V ;
- вычисляют среднюю скорость жидкости $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$, где d – внутренний
диаметр трубопровода;
- наблюдения и измерения повторяются при различных степенях
открытия крана,
- вычисляют значения напора местного сопротивления – шарового
крана по формуле (6.2)

$$h_M = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}, \text{ см} \quad (6.2)$$

- вычисляют коэффициент местного сопротивления по формуле (6.3)

$$\zeta = h_M \frac{2g}{v^2}, \quad (6.3)$$

- результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Экспериментальные значения и результаты обработки
опытных данных

Назначение измеренных и вычисленных величин	Обозначение	Размерн ость	Степень открытия шарового крана		
Экспериментальные значения по результатам наблюдений					
Показания пьезометров: первого второго	$\frac{p_1}{\gamma}$	м			
	$\frac{p_2}{\gamma}$	м			
Замеряемый объем жидкости	V	м ³			
Время наполнения мерной емкости	τ	с			
Результаты обработки опытных данных					
Потери напора	$h_M = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$	м			

Расход жидкости	$Q = \frac{V}{\tau}$	м ³ /с			
Средняя скорость движения	$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$	м/с			
Опытный коэффициент местного сопротивления	$\zeta_{on} = h_M \frac{2g}{v^2}$	—			

6.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

6.7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Формула Вейсбаха, обозначить входящие в нее величины.
2. Виды гидравлических сопротивлений. Сложение потерь напора.
3. Местные сопротивления. Причина местных потерь напора.
4. Основные задачи при расчете и проектировании трубопроводов.
5. Простой трубопровод. Расчет простого гидравлически короткого трубопровода.
6. Сложный трубопровод. Расчет сложного трубопровода (последовательное и параллельное соединение).
7. Расчет сложного трубопровода (сложное соединение).
8. Гидравлический удар в трубопроводе.

9. По полностью затопленному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью $v = 0,2$ м/с. Определить расход жидкости Q , если гидравлический радиус равен $R = 0,015$ м.

10. По трубопроводу диаметром $d = 100$ мм транспортируется нефть. Определить критическую скорость, соответствующую переходу ламинарного движения жидкости в турбулентное. Коэффициент кинематической вязкости принять равным $\nu = 8,1 \cdot 10^{-6}$ м²/с, критическое значение числа Рейнольдса – $Re_{кр} = 2300$.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Определение коэффициентов истечения для отверстия и насадков

7.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Определить по опытным данным коэффициент скорости, расхода, сжатия при истечении из круглого отверстия в тонкой стенке и насадков. Сравнить значения полученных коэффициентов со справочными данными.

7.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Малыми отверстиями называются такие, при истечении через которые скорость движения жидкости во всех точках живого сечения струи и плоскости отверстия можно считать практически одинаковой.

Отверстие считается круглым малым, если соблюдается неравенство (7.1), и квадратным малым, если – (7.2).

$$d \leq 0,1 H, \quad (7.1)$$

$$a \leq 0,1 H, \quad (7.2)$$

где d – диаметр отверстия, м,

H – напор над центром тяжести отверстия, м,

a – сторона квадрата, м.

Насадком называется короткая труба, геометрически присоединенная к отверстию в тонкой стенке, для которой соблюдается равенство (7.3).

$$l = (3 \div 5) d, \text{ м.} \quad (7.3)$$

где l – длина насадка, м,

d – диаметр насадка, м.

Наиболее распространенными в практике являются: цилиндрические, конические и коноидальные. Цилиндрические разделяются на внешние (насадок Вентури) и внутренние (насадок Борда); конические насадки могут быть сходящимися и расходящимися.

При истечении жидкости из резервуара через отверстия и насадки потенциальная энергия жидкости преобразуется в кинетическую энергию струи, частично расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений.

Струя, вытекающая из отверстия, сжимается, и на некотором расстоянии от него сечение струи минимальное. Это сечение называется сжатым сечением ω_c . Отношение площади сжатого сечения ω_c к площади отверстия ω_o называется коэффициентом сжатия ε , рассчитываемое по уравнению (7.4).

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega_o}. \quad (7.4)$$

Сжатие струи вызвано инерцией частиц жидкости, подходящих к отверстию из резервуара по различным направлениям, в том числе по радиальным или близким к ним.

При истечении из насадков струя тоже сжимается, но это сжатие происходит внутри насадка, а на выходе из насадка струя заполняет все его сечение, то есть коэффициент сжатия $\varepsilon \approx 1$.

Для определения скорости при истечении жидкости через незатопленное отверстие в тонкой стенке используется уравнение Бернулли, написанное для двух сечений. Одно выбирается на свободной поверхности жидкости, другое – в сжатом сечении струи относительно плоскости сравнения, проходящей через центр тяжести отверстия.

$$H_0 + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_c}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (7.5)$$

где H_0 – геометрический напор, м,

p_0 , p_c – давление на свободной поверхности жидкости в резервуаре и давление среды, в которую происходит истечение, Па,

v – скорость в сжатом сечении, м/с,

ζ – коэффициент сопротивления входа.

Из уравнения найдем скорость жидкости по формуле (7.6)

$$v = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} \cdot \sqrt{2gH}, \text{ м/с}, \quad (7.5)$$

где $H = H_0 + \frac{p_0 - p_c}{\rho g}$ – действующий напор, м.

Величину $\sqrt{\frac{1}{1+\zeta}}$ называют коэффициентом скорости и обозначают φ .

Таким образом, коэффициент скорости φ определяется по уравнению (7.6).

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} = \frac{v}{\sqrt{2gH}}. \quad (7.6)$$

Следовательно, коэффициент скорости φ представляет собой отношение действительной скорости истечения v к скорости истечения идеальной жидкости $(\sqrt{2gH})$.

Для насадка коэффициент скорости вычисляется по уравнению (7.7).

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta+\zeta_{BP}+\lambda\frac{l}{d}}}. \quad (7.7)$$

где ζ_{BP} – коэффициент внезапного расширения от сжатого сечения до полного сечения насадка,

λ – коэффициент гидравлического трения,

l – длина насадка, м,

d – диаметр насадка, м.

Произведение коэффициентов сжатия и скорости называют коэффициентом расхода $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$. Он также определяется выражением (7.8).

$$\mu = \frac{Q}{\omega_o \sqrt{2gH}} = \frac{Q}{Q_T}. \quad (7.8)$$

Коэффициент расхода μ представляет собой отношение действительного расхода Q к расходу идеальной жидкости Q_T , который находится по уравнению (7.9).

$$Q_T = \omega_o \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.9)$$

Отсюда можно видеть, что $\mu < 1$. Величина μ зависит главным образом от степени сжатия струи (значение коэффициента φ близко к единице), которая в свою очередь зависит от расположения отверстия относительно боковых стенок и дна сосуда.

В зависимости от удаления отверстия от боковых стенок и дна сосуда

различают типы сжатия струи: совершенное, несовершенное, полное, неполное. Наибольшее по величине сжатие струи получается в случае совершенного сжатия, когда отверстие расположено достаточно далеко от боковых стенок и дна сосуда.

Расход через отверстие или насадок определяется по формуле (7.10).

$$Q_r = \mu \omega_o \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.10)$$

7.3 АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Опытная установка состоит из напорного бака 1 с боковым отверстием, отводящего лотка 2, мерного бака 3, набором сменных насадков 5, стекла 4 со шкалами для отсчета координат точек струи.

Напорный бак наполняется из водонапорной трубы 6 до постоянного уровня H . Этот уровень поддерживается в процессе опыта при помощи холостого слива 7 (рисунок 7.1).

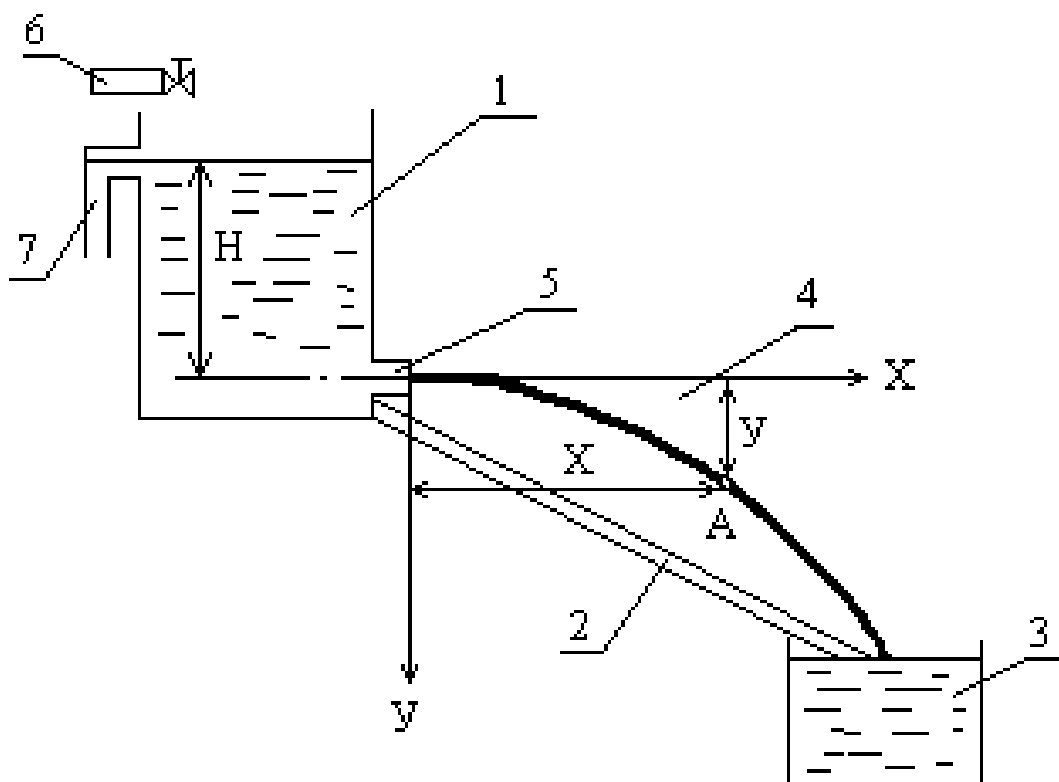


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема лабораторной установки

7.4 УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно

Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

7.5 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Устанавливается отверстие или насадок в гнезде напорного бака. Открывается пробка отверстия или насадка, и поддерживается постоянный уровень воды в напорном баке, после чего производят следующие замеры:

- продолжительности τ заполнения водой некоторого объема V ;
- координат X и Y траектории вытекающей струи в любой точке, по которым рассчитывают действительную скорость истечения воды через отверстие или насадок;

- напора жидкости, по водомерному стеклу или переливу.

Диаметр отверстия или насадка измеряют перед началом опыта. Данные заносятся в таблицу 7.1.

Производится обработка полученных данных, и подсчитываются относительные отклонения опытных коэффициентов от справочных.

Таблица 7.1 – Обработка результатов опытов

Величина	Обозначение	Единица измерения	Тип отверстия или насадка		
Диаметр входного отверстия	d	мм			
Напор жидкости	H	см			
Продолжительность опыта	τ	с			
Объем жидкости	V	см ³			
Координаты точки струи	X	см			
	Y	см			
Площадь отверстия	$S = \frac{\pi d^2}{4}$	см ²			
Скорость опытная	$v = X \left(\frac{g}{2Y} \right)^{0,5}$	см/с			
Скорость теоретическая	$v_t = \sqrt{2gH}$	см/с			

Расход опытный	$Q = \frac{V}{\tau}$	см ³ /с			
Расход теоретический	$Q_T = v_T S$	см ³ /с			
Коэффициент скорости	$\varphi = \frac{v}{v_T}$	—			
Коэффициент расхода	$\mu = \frac{Q}{Q_T}$	—			
Коэффициент сжатия	$\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}$	—			
Относительные отклонения	$\Delta\mu = \frac{\mu_{СПР} - \mu_{ОП}}{\mu_{СПР}}$	—			
	$\Delta\varphi = \frac{\varphi_{СПР} - \varphi_{ОП}}{\varphi_{СПР}}$	—			

7.6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

7.7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Классификация отверстий и насадков. Структура потока в различных насадках.

2. Параметры и коэффициенты характеризующие истечение жидкостей из отверстий и насадков.

3. Истечение через малое отверстие в тонкой стенке.
4. Моделирование, основные понятия. Подобие.
5. Теоремы подобия.
6. Классификация гидромашин.
7. Основные энергетические параметры насосов.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

**Изучение устройства и определение характеристик
редукционного клапана****8.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ**

Научиться практически снимать гидравлические характеристики – потери давления по длине трубы и на местных сопротивлениях (гидроаппаратах) Δp в зависимости от расхода жидкости Q на примере гидродросселя.

8.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Гидродроссель – это местное гидравлическое сопротивление, предназначенное для снижения давления в потоке рабочей жидкости (рис.8.1).



Рис. 8.1 – Гидродроссель

Гидродроссель – регулируемое местное сопротивление, при этом поток жидкости, проходящий через него, не влияет на величину проходного сечения.

Одними из наиболее часто используемых являются щелевые (крановые) гидродроссели (рис. 8.2). В дросселях такого типа изменение площади проходного сечения осуществляется поворотом на некоторый угол запорно-регулирующего элемента (крана). При высоких давлениях в системе

для поворота крана приходится прилагать значительные усилия, что является недостатком такого дросселя.

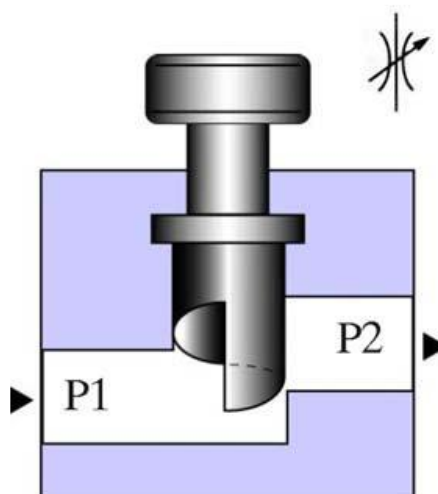


Рис. 8.2 – Щелевой (крановый) гидродроссель

Падение давления рабочей жидкости в дросселе определяется по формуле (8.1).

$$\Delta p_{др} = \frac{\rho}{2 \cdot \mu_{др}^2 \cdot S_{др}^2} \cdot Q^2, \text{ Па}, \quad (8.1)$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³,

$S_{др}$ – площадь проходного сечения дросселя, м²,

Q – объемный расход, м³/с,

$\mu_{др}$ – коэффициент расхода дросселя (определяется экспериментально).

Как видно, падение давления пропорционально квадрату расхода, поэтому такие дроссели часто называют квадратичными. График данной зависимости называется характеристикой гидродросселя.

По техническим причинам в лабораторной работе снимается совместная характеристика дросселя и трубопровода, на котором он установлен. Тем не менее, падением давления, обусловленным действием силы трения в трубопроводах, можно пренебречь, поскольку в нашем случае оно существенно меньше $\Delta p_{др}$.

Задание

Опытным путем снять суммарную гидравлическую характеристику трубопровода и установленного на нем дросселя. С этой целью:

- собрать гидросхему на испытательном стенде;
- провести измерения;
- построить гидравлическую характеристику (график зависимости $\Delta p = f(Q)$) трубопровода с установленным на нем дросселем.

Сделать выводы о степени соответствия экспериментальной характеристики теоретической зависимости.

Порядок выполнения работы

Соберите на стенде схему испытаний согласно рис. 8.3. Включите насосную станцию. Закройте полностью переливной клапан 3. Регулировочным краном дросселя 4 установите давление $P_2 = 35 - 40$ бар.

С помощью регулировочного винта клапана 3 установите давление $P_2 = 10$ бар и, используя секундомер и мерный бак, определите расход. Для этого одновременно закройте кран 2 и включите секундомер. Определите время поступления в мерный бак двух литров масла. При этом зафиксируйте величины давлений P_2 и P_3 . Результаты измерений занесите в таблицу 8.1.

Далее регулировочным винтом клапана 3 поднимите давление на 5 бар и вновь определите расход. Опыты проводятся до давления $P_2 = 35$ бар включительно.

После выполнения всех измерений постройте график зависимости $\Delta p = f(Q)$, имея в виду, что при нулевом расходе $\Delta p = 0$. Убедитесь, что Δp пропорционально квадрату расхода, что характерно для местных гидравлических сопротивлений. Это можно сделать, например, с помощью программы MS Excel, построив соответствующую линию тренда (рис. 8.4, 8.5).

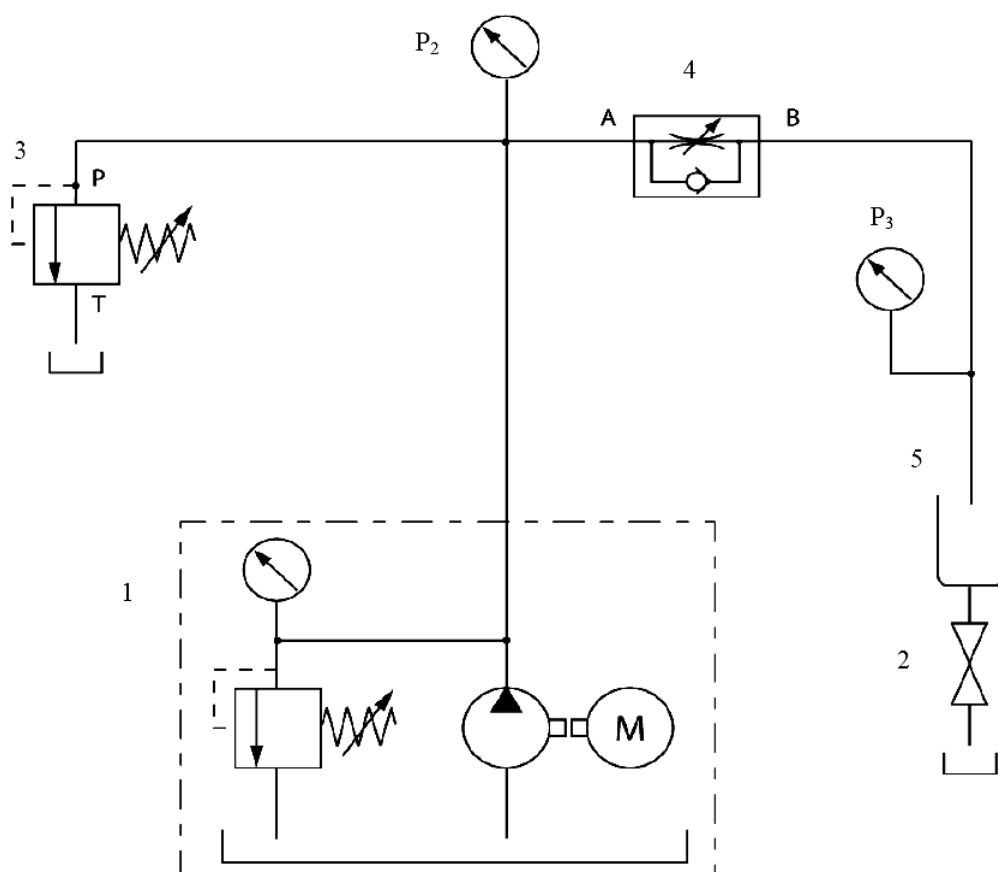


Рис. 8.3 – Гидравлическая схема: 1 – насосная станция; 2 – кран мерного бака, 3 – переливной клапан, 4 – дроссель с обратным клапаном, 5 – мерный бак

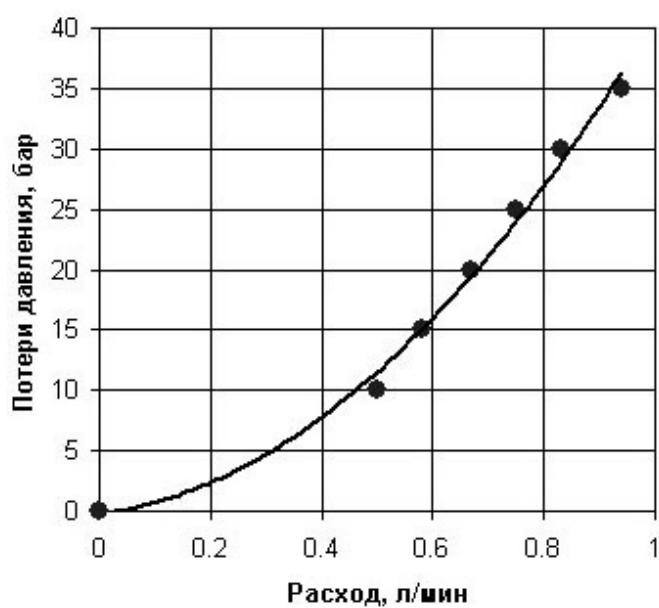


Рис. 8.4 – Экспериментальный график зависимости $\Delta p = f(Q)$ для трубопровода с установленным на нем гидродросселем

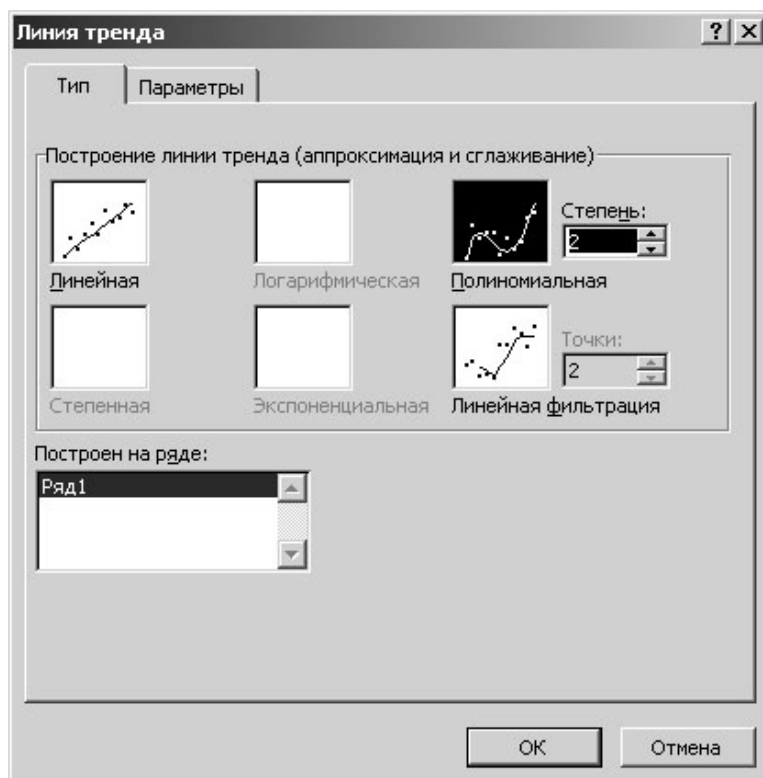


Рис. 8.5 – Выбор типа линии тренда в программе MS Excel

Таблица 8.1 – Результаты измерений

P2, бар	10	15	20	25	30	35
t, сек (объем W=2 л)						
$Q=W/t$, л/с						
P3, бар						
ΔP , бар						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Гидродроссель.
 2. Формула определения падения давления рабочей жидкости в гидродресселе.
 3. Характеристика гидродресселя.
 4. Методика выполнения лабораторной работы.
- Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

**Изучение устройства и определение характеристик
напорных гидроклапанов**

9.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Научиться практически снимать гидравлические характеристики напорных клапанов.

9.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Напорными называются гидроклапаны, ограничивающие давление в подводимом к ним потоке рабочей жидкости. К ним относятся предохранительные и переливные клапаны (рис. 9.1).

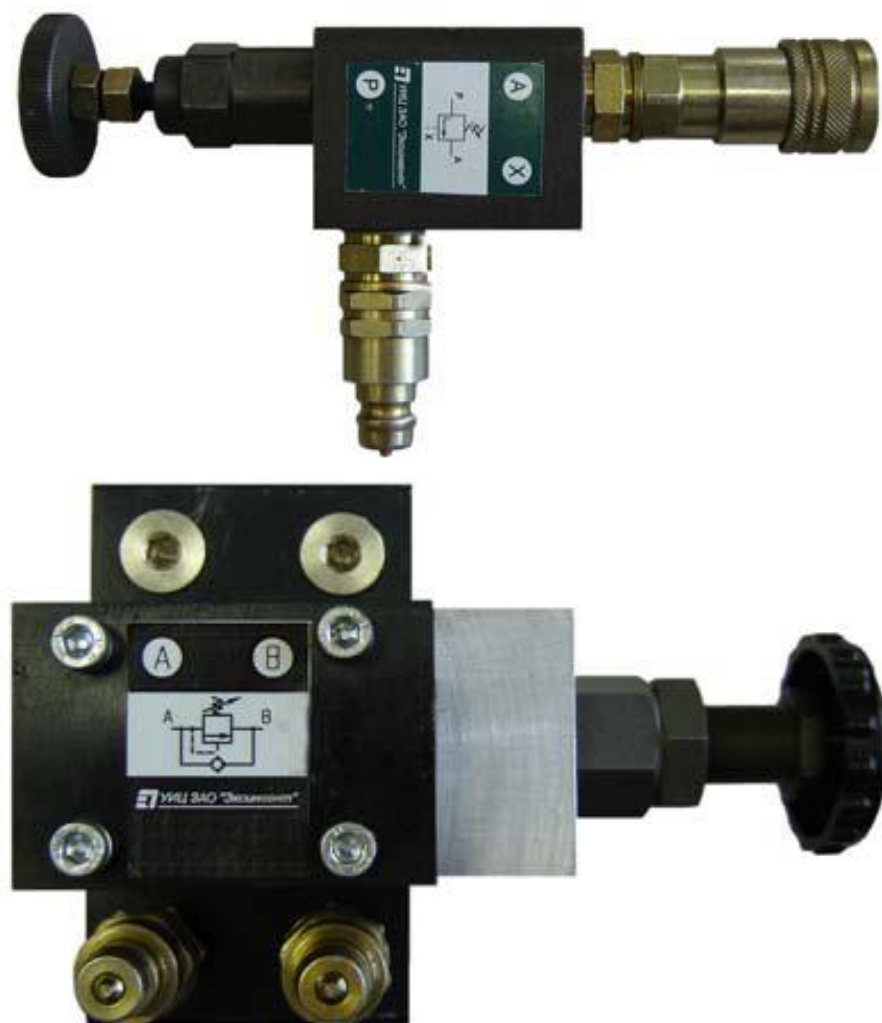


Рис. 9.1 – Напорные гидроклапаны

Предохранительными называются клапаны, предохраняющие гидропривод от давления, превышающего допустимое. Основным требованием, предъявляемым к ним, является надежность срабатывания. Таким образом, их конструкция должна исключать вероятность заклинивания запорно-регулирующего элемента. На рис. 9.2 показан предохранительный клапан с конусным запорно-регулирующим элементом.

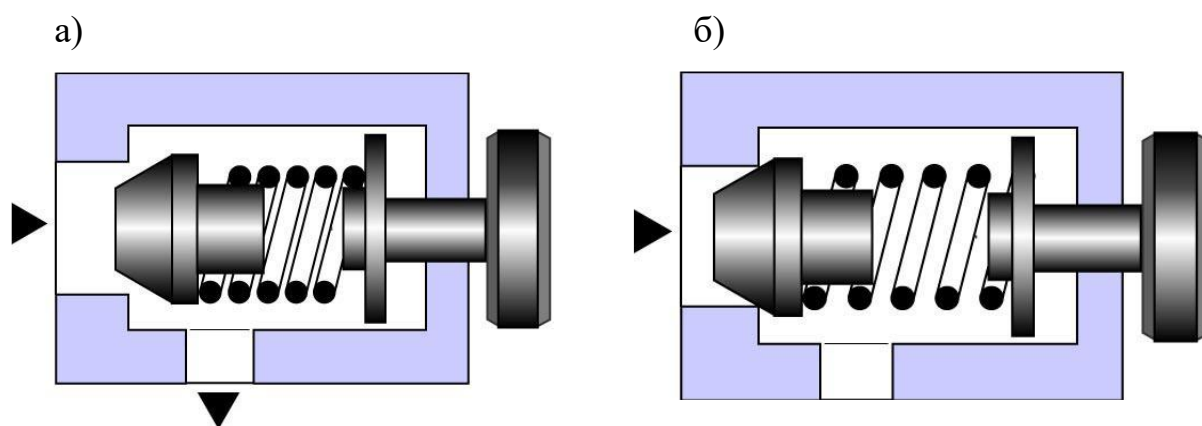


Рис. 9.2 – Принцип работы предохранительного клапана с коническим запорно-регулирующим элементом

Пока давление в системе (на входе) меньше давления настройки, задающегося предварительным поджатием пружины, клапан закрыт (рис. 9.2 а). Превышение давления свыше давления настройки приводит к открытию клапана (рис. 9.2 б).

Недостатком такого клапана является то, что при частых срабатываниях запорно-регулирующий элемент может потерять форму или разбить седло.

Переливные клапаны предназначены для поддержания заданного давления за счет непрерывного слива части потока рабочей жидкости. Обычно переливные клапаны постоянно работают в неустановившемся режиме. Для снижения вероятности их поломки в качестве запорно-регулирующего элемента используют золотник (рис. 9.3).

Принцип работы таких клапанов аналогичен рассмотренному выше. Пока давление на входе меньше давления настройки, задающегося предварительным поджатием пружины, клапан закрыт (рис. 9.3 а).

Превышение давления свыше давления настройки приводит к смещению золотника вправо и к открытию клапана (рис. 9.3 б).

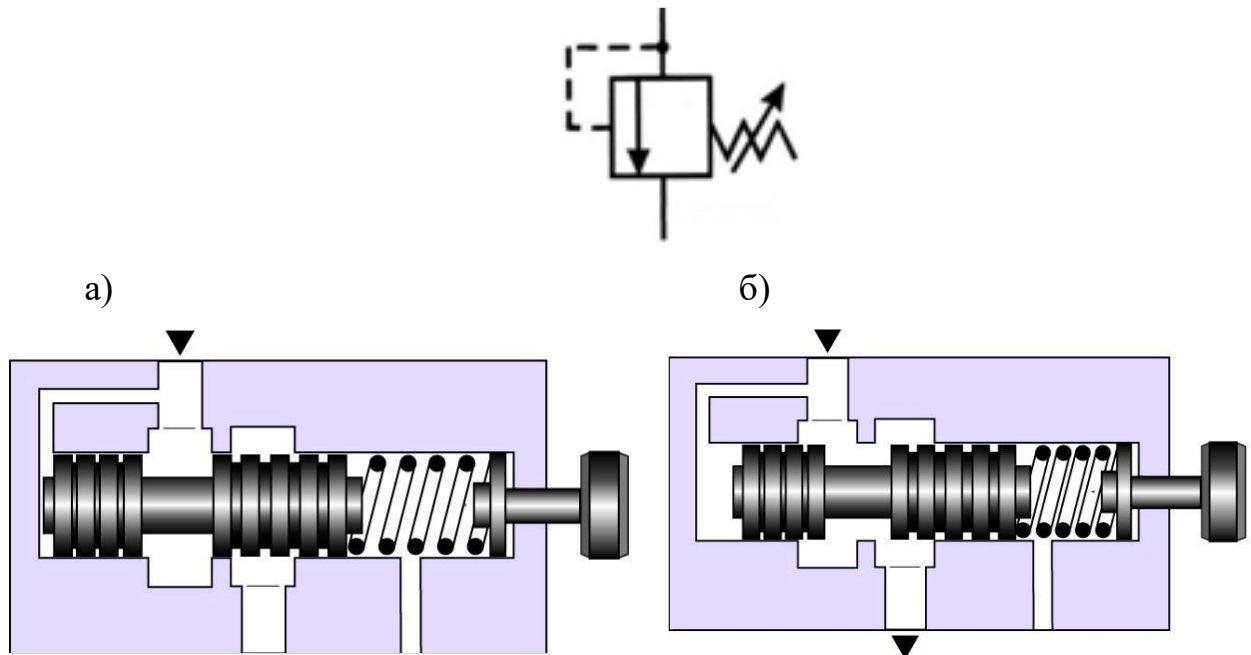


Рис. 9.3 – Принцип работы напорного клапана прямого действия с золотниковым запорно-регулирующим элементом

Зависимость давления P на входе в клапан от расхода через него Q при некоторых допущениях описывается формулой (9.1).

$$P = P_{кл} + KQ, \text{ Па}, \quad (9.1)$$

где $P_{кл}$ – давление срабатывания клапана,

Q – объемный расход жидкости, протекающей через напорный гидроклапан, $\text{м}^3/\text{с}$,

K – коэффициент, зависящий от жесткости пружины и диаметра золотника клапана. Уменьшение коэффициента K способствует увеличению точности поддержания заданного давления, но связано с усложнением конструкции клапана.

Наиболее совершенными характеристиками (по форме), габаритным размерам и герметичности являются переливные клапаны непрямого действия (рис. 9.4). Клапан работает следующим образом. Если давление на входе не превышает давления настройки, которое задается правой пружиной (рис. 9.4, а), то оба клапана закрыты. Если давление превысит давление

настройки вспомогательного (конического) клапана, то он откроется (рис. 9.4, б.)

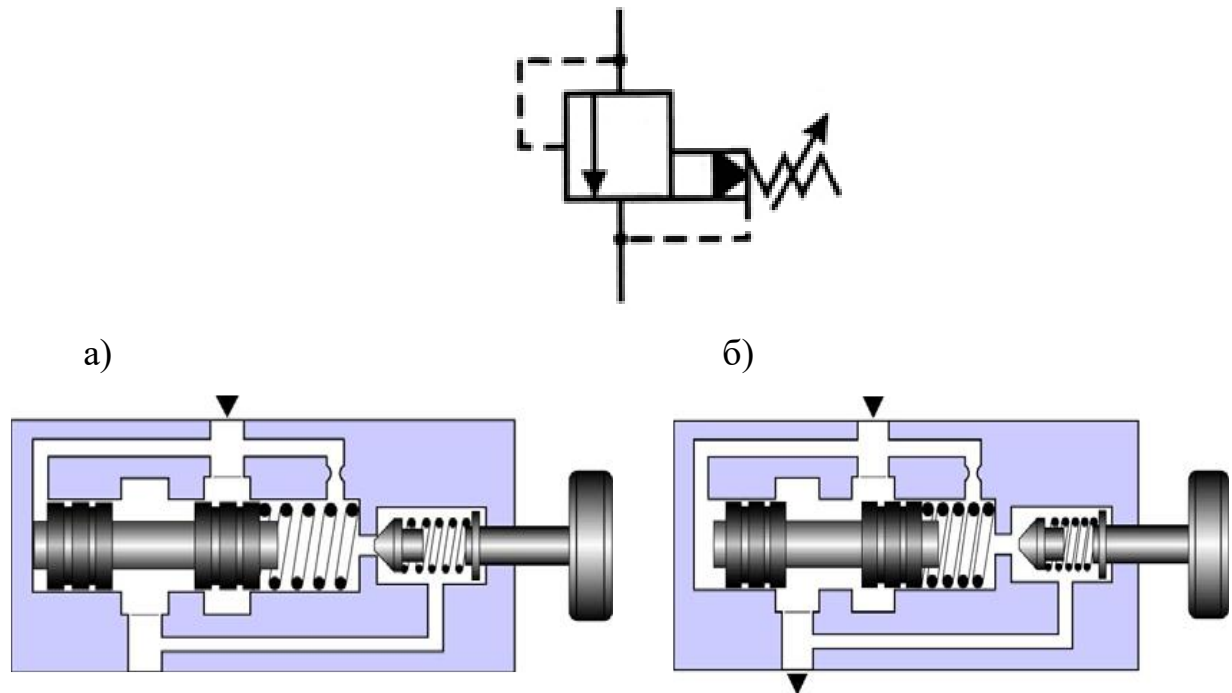


Рис. 9.4 – Принцип работы напорного клапана непрямого действия

На дросселе клапана возникнет перепад давления, вследствие чего основной золотниковый запорно-регулирующий элемент переместится вправо для слива части рабочей жидкости.

Задание

Опытным путем снять характеристику напорного клапана (тип клапана указывает преподаватель).

С этой целью:

- собрать гидросхему на испытательном стенде;
- провести измерения;
- построить гидравлическую характеристику напорного клапана;
- определить давление срабатывания клапана.

Сделать выводы о степени соответствия экспериментальной характеристики теоретической зависимости.

Обычно в гидросистемах присутствуют минимум два напорных клапана. В нашем случае клапан 7 установлен на насосной станции и предохраняет систему от разрушения при превышении давления выше некоторого предельно допустимого значения. Переливной клапан 4 задает рабочий уровень давления.

Эти клапаны могут иметь одинаковую конструкцию, а отличаться только уровнем настройки рабочего давления.

После сборки и проверки схемы пружину напорного клапана 4 с помощью регулировочного винта следует отпустить до минимума. Дроссель 3 полностью закрыть. Далее при позиции гидрораспределителя 6, указанной на схеме, нужно включить насосную станцию и регулировочным винтом напорного клапана 4 выставить давление $P_1=50$ бар (давление настройки клапана). В этом случае весь расход масла будет направлен на слив. Далее дроссель 3 нужно полностью открыть.

Измерения выполняются при давлениях P_1 , указанных в таблице 9.1. Эти значения P_1 устанавливаются путем постепенного закрытия дросселя 3.

Для измерения расхода следует закрыть сливной кран 2 мерной емкости 5, переключить распределитель 6 на 20 с и зафиксировать объем масла. При каждом давлении P_1 эти измерения проводятся три раза. Сложив замеренные объемы, получим суммарный объем, численно равный расходу масла Q , л/мин.

В ходе экспериментов необходимо установить давление, при котором клапан начнет открываться. Для это достаточно зафиксировать момент начала истечения масла в мерную емкость при плавном повышении давления P_1 .

По результатам измерений постройте характеристику клапана, примерный вид которой показан на рис. 9.6. Укажите на ней давление срабатывания клапана.

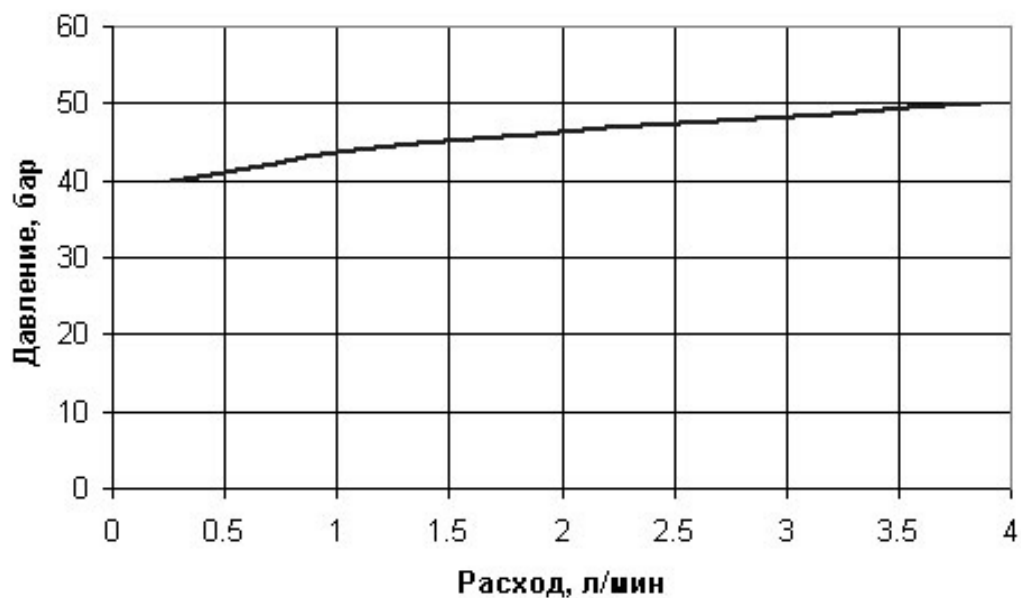


Рис. 9.6 – Примерный вид характеристики клапана

Таблица 9.1 – Результаты измерений

Р1, бар	35	40	45	50
Объем за 20 с. W1, л				
Объем за 20 с. W2, л				
Объем за 20 с. W3, л				
$Q=W1+W2+W3$, л/мин				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Напорные гидроклапаны, их классификация.
2. Предохранительные гидроклапаны. Принцип работы.
3. Переливные гидроклапаны прямого действия. Принцип работы.
4. Переливной клапан непрямого действия. Принцип работы.
5. Методика выполнения лабораторной работы.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

**Изучение устройства и определение характеристик
двухлинейного регулятора расхода**

10.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Познакомиться с работой двухлинейного регулятора расхода жидкости, снять его гидравлические характеристики:

- при постоянном давлении на входе в него и меняющемся давлении в выходном канале;
- при переменном давлении на входе и постоянном давлении на выходе.

10.2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Регулятор расхода – это гидроаппарат, предназначенный для поддержания постоянного расхода проходящей через него жидкости вне зависимости от изменения давления в системе (рис. 10.1).

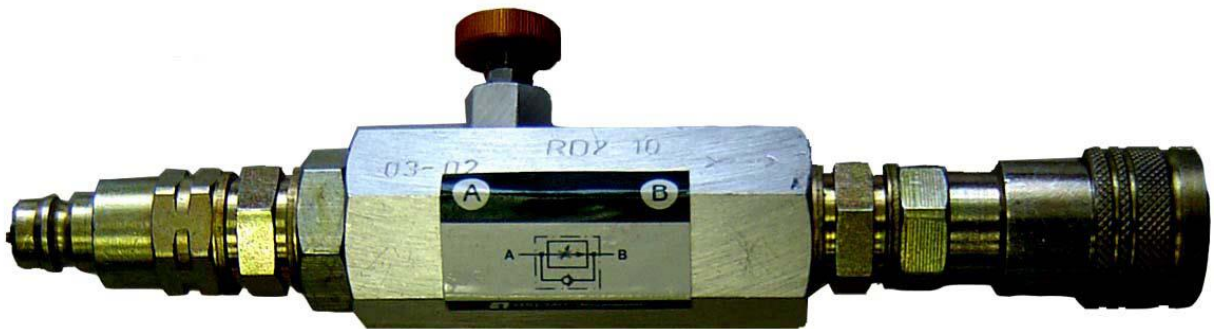


Рис. 10.1 – Двухлинейный регулятор расхода

Принцип работы регулятора заключается в поддержании постоянного перепада давления на входящем в его состав дросселе (рис. 10.2). Допустим, что при некотором расходе и давлениях P_1 , P_2 ($P_1 > P_2$) золотник регулятора находится в равновесии (рис. 10.2, а).

Предположим, что давление на выходе регулятора уменьшилось, а на входе не изменилось. Это приводит к увеличению перепада давления на дросселе регулятора ($P_1 - P_2$) и к увеличению расхода. Равновесие золотника

нарушается, и он перемещается вправо (рис. 10.2, б). Проходное сечение выходного окна регулятора частично перекрывается, давление P_2 увеличивается, а расход – уменьшается. Золотник занимает новое положение равновесия.

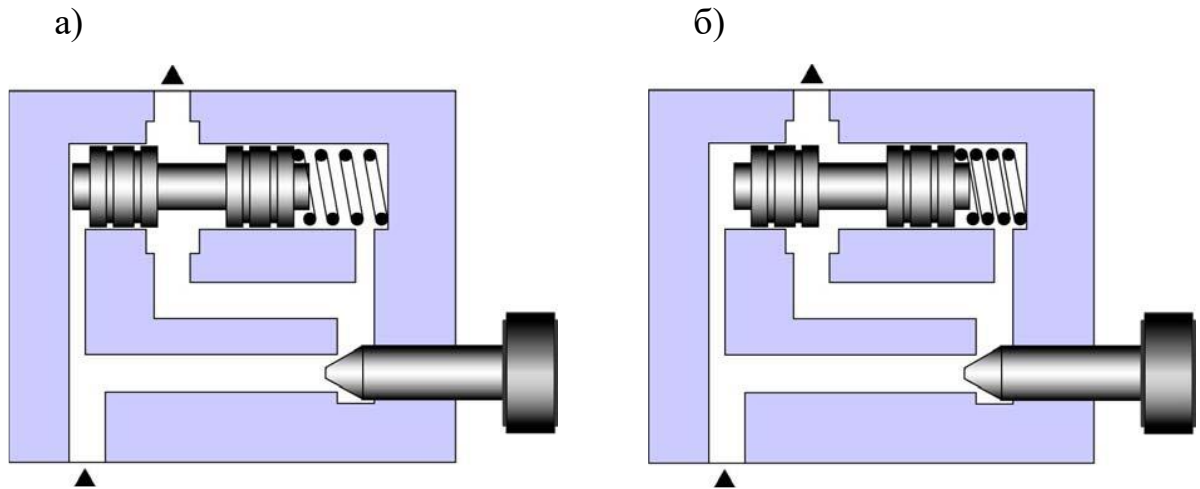


Рис. 10.2 – Принцип работы двухлинейного регулятора расхода

Задание

Опытным путем снять характеристики регулятора расхода.

С этой целью:

- собрать гидросхему на испытательном стенде;
- провести измерения;
- построить гидравлические характеристики регулятора расхода.

Порядок выполнения работы

Соберите на стенде схему испытаний согласно рис. 10.3. Примите во внимание, что используемый нами регулятор снабжен обратным клапаном.

Выполните предварительную настройку. При полностью закрытом дросселе 5 необходимо настроить переливной клапан 3 на 50 бар. Полностью откройте дроссель 5 и с помощью регулятора расхода 4 установите расход в диапазоне от 1,5 до 2,3 л/мин. Это важно с точки зрения попадания в рабочую зону характеристики регулятора. Измерение расхода проводится с помощью мерного бака 6 и секундомера. С этой целью можно, например, фиксировать объем масла, поступающий в бак за 20 с при закрытом кране 2. Для получения минутного расхода замеренный объем умножается на три.

В первой серии опытов имитируется переменная нагрузка на гидроаппарат. При этом давление P_1 не изменяется, а давление P_2 с помощью дросселя 5 последовательно увеличивается от нуля до 50 бар. При каждом значении давления P_2 измеряется расход. Результаты измерений заносятся в табл. 10.1. По результатам измерений строится график $Q=f(P_2)$.

Во второй серии опытов имитируются колебания давления в сети. С этой целью значение давления P_2 дросселем 5 поддерживается равным 10 бар, а давление P_1 с помощью переливного клапана 3 постепенно увеличивается с 15 до 50 бар. При каждом значении давления P_1 измеряется расход. Результаты измерений заносятся в табл. 10.2. По результатам измерений строится график $Q=f(P_1)$.

В ходе работы вы должны убедиться, что регулятор расхода действительно поддерживает постоянный расход (в пределах точности его измерения) независимо от изменения давления, как перед ним, так и за ним (рис. 10.4, 10.5).

Обратите внимание на снижение расхода через регулятор при разности давлений менее 10 бар. Предлагаем вам самостоятельно объяснить причину этого явления и отразить ее в выводах.

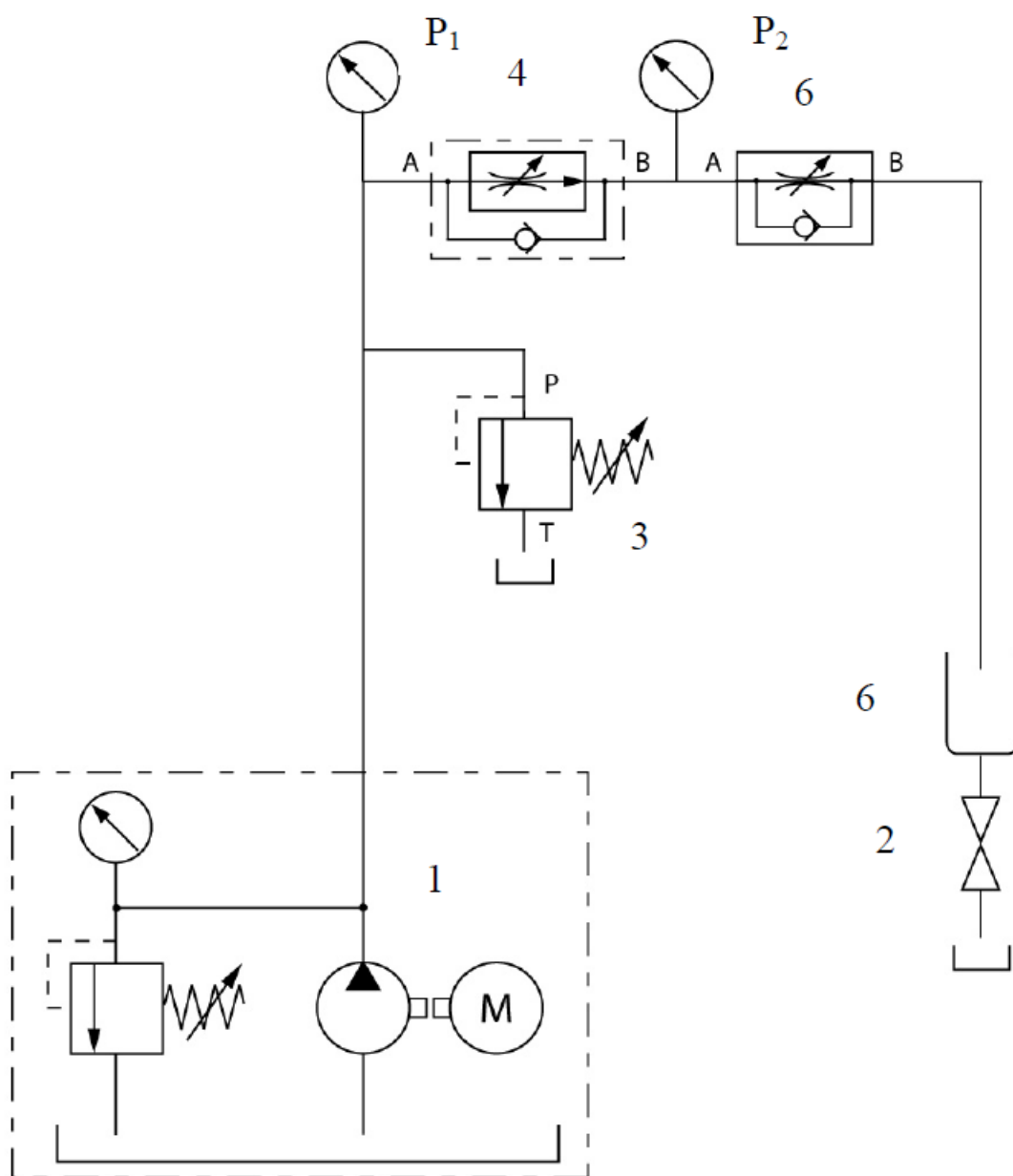


Рис. 10.3 – Гидравлическая схема: 1 – насосная станция, 2 – кран мерного бака, 3 – переливной клапан, 4 – регулятор расхода, 5 – дроссель, 6 – мерный бак

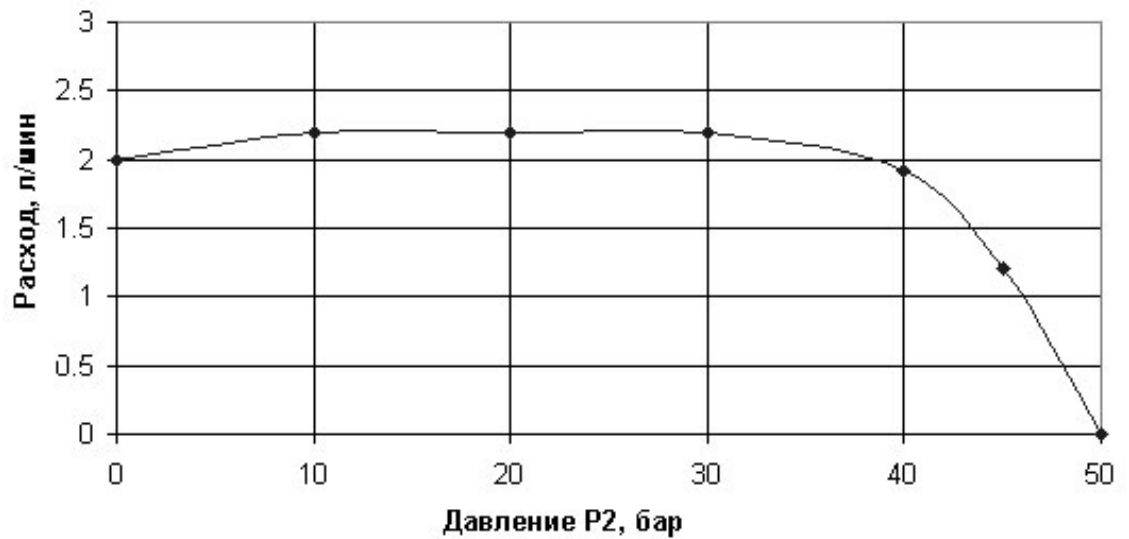


Рис. 10.4 – Характеристика регулятора расхода при переменной нагрузке (давление на входе P1= 50 бар)

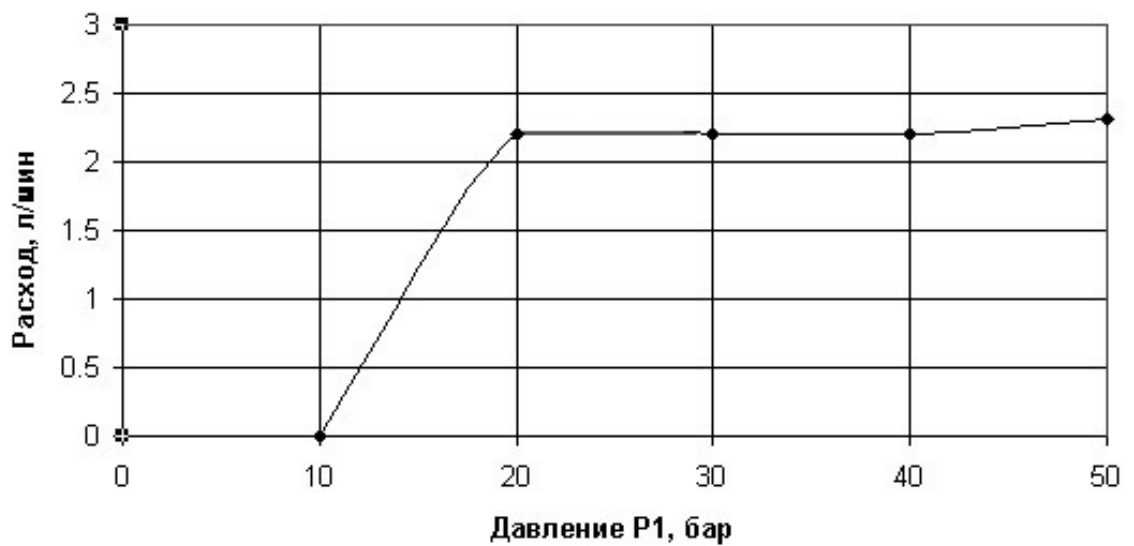


Рис. 10.5 – Характеристика регулятора расхода при изменении давления в сети (давление на выходе P2= 10 бар)

Таблица 10.1 – Результаты измерений при переменном давлении на выходе $P_1=50$ бар

P_2 , бар	P_1-P_2 , бар	Объем за 20 с	Расход Q , л/мин
0			
10			
20			
30			
40			
45			
50			

Таблица 10.2 – Результаты измерений при переменном давлении на входе $P_2=10$ бар

P_1 , бар	P_1-P_2 , бар	Объем за 20 с	Расход Q , л/мин
15			
20			
25			
30			
40			
50			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Регулятор расхода. Принцип работы.
2. Методика выполнения лабораторной работы.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛИТЕРАТУРА

1 Основная учебная литература

1. Артемьева, Т.В. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач. / Т.В. Артемьева. – М.: Академия, 2013.
2. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н. Бухаркин, В.М. Овсянников, К.С. Орлов и др.; Под ред. Ю.П. Соснина. – М.: Высшая школа, 2013.
3. Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учебное пособие для вузов/ В.И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков. – М.: Стройиздат, 2013.
4. Метревели, В.Н. Сборник задач по курсу гидравлики с решениями: Учеб. Пособие для вузов / В.Н. Метревели. – М.: Высш. шк., 2014. – 192 с.

2 Дополнительная литература

1. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1982г. – 423 с.
2. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Примеры расчетов по гидравлике. – М.: Стройиздат, 1976. – 256с.
3. Константинов М.П., Петров Н.А., Александров В.А. Примеры гидравлических расчетов. – М.: Транспорт, 1987. – 440с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания к практическим работам
по дисциплине «Гидрогазодинамика»
для студентов направления 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Ставрополь, 2026 г.

Содержание

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1 Плотность жидкостей. Сжимаемость и температурное расширение жидкостей. Капиллярность

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2 Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Виды гидростатического давления.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3 Сила давления жидкости на плоскую и криволинейную стенку

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4 Закон Архимеда. Плавание тела

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5 Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6 Режим течения жидкости в трубах

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7 Гидравлические потери

ПРИЛОЖЕНИЯ А

ПРИЛОЖЕНИЯ Б

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

Тема. Плотность жидкостей. Сжимаемость и температурное расширение жидкостей. Капиллярность

1 ЦЕЛЬ.

На примере решения задач определить плотность жидкостей, сжимаемость и температурное расширение жидкостей, капиллярность.

2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ИЛИ ИХ ЧАСТИ

Выполнение практической работы способствует формированию у студентов следующих компетенций:

ПК – 6 Быть готовым к проектированию, выбору и эксплуатации оснастки машиностроительного производства;

ПК – 8 Быть готовым выбирать, проектировать и эксплуатировать средства автоматизации машиностроительного производства

ПК – 9 Быть способным к проведению диагностики, регламентному обслуживанию, ремонту и эксплуатации оборудования машиностроительного производства.

1.1 Теоретическая часть

Гидравлика – наука, изучающая законы равновесия и механического движения жидкостей и разрабатывающая методы применения этих законов для решения различных прикладных задач.

Жидкость есть физическое тело, обладающее двумя отличительными свойствами:

1. Она весьма мало изменяет свой объем при изменении давления или температуры (сходна в этом с твердыми телами).

2. Она обладает текучестью, благодаря чему жидкость не имеет собственной формы и принимает форму того сосуда, в который она помещена (в этом она сходна с газом).

Плотность характеризует распределение массы M жидкости или газа по объему W . В произвольной точке A плотность

$$\rho_A = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \Delta M / \Delta W ,$$

где ΔM – элементарная масса, заключенная в элементарном объеме ΔW , который стягивается в точку А.

Плотность однородной жидкости равна отношению массы жидкости M к занимаемому ей объему W :

$$\rho = M / W .$$

Размерность плотности $[\rho] = M^1 \times L^{-3}$, где M – единицы массы, а L – единицы длины. В системе СИ – $[\rho] = \text{кг/м}^3$ в технической системе $\text{кгс} \times \text{с}^2 / \text{м}^4$.

Плотность жидкостей зависит от температуры и давления. Все жидкости, кроме воды, характеризуются уменьшением плотности при росте температуры. Плотность воды максимальна при $t=4^\circ\text{C}$, в этом аномальность ее поведения. Для условий основных гидравлических расчетов плотность воды можно принимать равной 1000 кг/м^3 .

Удельный вес однородной жидкости определяется как отношение веса жидкости (газа) G к занимаемому объему W :

$$\gamma = G / W .$$

Учитывая, что $G = M \times g$, получим зависимость между плотностью и удельным весом, используемую в расчетах.

$$\gamma = \frac{G}{W} = \frac{Mg}{W} = \rho g, \quad \text{то есть} \quad \gamma = \rho g .$$

Единицы удельного веса в системе СИ: Н/м^3 .

Относительным удельным весом жидкости называется отношение удельного веса жидкости $\gamma_{жс}$ при температуре t к удельному весу воды $\gamma_в$ при температуре 4°C :

$$\delta = \gamma_{жс} / \gamma_в .$$

Сжимаемость – свойство жидкостей изменять свой объем при изменении давления – характеризуется коэффициентом объемного сжатия (сжимаемости), представляющим относительное изменение объема жидкости, при изменении давления Δp на единицу:

$$\beta_w = -\frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta p}, \text{ Па}^{-1},$$

где $\Delta W = W_1 - W$, $\Delta p = p_1 - p$ – изменения объема и давления;

W_1 , W – соответственно объемы жидкости при конечном p_1 и начальном p давлениях.

Знак (-) указывает на то, что положительному приращению давления (увеличению) Δp соответствует отрицательное приращение (уменьшение) объема ΔW .

Учитывая неизменность массы, можно представить β_w несколько в ином виде:

$$-\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad \text{и тогда} \quad \beta_w = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta p},$$

где $\Delta \rho = \rho_1 - \rho$ является изменением плотности;

ρ_1 – плотность при конечном давлении p_1 ;

ρ – плотность при начальном давлении p .

То есть коэффициент объемного сжатия определяет также относительное изменение плотности при изменении давления на единицу.

Величина, обратная объемному коэффициенту сжатия, называется объемным модулем упругости жидкости.

$$E_{\text{жс}} = \frac{1}{\beta_w},$$

или
$$E_{\text{жс}} = \rho \frac{\Delta p}{\Delta \rho},$$

откуда
$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta p}{E_{\text{жс}}}.$$

Эти уравнения выражают закон Гука для жидкостей.

Объемный модуль упругости жидкости $E_{\text{жс}}$ зависит от температуры и давления, поэтому жидкости не всегда точно следуют закону Гука.

Сжимаемость жидкостей незначительна и в рассматриваемых в гидравлике явлениях, позволяет считать её несжимаемой, кроме отдельных

случаев, которые оговариваются отдельно, например, гидравлический удар.

То есть это можно утверждать, когда давление незначительно. Но если бы вода была действительно абсолютно несжимаемой, то уровень воды в океанах поднялся примерно на 30 м.

Температурное расширение – это свойство жидкостей изменять свой объем при изменении температуры. Характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения (температурного расширения), представляющим относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на единицу и при постоянном давлении:

$$\beta_T = \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta T}, K^{-1},$$

где $\Delta W = W_1 - W$ – изменение объема жидкости,

$\Delta T = T_1 - T$ – изменение температуры жидкости,

W_1, W – соответственно объемы жидкости при конечной T_1 и начальной T температурах.

Поверхностное натяжение. Капиллярные явления

Условия, в которых находятся молекулы жидкости в объеме и непосредственно у границ раздела жидкости с газом или твердыми стенками, отличаются. Система сил оказывается неравномерной, и появляется равнодействующая, направленная внутрь или наружу объема.

Система, находящаяся в равновесии, занимает то из возможных для нее положений, которое соответствует минимуму энергии. Эти силы направлены по касательной и называются силами поверхностного натяжения. Коэффициент поверхностного натяжения можно выразить:

$$\sigma = -R / L,$$

где R – сила поверхностного натяжения,

L – длина линии, ограничивающая поверхность раздела.

Сила поверхностного натяжения оказывает на жидкость дополнительное давление, нормальное к её поверхности, и может быть определена по формуле:

$$\rho = 2\sigma / r ,$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения,

r – радиус трубки, в которой находится жидкость.

Размерность – СИ [Н/м], сГС – [дин/см]. Для системы вода–воздух при $t = 20^\circ \text{C}$ $\sigma = 0,073$ Н/м, ртуть–воздух – $\sigma = 0,48$ Н/м.

Силы молекулярного взаимодействия между жидкостью и твердыми стенками создают искривление свободной поверхности вблизи стенок (вогнутое или выпуклое, смачиваемое или несмачиваемое).

В результате этого уровень в капиллярах повышается или понижается. Высота капиллярного подъема (опускания) жидкости:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r} , \text{ м},$$

где r – радиус трубки,

θ – краевой угол.

При малых радиусах r подъем может быть значительным. Например, для воды высота капиллярного подъема: $h = 29,8/d$, а для ртути – опускание $h = 10,15/d$, где диаметр d принимается в мм.

Благодаря действию поверхностного натяжения объем жидкости, на который не действуют никакие другие силы, принимают сферическую форму. С этим свойством связана способность жидкости образовывать капли (рисунок 1.1).

Полное смачивание	$\theta = 0$
Частичное	$\theta < \pi / 2$
Частичное несмачивание	$\pi / 2 < \theta < \pi$
Полное несмачивание	$\theta = \pi$

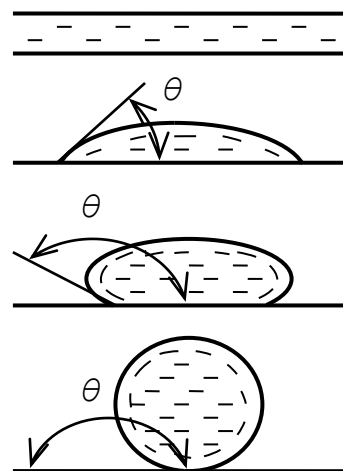


Рисунок 1.1 – Форма капли

1.2 Примеры решения задач

Задача 1.2.1. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 500$ мм и длиной $l = 1$ км для повышения давления до $p_2 = 5 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь.

Решение. Вместимость водовода

$$W_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 10^3 = 196,2 \text{ м}^3.$$

Объем воды ΔW , необходимый для подачи в водовод для повышения давления, найдем из соотношения для коэффициента объемного сжатия

$$\beta_w = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta p} = \frac{\Delta W}{(W_{\text{в}} + \Delta W) \cdot \Delta p}.$$

Значения коэффициента объемного сжатия воды β_w , (Па^{-1}) в функции от давления и температуры примем по [3, прилож. I]:

$$\beta_w = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1},$$

тогда

$$\Delta W = \frac{W_{\text{в}} \cdot \beta_w \cdot \Delta p}{1 - \beta_w \cdot \Delta p} = \frac{196,2 \cdot 5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9 \left(1 - \frac{5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9} \right)} = 0,492 \text{ м}^3.$$

Задача 1.2.2. Определить среднюю толщину $\delta_{\text{отл}}$ солевых отложений в герметичном водоводе внутренним диаметром $d_{\text{в}} = 0,3$ м и длиной $L = 2$ км (рис. 1.2). При выпуске воды в количестве $\Delta W = 50$ л давление в водоводе падает на величину $\Delta p = 1 \cdot 10^6$ Па. Отложения по диаметру и длине водовода распределены равномерно.

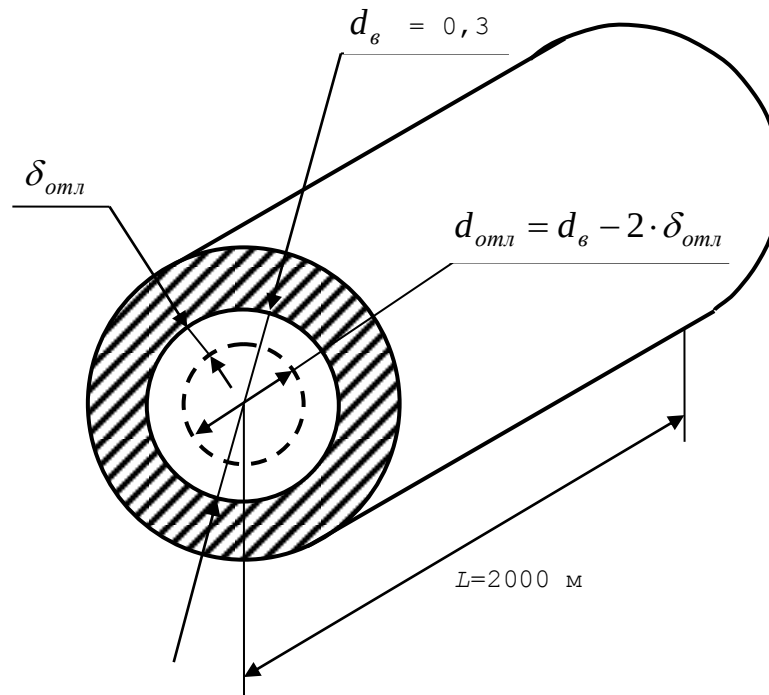


Рисунок 1.2 – К решению задачи 1.2.2

Решение. Объем воды в водоводе с отложениями

$$W = \frac{\Delta W}{\beta_w \cdot \Delta p}.$$

Коэффициент объемного сжатия воды [3, прилож. I]

$$\beta_w = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1},$$

тогда

$$W = \frac{\Delta W}{\beta_w \cdot \Delta p} = \frac{0,05 \cdot 2 \cdot 10^9}{1 \cdot 10^6} = 100 \text{ м}^3.$$

Средний внутренний диаметр водовода с отложениями

$$d_{отл} = \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot L}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3,14 \cdot 2 \cdot 10^3}} = 0,252 \text{ м}.$$

Средняя толщина отложений

$$\delta_{отл} = \frac{d - d_{отл}}{2} = \frac{0,3 - 0,252}{2} = 0,024 \text{ м} = 24 \text{ мм}.$$

Задача 1.2.3. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды $W = 0,4 \text{ м}^3$.

Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с 20 до 90°C?

Решение. Плотность воды при температуре 20°C по интерполяционной формуле $\rho = 1003,1 - 0,1923 \cdot t - 2,503 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$ равна $\rho_{20^0} = 998 \text{ кг/м}^3$, масса воды $M = W \cdot \rho = 0,4 \cdot 998 = 399 \text{ кг}$, плотность воды при температуре 90°C $\rho_{90^0} = 965 \text{ кг/м}^3$.

Объем, занимаемый водой при $t = 90^\circ\text{C}$, составит

$$W = \frac{M}{\rho_{90^0}} = \frac{399}{965} = 0,414 \text{ м}^3.$$

Дополнительный объем составит $\Delta W = 0,414 - 0,4 = 0,014 \text{ м}^3$.

Задача 1.2.4. На сколько процентов увеличится начальный объем воды, спирта и нефти при увеличении температуры на 10 °C? (Коэффициенты температурного расширения: воды $\beta_{20^\circ\text{C}} = 0,00015 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; спирта $\beta_{20^\circ\text{C}} = 0,00110 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; нефти $\beta_{20^\circ\text{C}} = 0,00060 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)

Решение. Увеличение начального объема жидкости с увеличением температуры определим по уравнению коэффициента температурного расширения:

$$\beta_t = \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta t}, \text{ K}^{-1}.$$

Тогда для воды $\frac{\Delta W_1}{W} = 0,00015 \cdot 10 = 0,0015 \text{ (0,15 \%)};$

спирта $\frac{\Delta W_2}{W} = 0,00110 \cdot 10 = 0,011 \text{ (1,1 \%)};$

нефти $\frac{\Delta W_3}{W} = 0,00060 \cdot 10 = 0,0060 \text{ (0,6 \%)}.$

Задача 1.2.5. Определить давление внутри капли воды диаметром $d = 0,001 \text{ м}$, которое создают силы поверхностного натяжения. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$

Решение. Давление внутри капли определим по формуле Лапласа для криволинейных поверхностей:

$$P_{нов} = \frac{2\sigma}{r},$$

где σ – поверхностное натяжение, определяемое по формуле для воды при $t = 20^\circ\text{C}$, соприкасающейся с воздухом, $\sigma = 0,0726 \text{ Н/м}$ [3];

r – радиус капли. Тогда

$$P_{нов} = \frac{2 \cdot 0,0726}{5 \cdot 10^{-4}} = 292 \text{ Па.}$$

Задача 1.2.6. Определить высоту подъема воды в стеклянном капилляре диаметром $d = 0,001 \text{ м}$ при температуре воды $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и $t_2 = 80^\circ\text{C}$.

Решение. Высоту капиллярного подъема определим по формуле [2, с. 11]

$$h_{нод} = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot r}, \text{ м,}$$

где σ – поверхностное натяжение, $\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$ [3];

$\rho = 998 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды.

$$\text{Тогда } h_{нод1} = \frac{2 \cdot 7,3 \cdot 10^{-2}}{998 \cdot 9,8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} \approx 0,029 \text{ м} \approx 2,9 \text{ см.}$$

Поверхностное натяжение воды при нагревании ее до 80°C определяется по формуле зависимости поверхностного натяжения от температуры [2, с. 11]:

$$\sigma = \sigma_0 - \beta \cdot \Delta t, \text{ Н/м,}$$

где σ_0 – поверхностное натяжение при $t = 0^\circ\text{C}$, $\sigma_0 = 0,0726 \text{ Н/м}$;

β – коэффициент температурного расширения воды, $\beta = 0,00015^\circ\text{C}^{-1}$;

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}.$$

Тогда

$$\sigma_2 = 7,26 \cdot 10^{-2} - 0,00015 \cdot 60 = 6,3 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м.}$$

Плотность воды по табл. [3] для $t_2 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\rho_2 = 972\text{ кг/м}^3$. Высота капиллярного подъема воды при ее нагревании до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$h_{\text{под}2} = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot r} = \frac{2 \cdot 6,3 \cdot 10^{-2}}{972 \cdot 9,8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 0,026\text{ м} = 2,6\text{ см.}$$

Таким образом, с увеличением температуры высота капиллярного подъема воды уменьшается.

Задача 1.2.7. Рассмотреть явление капиллярности в стеклянных пьезометрических трубках диаметрами $d_1=5\text{ мм}$, $d_2=2\text{ мм}$, $d_3=10\text{ мм}$ для воды, спирта (рис. 1.3, а) и ртути (рис. 1.3, б) ($h_{\text{в.кап}} = \frac{30}{d}$, $h_{\text{рт.кап}} = -\frac{11,5}{d}$,

$$h_{\text{сп.кап}} = \frac{10,15}{d}).$$

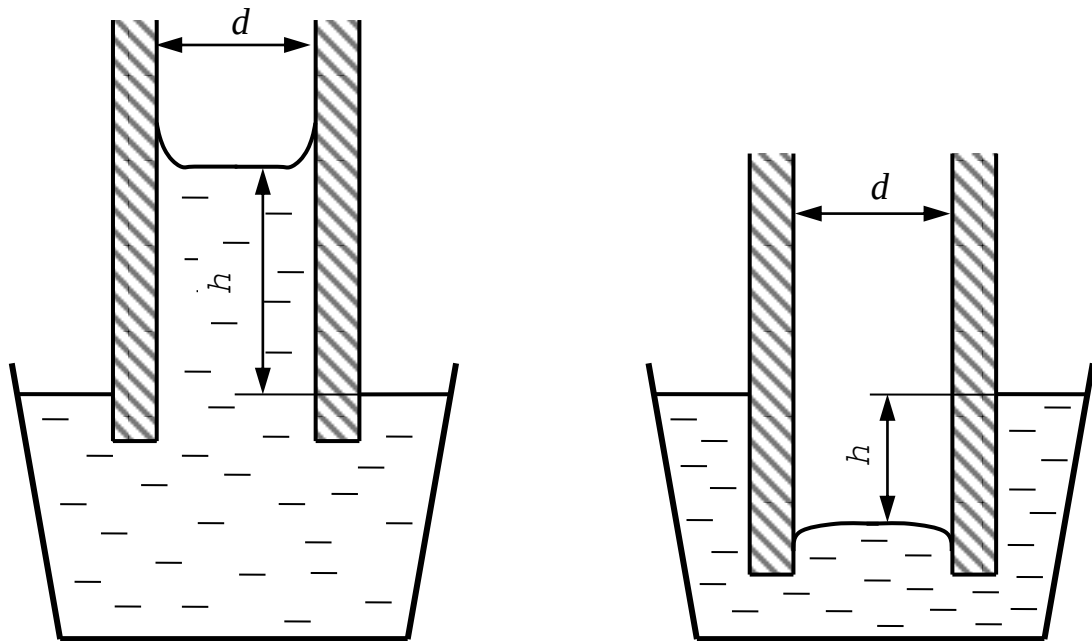


Рисунок 1.3 – Явление капиллярности в стеклянных пьезометрических трубках

Решение. Высоту капиллярного поднятия жидкости h в пьезометрической стеклянной трубке можно определить по формулам:

$$\text{для воды } h_{\text{в.кап}} = \frac{30}{d}; \text{ для ртути } h_{\text{рт.кап}} = -\frac{11,5}{d}; \text{ для спирта } h_{\text{сп.кап}} = \frac{10,15}{d}.$$

Тогда для воды $h_{Б.КАП1} = \frac{30}{5} = 6 \text{ мм}; \quad h_{Б.КАП2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ мм};$

$$h_{Б.КАП3} = \frac{30}{10} = 3 \text{ мм.}$$

Для ртути $h_{РТ.КАП1} = -\frac{11,5}{5} = -2,3 \text{ мм}; \quad h_{Б.КАП2} = -\frac{11,5}{2} = -5,75 \text{ мм};$

$$h_{РТ.КАП3} = -\frac{11,5}{10} = -1,15 \text{ мм.}$$

Для спирта $h_{СП.КАП1} = \frac{10,15}{5} = 2,03 \text{ мм}; \quad h_{СП.КАП2} = \frac{10,15}{2} = 5,08 \text{ мм};$

$$h_{СП.КАП3} = \frac{10,15}{10} = 1,02 \text{ мм.}$$

Задача 1.2.8. Определить изменение давления в закрытом резервуаре с бензином с изменением температуры от 20 до 70°C.

Решение. Согласно закону Гука:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta p}{E_{\text{ж}}},$$

Следовательно,

$$\Delta p = \frac{E_{\text{ж}} \cdot \Delta\rho}{\rho},$$

где $\Delta\rho$ – увеличение плотности;

ρ – плотность бензина;

$E_{\text{ж}}$ – объемный модуль упругости жидкости (для бензина

$$E_{\text{ж}} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ МПа}).$$

Плотность нефтепродуктов при температуре t , °C определяется по формуле

$$\rho_t = \frac{\rho_{20^\circ\text{C}}}{1 + \beta_t(t - 20)},$$

где β_t – коэффициент температурного расширения, учитывающий относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$; для нефтепродуктов $\beta_t = 0,0006\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\rho_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ – плотность рассматриваемого нефтепродукта при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$\rho_{20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 800\text{ кг/м}^3$ (справочная величина).

Следовательно

$$\rho_{70\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{\rho_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}}{1 + 0,0006(70 - 20)} = \frac{800}{1 + 0,03} = 776,7\text{ кг/м}^3,$$

Тогда $\Delta\rho = 800 - 776,7 = 23,3\text{ кг/м}^3$, а

$$\Delta p = \frac{23,3 \cdot 1,3 \cdot 10^3}{800} = 38\text{ МПа}.$$

1.3 Контрольные задачи

Задача 1.3.1. Определить среднюю толщину $\delta_{отл}$ солевых отложений в герметичном водоводе внутренним диаметром $d_{\text{в}} = 0,2\text{ м}$ и длиной $l = 3\text{ км}$ (рисунок 1.4). При выпуске воды в количестве $\Delta W = 0,03\text{ м}^3$ давление в водоводе падает на величину $\Delta p = 1 \cdot 10^6\text{ Па}$. Отложения по диаметру и длине водовода распределены равномерно.

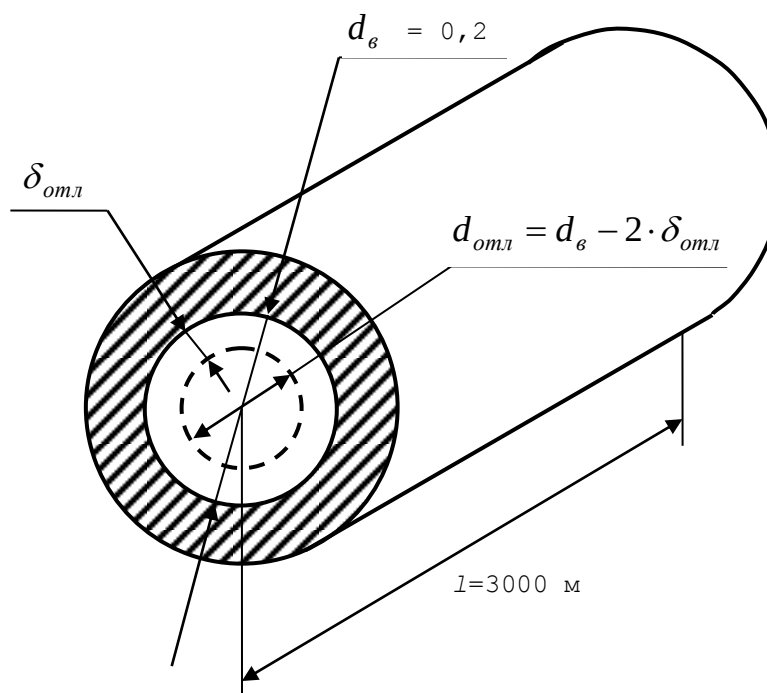


Рисунок 1.4

Задача 1.3.2. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 700$ мм и длиной $l = 500$ м для повышения давления до $p_2 = 2 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь.

Задача 1.3.3. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды $W = 100$ л. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с 10 до 80°C? Плотность воды определить по интерполяционной формуле $\rho = 1003,1 - 0,1923 \cdot t - 2,503 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$, где t – температура в °C.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

Тема. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Виды гидростатического давления.

1 ЦЕЛЬ.

На примере решения задач определить виды гидростатического давления..

2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ИЛИ ИХ ЧАСТИ

Выполнение практической работы способствует формированию у студентов следующих компетенций:

ПК – 6 Быть готовым к проектированию, выбору и эксплуатации оснастки машиностроительного производства;

ПК – 8 Быть готовым выбирать, проектировать и эксплуатировать средства автоматизации машиностроительного производства

ПК – 9 Быть способным к проведению диагностики, регламентному обслуживанию, ремонту и эксплуатации оборудования машиностроительного производства.

2.1 Теоретическая часть

2.1.1 Основное уравнение гидростатики

Гидростатикой называется раздел гидравлики, рассматривающий равновесие жидкостей и их взаимодействие с твердыми стенками.

В покоящейся жидкости возможен лишь один вид напряжения – гидростатическое давление, силы вязкости в покое не проявляются.

Гидростатическое давление обладает тремя свойствами:

- гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали к площадке, на которую оно действует (по направлению к площадке, а не от нее);

- гидростатическое давление действует одинаково по всем направлениям, то есть не зависит от угла наклона площадки, на которую оно действует;

– гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве, то есть $p = f(x, y, z)$ и увеличивается с возрастанием глубины ее погружения.

Согласно основному закону гидростатики, давление в любой точке покоящейся жидкости складывается из давления на свободную поверхность жидкости p_0 и давления, зависящего от глубины погружения h , то есть давления, обусловленного весом вышележащих слоев жидкости ρgh . Аналитически основной закон гидростатики записан в виде формулы (2.1).

$$p = p_0 + \rho gh, \text{ Па.} \quad (2.1)$$

2.1.2 Закон Паскаля

Давление, приложенное к жидкости (внешнее давление), передается внутри жидкости во все стороны без изменения, то есть всякое изменение внешнего давления приводит к изменению давления в каждой точке жидкости. В гидравлике это понятие носит название закона Паскаля.

Закон Паскаля имеет широкое применение в технике и используется при конструировании гидравлических установок, действие которых основано на передаче давления внутри жидкости.

По этому принципу работают гидравлические аккумуляторы, гидравлический пресс, мультипликаторы, домкраты, и др. устройства.

2.1.3 Виды гидростатического давления

Гидростатическое давление делится на полное или абсолютное, избыточное и вакуум. Полное или абсолютное гидростатическое давление в любой точке или сечении жидкости равно внешнему давлению на ее свободной поверхности p_0 , сложенному с давлением столба жидкости ρgh :

$$p = p_0 + \rho gh.$$

Разность между абсолютным гидростатическим и атмосферным давлением называется избыточным или манометрическим давлением, характеризующим избыток давления по сравнению с атмосферным.

$$p_{абс} = p_{атм} + p_{изб},$$

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{атм}.$$

Если на поверхности жидкости давление больше атмосферного, то избыточное давление в рассматриваемом случае будет равно:

$$P_{изб} = p_0 - p_{атм} + \rho gh,$$

таким образом, избыточное давление в этом случае создается как за счет веса столба жидкости ρgh , так и за счет разности давлений $\Delta p_0 = p_0 - p_{атм}$.

В инженерной практике очень часто приходится встречаться со случаями, когда полное гидростатическое давление оказывается меньше атмосферного $P_{абс} < P_{атм}$. В таких случаях говорят о разрежении или вакууме. *Вакуумом* (вакуумметрическим давлением) называется разность между атмосферным и абсолютным давлением, характеризующая недостаток давления до окружающего атмосферного:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс}.$$

Взаимосвязь между абсолютным, избыточным и вакуумметрическим давлением изображена на рисунке 2.1.

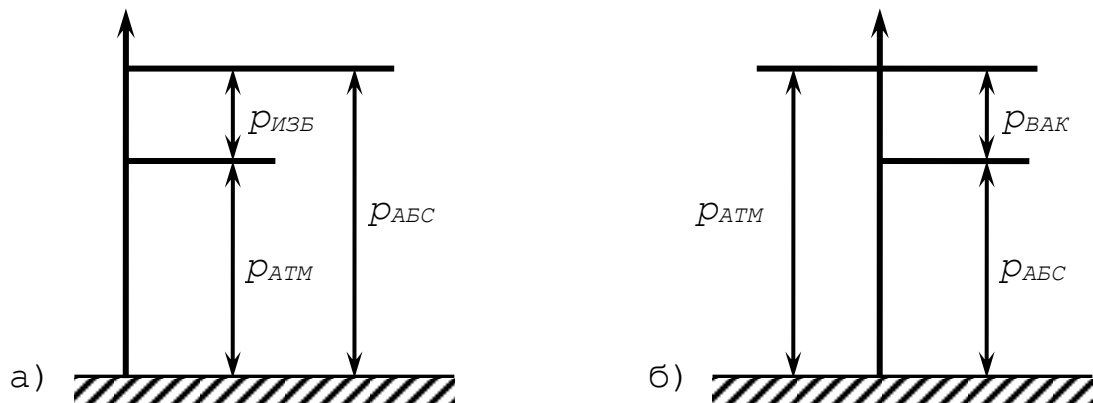


Рисунок 2.1 – Взаимосвязь между давлением: а) – абсолютным и избыточным; б) – абсолютным и вакуумметрическим

2.2 Примеры решения задач

Задача 2.2.1. Два горизонтальных цилиндрических трубопровода А и В содержат соответственно минеральное масло плотностью 900 кг/м^3 и воду плотностью 1000 кг/м^3 . Высоты жидкостей, представленные на рисунке 2.2, имеют следующие значения: $h_m = 0,2 \text{ м}$; $h_{рт} = 0,4 \text{ м}$; $h_e = 0,9 \text{ м}$. Зная, что

гидростатическое давление на оси в трубопроводе А равно $0,6 \cdot 10^5$ Па, определить давление на оси трубопровода В.

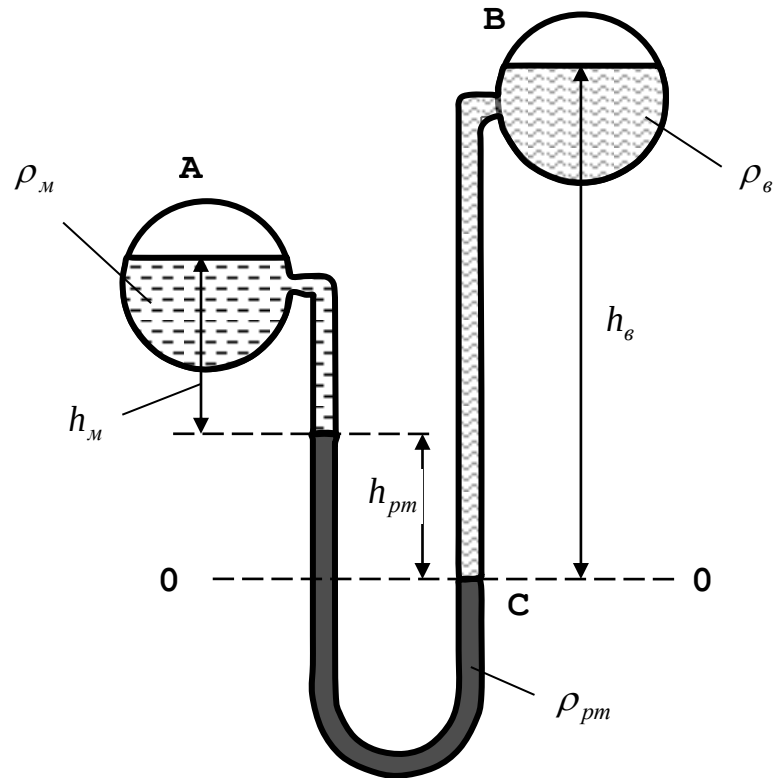


Рисунок 2.2 – К решению задачи 2.2.1

Решение. Через точку С проведем плоскость сравнения 0 – 0, для которой запишем равенство давлений:

$$p_m + \rho_m g h_m + \rho_{пт} g h_{пт} = \rho_v g h_v + p_v$$

Тогда

$$\begin{aligned} p_v &= p_m + \rho_m g h_m + \rho_{пт} g h_{пт} - \rho_v g h_v = \\ &= 0,6 \cdot 10^5 + 900 \cdot 9,81 \cdot 0,2 + 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,4 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 1,063 \cdot 10^5 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Задача 2.2.2. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием $h = 0,42$ м. Определить разрежение под поршнем (рисунок 2.3).

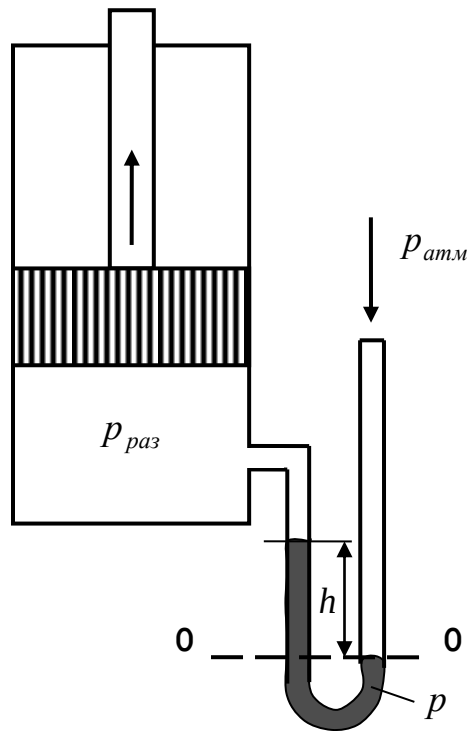


Рисунок 2.3 – К решению задачи 2.2.2

Решение. Разрежение под поршнем определим по формуле

$$p_{раз} = p_{атм} - p_{абс},$$

где $p_{атм}$ – атмосферное давление;

$p_{абс}$ – абсолютное давление в цилиндре, $p_{абс} = p_{атм} - \rho gh$.

Тогда

$$p_{раз} = \rho gh = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,42 = 0,412 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Задача 2.2.3. Избыточное давление воды в океане на глубине $h = 300$ м равно $31,5 \cdot 10^5$ Па. Требуется определить: плотность морской воды на этой глубине в общем виде; плотность морской воды на этой глубине в районах Северного полюса и экватора ($g_{пол} = 9,831 \text{ м/с}^2$; $g_{экв} = 9,781 \text{ м/с}^2$).

Решение. Плотность воды на глубине $h = 300$ м определим следующим образом:

$$\rho = \frac{p_{изб}}{g \cdot h} = \frac{31,5 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 300} = 1070 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность воды в районе Северного полюса

$$\rho_{пол} = \frac{p_{изб}}{g_{пол} \cdot h} = \frac{31,5 \cdot 10^5}{9,831 \cdot 300} = 1068 \text{ кг/м}^3;$$

в районе экватора

$$\rho_{экв} = \frac{p_{изб}}{g_{экв} \cdot h} = \frac{31,5 \cdot 10^5}{9,781 \cdot 300} = 1073,5 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2.2.4. Грунтовые воды, формирующие систему с нефтяным пластом, выходят на поверхность (рис. 2.4). Какова должна быть плотность глинистого раствора, применяемого при бурении (ρ_{min}), чтобы не было фонтанирования нефти при вскрытии пласта? Глубина скважины $h = 2500$ м; расстояние между уровнем выхода подземных вод на поверхность и границей вода – нефть $h_1 = 3200$ м; расстояние между уровнем выхода грунтовых вод на поверхность и устьем скважины $h_2 = 600$ м; плотность подземных вод $\rho_в = 1100$ кг/м³; плотность нефти $\rho_н = 850$ кг/м³.

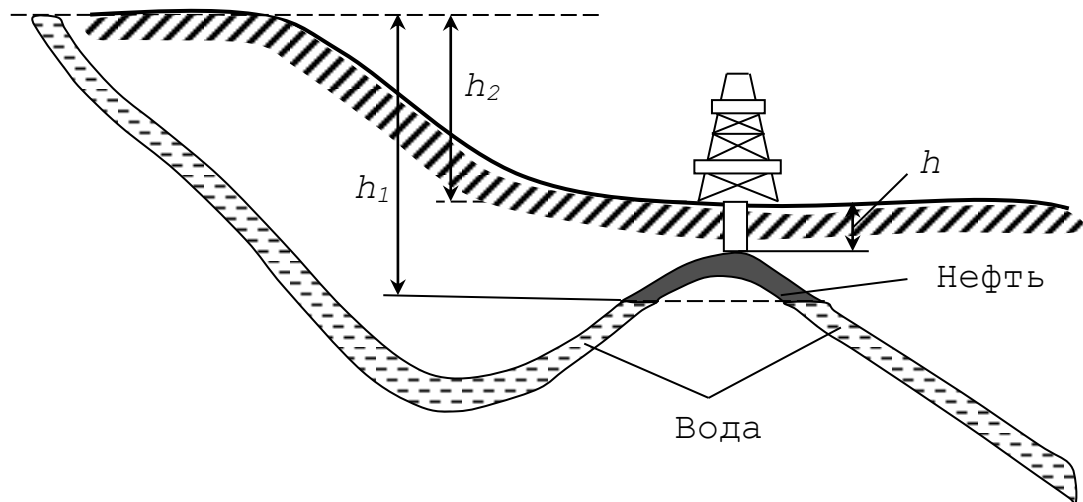


Рисунок 2.4 – К решению задачи 2.2.4

Решение. Составим уравнение равновесия системы грунтовые воды – нефть:

$$\rho_в g h_1 = \rho_{min} g h + \rho_н g (h_1 - h_2 - h)$$

Отсюда

$$\rho_{\min} = \frac{\rho_6 g h_1 - \rho_n g (h_1 - h_2 - h)}{g h} = \frac{1100 \cdot 10 \cdot 3200 - 850 \cdot 10 \cdot 100}{10 \cdot 2500} = 1374 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2.2.5. Для проведения опыта по сжатию используют поршневой пресс, имеющий размеры: диаметр цилиндра $D = 105 \text{ мм}$, диаметр штока поршня $d_1 = 55 \text{ мм}$. Насос, управляющий прессом, имеет поршень диаметром $d = 18 \text{ мм}$ и рычаги с размерами $a = 100 \text{ мм}$ и $b = 900 \text{ мм}$ (рис. 2.5). Определить давление p в гидравлической сети и усилие F на конце рычага насоса, если усилие сжатия $Q = 10^5 \text{ Н}$.

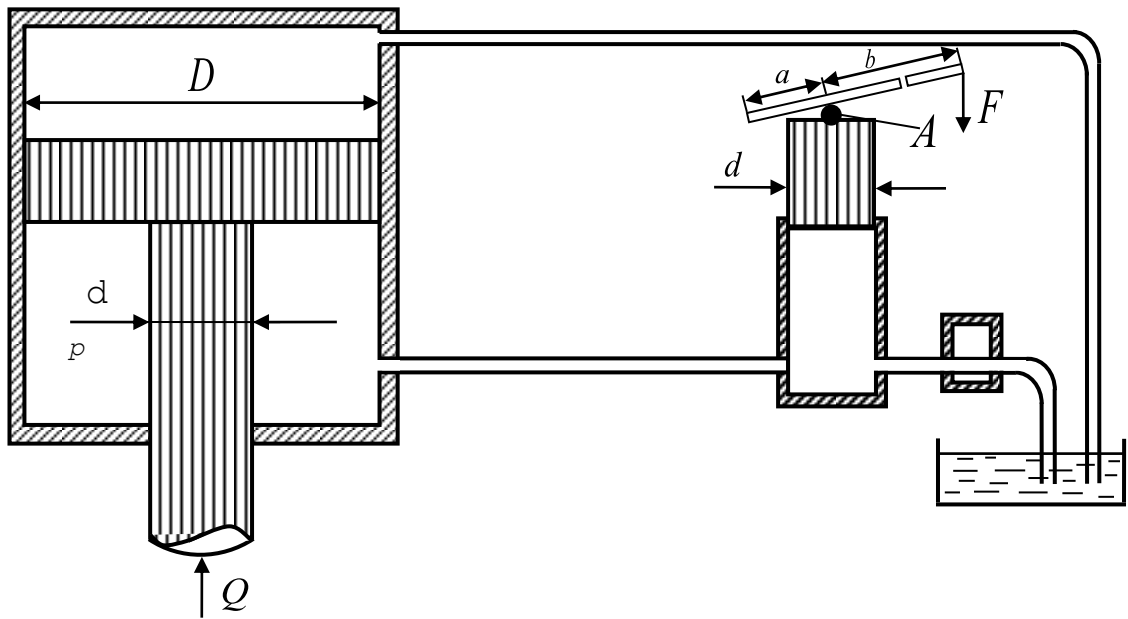


Рисунок 2.5 – К решению задачи 2.2.5

Решение. Усилие сжатия Q создает в гидравлической сети давление

$$p = \frac{Q}{S} = \frac{10^5}{\pi(D^2 - d^2)} = \frac{10^5}{3,14(0,105^2 - 0,055^2)} = 4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Усилие, приложенное к рычагам пресса:

$$F(a + b) = Pa, \text{ откуда } F = \frac{1020 \cdot 0,1}{0,1 + 0,9} = 102 \text{ Н}.$$

2.3 Контрольные задачи

Задача 2.3.1. В гидравлическом прессе площадь малого поршня $S_1 = 2 \text{ см}^2$, площадь большого — $S_2 = 200 \text{ см}^2$. Сила, действующая на малый поршень, $F_1 = 400 \text{ Н}$, на большой — $F_2 = 36 \text{ кН}$. Какой выигрыш в силе даёт этот

пресс? Почему пресс не дает максимального (наибольшего) выигрыша в силе? Какой выигрыш в силе должен был бы давать этот пресс при отсутствии силы трения между поршнями и стенками пресса?

Задача 2.3.2. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием $h = 0,8$ м. Определить разрежение под поршнем (рис. 2.6).

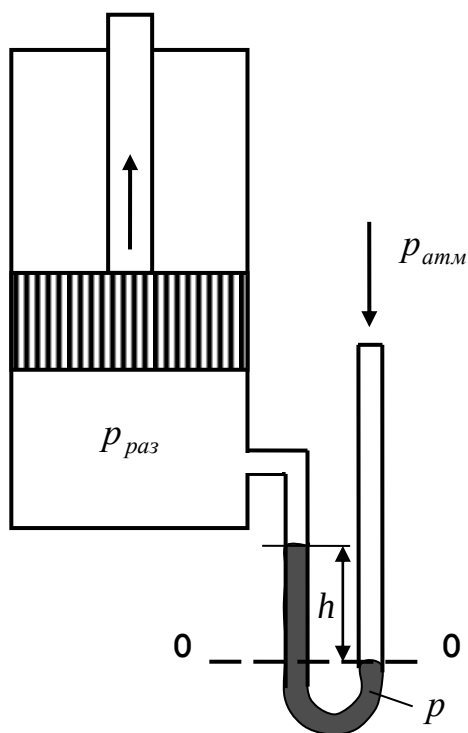


Рисунок 2.6

Задача 2.3.3. Грунтовые воды, формирующие систему с нефтяным пластом, выходят на поверхность (рис. 2.7). Какова должна быть плотность глинистого раствора, применяемого при бурении ($\rho_{\min}$), чтобы не было фонтанирования нефти при вскрытии пласта? Глубина скважины $h = 800$ м; расстояние между уровнем выхода подземных вод на поверхность и границей вода – нефть $h_1 = 3000$ м; расстояние между уровнем выхода грунтовых вод на поверхность и устьем скважины $h_2 = 1000$ м; плотность подземных вод $\rho_g = 1100$ кг/м³; плотность нефти $\rho_n = 880$ кг/м³.

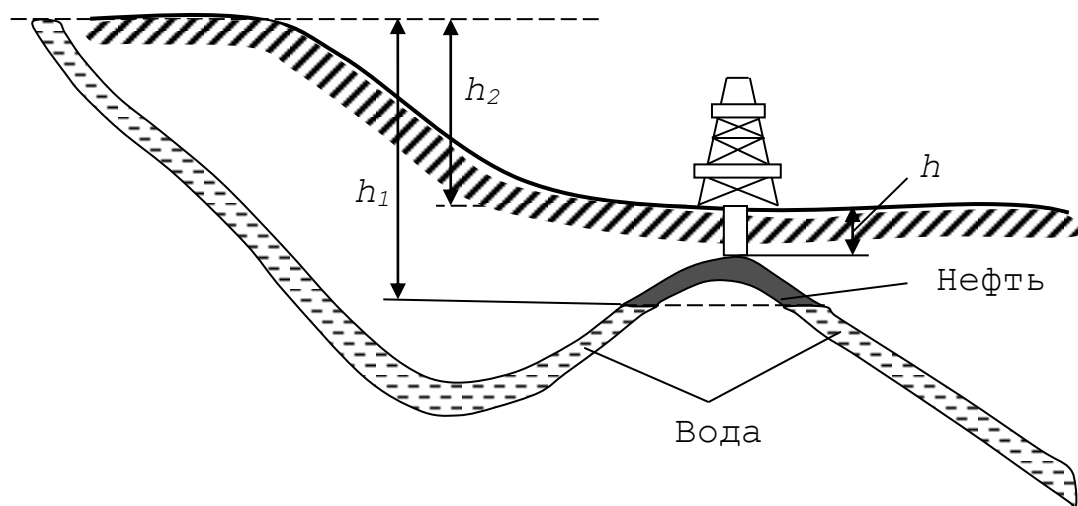


Рисунок 2.7

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

Тема. Сила давления жидкости на плоскую и криволинейную стенку

1 ЦЕЛЬ.

На примере решения задач определить силу давления жидкости на плоскую и криволинейную стенку.

2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ИЛИ ИХ ЧАСТИ

Выполнение практической работы способствует формированию у студентов следующих компетенций:

ПК – 6 Быть готовым к проектированию, выбору и эксплуатации оснастки машиностроительного производства;

ПК – 8 Быть готовым выбирать, проектировать и эксплуатировать средства автоматизации машиностроительного производства

ПК – 9 Быть способным к проведению диагностики, регламентному обслуживанию, ремонту и эксплуатации оборудования машиностроительного производства.

3.1 Теоретическая часть

3.1.1 Сила давления на плоскую стенку. Положение центра давления

Определим, как рассчитывается сила гидростатического давления на плоскую стенку, которая наклонена под углом α , при одностороннем воздействии жидкости (рис. 3.1). Одну координатную ось направим вдоль стенки, а другую по линии пересечения стенки со свободной поверхностью. Для удобства развернем проекцию стенки в плоскость чертежа. Выделим на ней фигуру площадью ω . Между любой координатой y и глубиной погружения h существует следующая связь: $h = y \cdot \sin \alpha$.

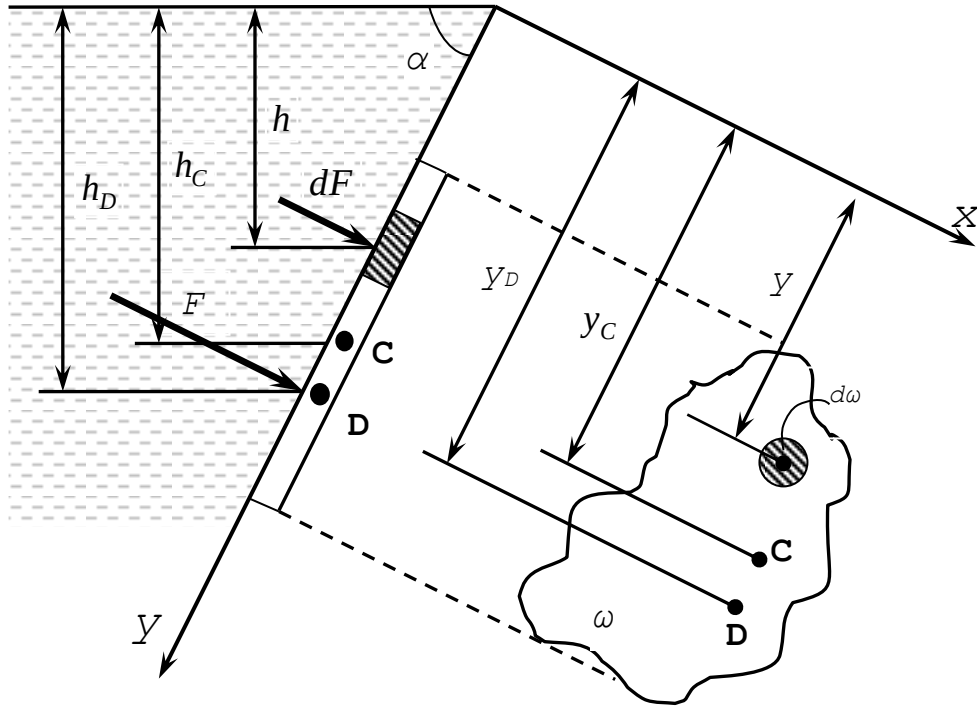


Рисунок 3.1 – К определению силы давления на плоскую стенку

На каждый бесконечно малый элемент площади $d\omega$ действует элементарная сила $dF = P \cdot d\omega$, а давление в центре тяжести $d\omega$ равно $P = \rho g h = \rho g y \cdot \sin \alpha$.

Тогда элементарная сила $dF = \rho g y \cdot \sin \alpha \cdot d\omega$.

Суммарная сила давления на всю площадь ω может быть получена интегрированием по площади ω :

$$F = \int_{\omega} dF = \rho g \cdot \sin \alpha \int_{\omega} y \cdot d\omega,$$

где $\int_{\omega} y \cdot d\omega$ – статический момент площади относительно оси x .

Известно, что статический момент площади равен произведению координаты центра тяжести на площадь фигуры:

$$\int_{\omega} y \cdot d\omega = y_C \cdot \omega = S_x,$$

откуда можно записать, что суммарная сила гидростатического давления равна:

$$F = \rho g y_C \cdot \sin \alpha \cdot \omega \quad \text{или} \quad F = p_C \cdot \omega,$$

где p_C – давление в центре тяжести.

Таким образом, сила гидростатического давления на плоскую поверхность равна произведению гидростатического давления в центре тяжести этой поверхности на ее площадь.

Центром давления называется точка приложения полной силы гидростатического давления, действующей на данную поверхность.

Для определения положения центра давления воспользуемся известной теоремой статики: момент равнодействующей силы равен сумме моментов сил ее составляющих.

$$\text{То есть} \quad F \cdot y_D = \int_{\omega} dF \cdot y.$$

Из этого выражения можно найти искомую координату центра давления (точки **D**):

$$y_D = \frac{\int_{\omega} dF \cdot y}{F} = \frac{\rho g \cdot \sin \alpha}{\rho g \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{\int_{\omega} y^2 \cdot d\omega}{\int_{\omega} y \cdot d\omega} = \frac{J_x}{S_x},$$

где J_x – момент инерции площади относительно оси x .

Но момент инерции относительно любой оси может быть выражен через момент инерции относительно центральной оси J_0 (оси, проходящей через центр тяжести фигуры).

$$J_x = a^2 \cdot \omega + J_0,$$

где a – расстояние между осями (в нашем случае $a = y_C$).

$$\text{Тогда} \quad y_D = \frac{y_C \cdot \omega + J_0}{y_C \cdot \omega} \quad \text{или} \quad y_D = y_C + \frac{J_0}{y_C \cdot \omega}.$$

Используя уравнение связи между глубиной h и координатой y , получим уравнение для определения глубины погружения центра давления:

$$h_D = h_C + \frac{J_0}{h_C \cdot \omega}.$$

Это выражение показывает, что центр давления лежит всегда ниже центра тяжести (кроме давления на горизонтальную плоскость, когда они совпадают).

3.1.2 Сила давления на криволинейные поверхности

Рассмотрим цилиндрическую поверхность **AB**, на которую слева действует жидкость (рис. 3.2). Ширина ее равна единице длины. Выделим на этой поверхности элементарную площадку $d\omega$.

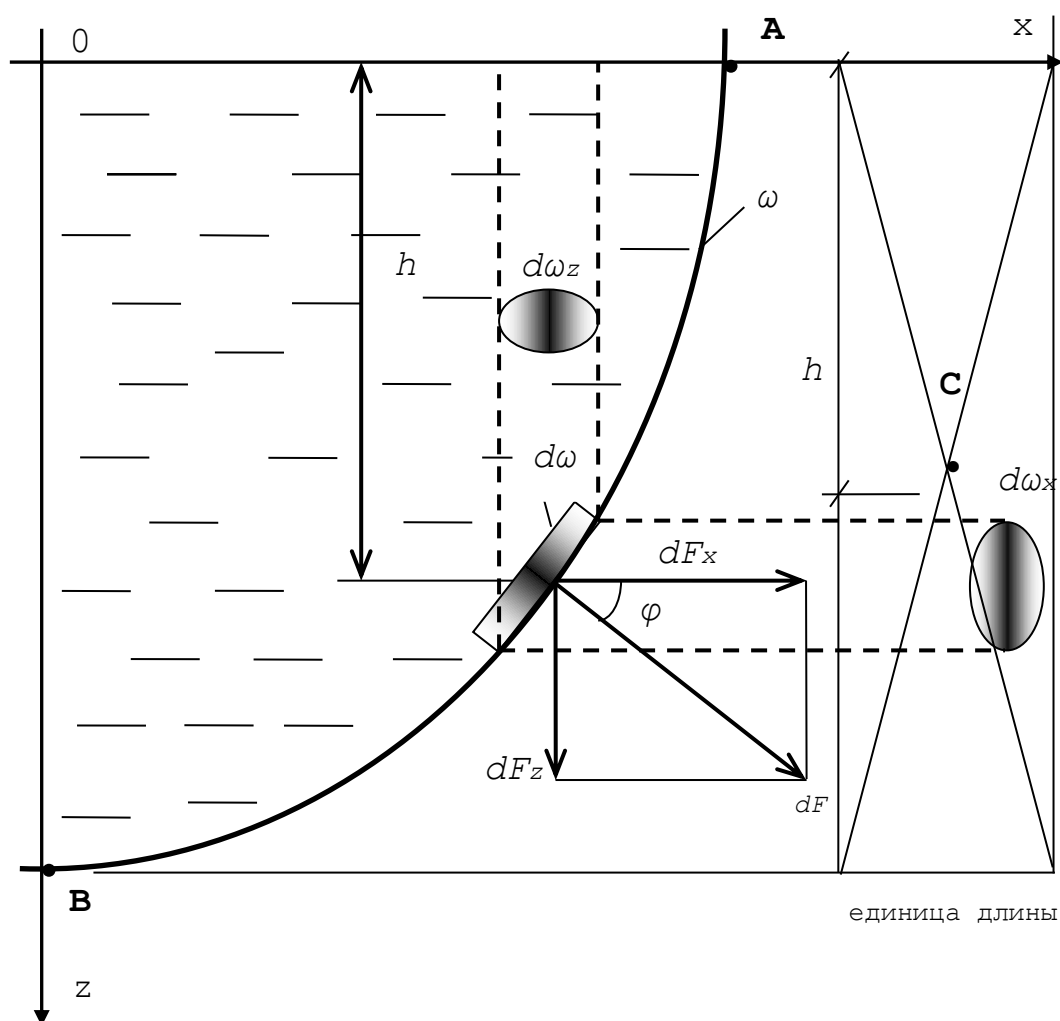


Рисунок 3.2 – Сила давления на криволинейную поверхность

Определим силу избыточного гидростатического давления на эту площадь. Разложим силу dF на горизонтальную и вертикальную составляющие dF_x и dF_y .

$$dF_y=0,$$

$$dF_x = dF \cdot \cos \varphi = \rho g h \cdot d\omega \cdot \cos \varphi,$$

где $d\omega_x = d\omega \times \cos \varphi$ – проекция элементарной площадки на плоскость, перпендикулярную оси х.

Просуммировав все элементарные силы по всей площади, получим

$$\int_{\omega} dF_x = \rho g \int_{\omega} h \cdot d\omega_x,$$

где $\int_{\omega} h \cdot d\omega_x$ – статический момент площади ω_x относительно оси х

Преобразуем это уравнение (аналогично рассмотренному уравнению для плоской стенки) и в результате получим:

$$F_x = \rho g h_c \cdot \omega_x.$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления на криволинейную поверхность равна силе давления на ее вертикальную проекцию ω_x .

Вертикальная составляющая силы давления равна:

$$dF_z = dF \sin \varphi = \rho g h \cdot d\omega \cdot \sin \varphi.$$

Произведение $d\omega \cdot \sin \varphi$ равно площади проекции $d\omega$ на горизонтальную плоскость $d\omega_z$.

Тогда $dF_z = \rho g h \times d\omega_z$.

Произведение $h \cdot d\omega_z$ представляет собой элементарный объем жидкости dV , лежащей между площадкой $d\omega$ и свободной поверхностью жидкости.

Просуммировав элементарные силы, получим:

$$F_z = \int_{\omega} dF_z = \int_{\omega} \rho g dV = \rho g V; \quad F_z = \rho g V,$$

где V – объем тела давления; $\rho g V$ – вес тела давления.

То есть вертикальная составляющая F_z равна весу жидкости, заключенной в теле давления.

Величина результирующей силы может быть найдена сложением векторов составляющих или по теореме Пифагора:

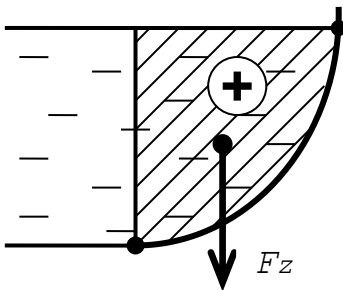
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}.$$

Направление результирующей силы гидростатического давления определяется углом наклона φ к горизонту, тангенс которого находят из силового треугольника:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_z}{F_x}.$$

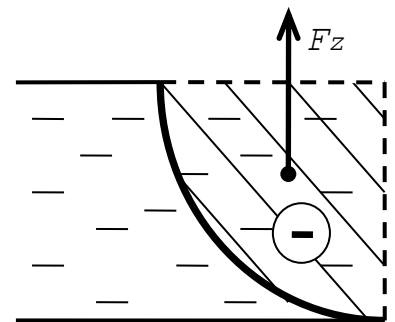
Следует помнить, что вертикальная составляющая может быть направлена либо вверх, либо вниз, в зависимости от положения поверхности по отношению к жидкости.

Правило знаков:



если объем тела давления реален (жидкость расположена сверху), то направление силы – вниз (сила положительна), и она численно равна весу жидкости в объеме так называемого положительного (действительного) тела давления;

если объем тела давления фиктивный (жидкость находится снизу), то направление силы – вверх (сила отрицательна), и она численно равна весу жидкости в объеме так называемого отрицательного (фиктивного) тела давления.



3.2 Примеры решения задач

Задача 3.2.1. Рассчитать манометрическое давление p_m и силу давления, действующую на верхнюю крышку сосуда, полностью заполненного водой (рис 3.3), если вес сосуда $G = 5 \cdot 10^4$ Н; диаметр поршня, действующего на жидкость, $d = 0,2$ м; площадь сечения поршня $S_1 = \frac{3,14d^2}{4}$.

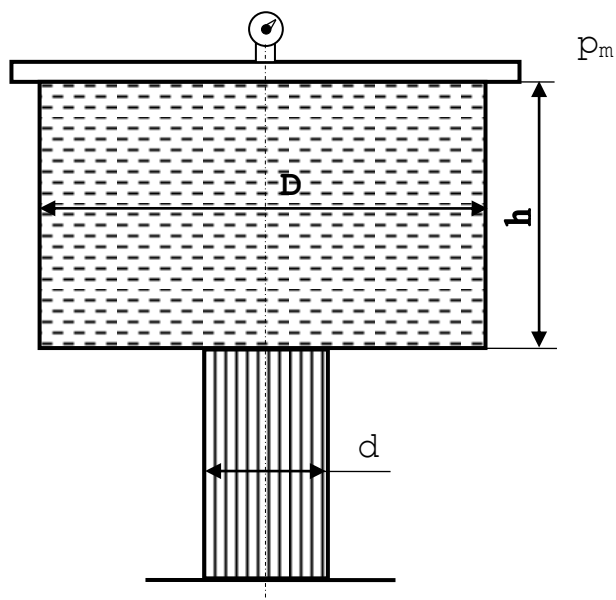


Рисунок 3.3 – К решению задачи 3.2.1

Решение. Манометрическое давление создается только весом сосуда, т.е.

$$p_m = \frac{G}{S_1} = \frac{5 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 0,01} = 15,9 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2,$$

тогда сила давления, действующая на верхнюю крышку,

$$P = p_m S_2 = 15,9 \cdot 10^5 \frac{\pi D^2}{4} = 15,9 \cdot 10^5 \frac{3,14 \cdot 0,16}{4} = 19,97 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Задача 3.2.2. Определить силу давления на вертикальную стенку ABCD сосуда, полностью заполненного водой (рис. 3.4), и положение центра давления, если $L = 32 \text{ м}$; $l = 26 \text{ м}$; $h = 18 \text{ м}$; $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$; $g = 10 \text{ м/с}^2$.

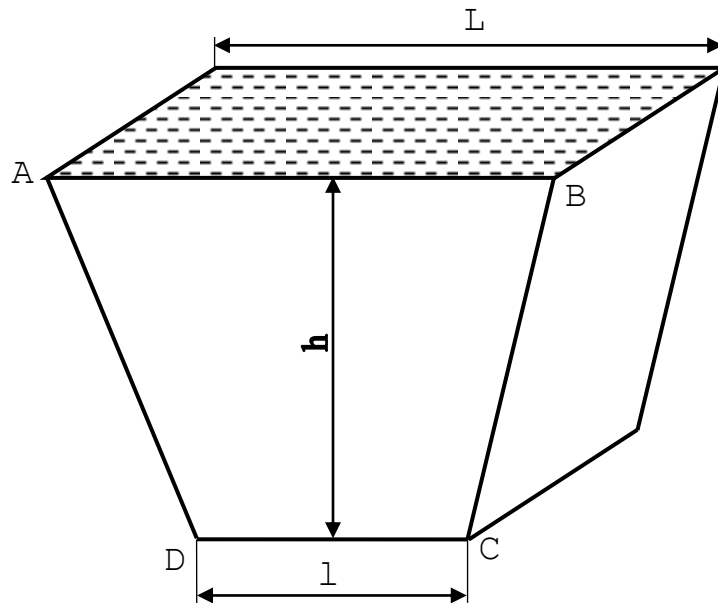


Рисунок 3.4 – К решению задачи 3.2.2

Решение. Сила давления на вертикальную стенку составит

$$P = (p_0 + \rho g h_g) S, \text{ Н},$$

где S – площадь вертикальной стенки (в данном случае это трапеция),

$$S = (L + l) \frac{h}{2} = (32 + 26)9 = 522 \text{ м}^2;$$

p_0 – атмосферное давление на свободной поверхности воды;

h_g – координата центра тяжести вертикальной стенки,

$$h_g = \frac{h}{3} \frac{2l + L}{l + L} = \frac{18(52 + 32)}{3(26 + 32)} = 8,7 \text{ м}.$$

Сила давления на вертикальную стенку

$$P = \rho g h_g S = 10^4 \cdot 8,7 \cdot 522 = 454 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Положение центра давления вертикальной стенки – трапеции:

$$h_c = \frac{h}{2} \frac{3l + L}{2l + L} = \frac{9 \cdot 110}{84} = 11,8 \text{ м}.$$

Задача 3.2.3. Определите силу F , необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной $b = 4$ м и высотой $H = 5,5$ м (рис. 3.5) при глубине воды слева $h_1 = 5$ м, справа $h_2 = 2$ м; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $g \sim 10 \text{ м/с}^2$.

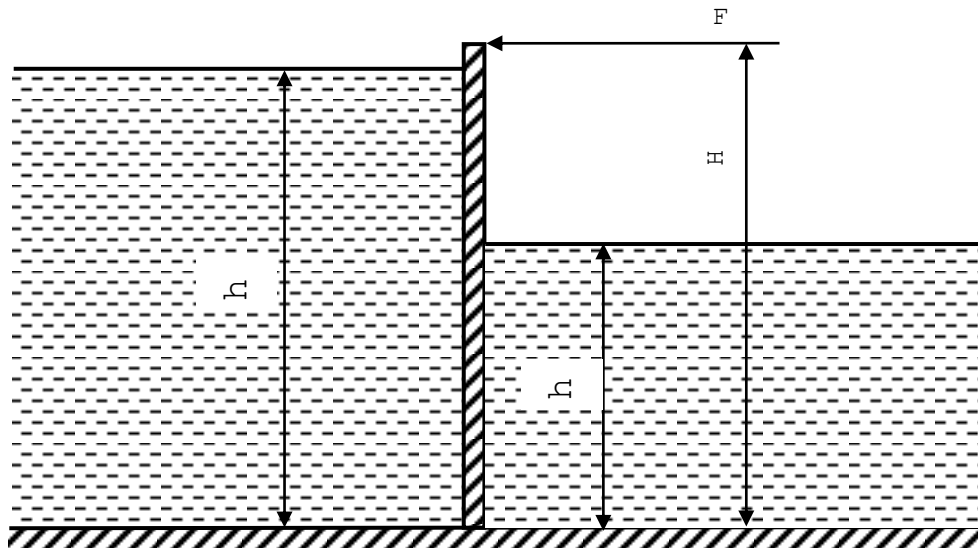


Рисунок 3.5 – К решению задачи 3.2.3

Решение. Запишем равенство моментов сил, действующих на стенку:

$$FH + P_2(h_2 - h_{c2}) = P_1(h_1 - h_{c1}).$$

Глубина центра тяжести вертикальной стенки:

$$\text{слева } h_{g1} = \frac{1}{2} h_1 = 2,5 \text{ м};$$

$$\text{справа } h_{g2} = \frac{1}{2} h_2 = 1,0 \text{ м}.$$

Определим силы давления:

$$P_1 = \rho g h_{g1} S_1 = 10^3 \cdot 10 \cdot 2,5(4 \cdot 5) = 5 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

$$P_2 = \rho g h_{g2} S_2 = 10^3 \cdot 10 \cdot 1(4 \cdot 2) = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Координаты центра давления (стенка вертикальная прямоугольная):

$$h_{1c} = \frac{2}{3} h_1 = 3,33 \text{ м}; \quad h_{2c} = \frac{2}{3} h_2 = 1,33 \text{ м}.$$

Тогда:

$$F = \frac{5 \cdot 10^5 (5 - 3,33) - 0,8 \cdot 10^5 (2 - 1,33)}{5,5} = 1,42 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Задача 3.2.4. Определить силу суммарного давления воды на плоский щит, перекрывающий канал, и усилие, которое необходимо приложить для подъема щита. Ширина канала $b = 1,8$ м, глубина воды в нем $h = 2,2$ м. Вес щита $G = 15$ кН. Коэффициент трения щита по опорам $f = 0,25$ (рис. 3.6).

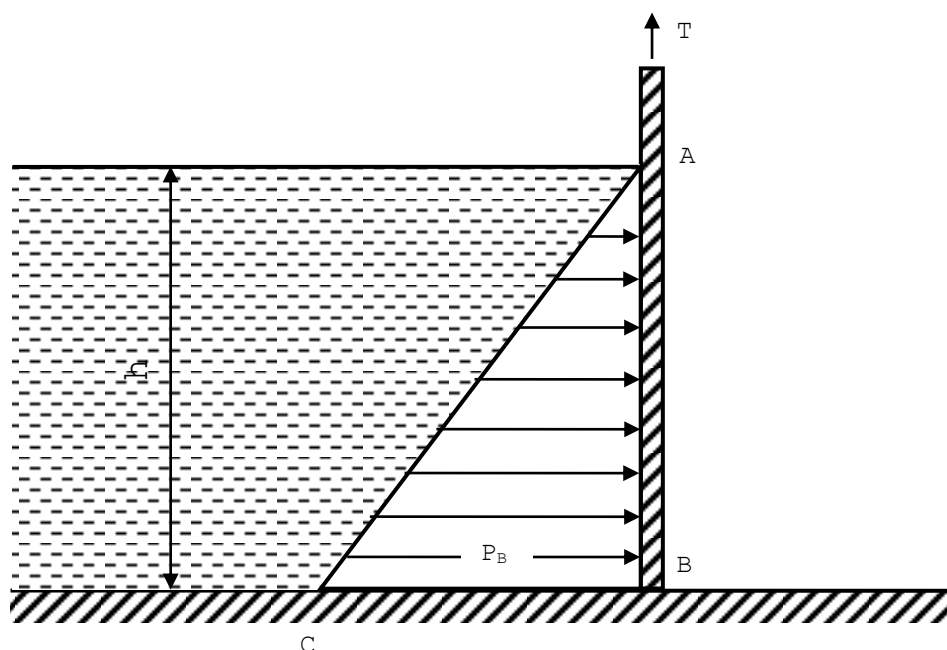


Рисунок 3.6 – К решению задачи 3.2.4

Решение. Силу суммарного давления на щит определим по формулам

$$P = p_c \omega = \rho g h_g b h = \frac{\rho g h^2 b}{2}.$$

Построим эпюру избыточного гидростатического давления.

В точке В гидростатическое давление $p_B = \rho g h$.

Отложим от точки В в направлении, перпендикулярном щиту, величину p_B (со стороны действия давления) и соединим начало полученного вектора (точку С) с точкой А. Полученный треугольник ABC – эпюра гидростатического давления.

По эпюре гидростатического давления определим силу суммарного давления на щит, равную объему этой эпюры:

$$P = \omega_{ABC} b = \frac{AB \cdot BC}{2} b = \frac{\rho g h^2 b}{2}.$$

Полученная формула аналогична записанной ранее. Подставив в эту формулу заданные величины, найдем

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 2,2^2 \cdot 1,8}{2} = 42,7 \cdot 10^3 \text{ Н} = 42,7 \text{ кН}.$$

Определим усилие, необходимое для подъема щита:

$$T = G + fP = 15 + 0,25 \cdot 42,7 = 25,6 \text{ кН.}$$

Задача 3.2.5 Щит, перекрывающий канал, расположен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту и закреплен шарнирно к опоре над водой (рис. 3.7). Определить усилие, которое необходимо приложить к тросу для отрывания щита, если ширина $b = 2$ м, глубина воды перед щитом $H_1 = 2,5$ м, после щита $H_2 = 1,5$ м.

Шарнир расположен над высоким уровнем воды на расстоянии $H_3 = 1$ м. Весом щита и трением в шарнире можно пренебречь.

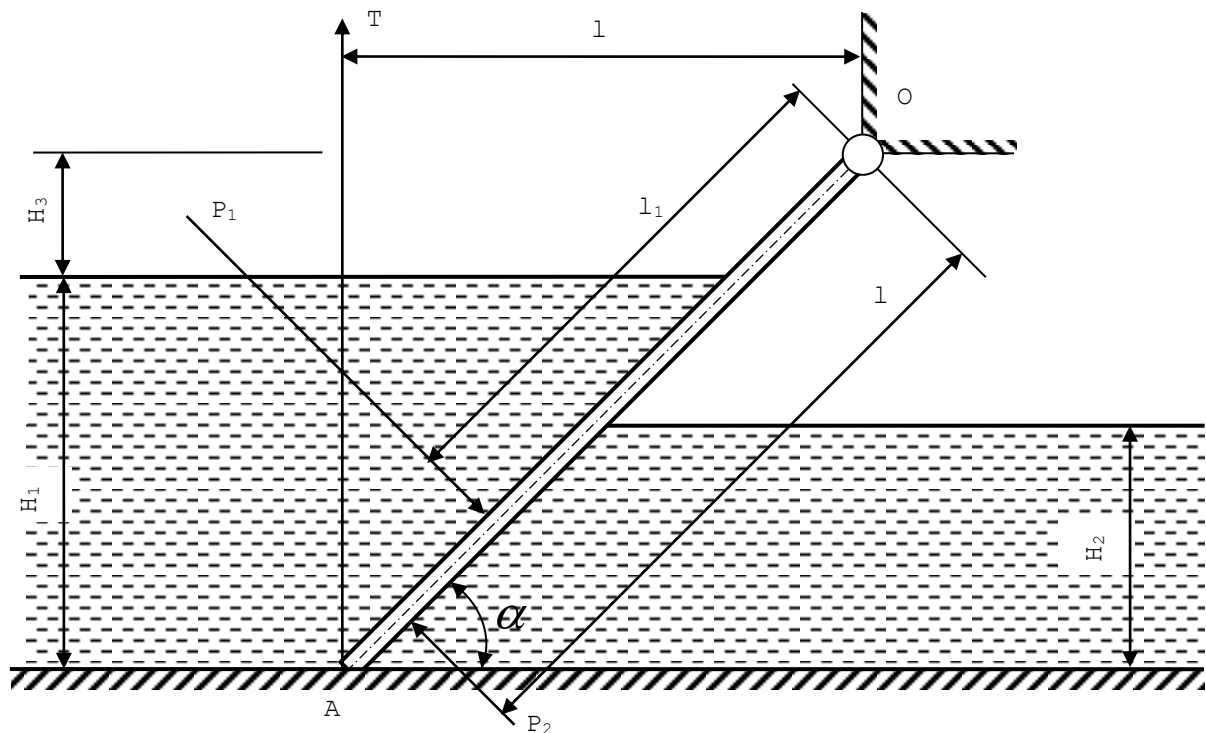


Рисунок 3.7 – К решению задачи 3.2.1

Решение. Сила суммарного давления воды:

слева

$$P_1 = p_c \omega = \rho g \frac{H_1}{2} b \frac{H_1}{\sin \alpha} = \frac{\rho g H_1^2 b}{2 \sin \alpha} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 2,5^2 \cdot 2}{2 \sin 45^\circ} = 86,7 \text{ кН.}$$

справа

$$P_2 = \frac{\rho g H_2^2 b}{2 \sin \alpha} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5^2 \cdot 2}{2 \sin 45^\circ} = 31,25 \text{ кН.}$$

Расстояние от шарнира до центров приложения сил давления:

$$l_1 = \frac{H_3}{\sin \alpha} + \frac{2H_1}{3\sin \alpha} = \frac{1}{\sin 45^\circ} + \frac{2 \cdot 2,5}{3\sin 45^\circ} = 3,77 \text{ кН};$$

$$l_2 = \frac{H_1 + H_3 - H_2}{\sin \alpha} + \frac{2H_2}{3\sin \alpha} = \frac{2,25 + 1 - 1,15}{\sin 45^\circ} + \frac{2 \cdot 1,5}{3\sin 45^\circ} = 4,23 \text{ кН}.$$

Составим уравнение моментов сил относительно шарнира О:

$$M_0 = -P_1 l_1 + P_2 l_2 + T l_3 = 0.$$

Так как $\alpha = 45^\circ$, то $l_3 = H_1 + H_3$.

Следовательно,

$$T = \frac{P_1 l_1 - P_2 l_2}{l_3} = \frac{86,7 \cdot 3,77 - 31,25 \cdot 4,23}{2,5 + 1} = 58,5 \text{ кН}.$$

3.3 Контрольные задачи

Задача 3.3.1. В плотине сделан прямоугольный проём размером $H \times C$, через который вода поступает к турбине. При ремонте турбины этот проем закладывается семью специальными балками – шандорами. Размер каждой шандоры $h \times B = 1,2 \times 3,4$ м. Все шандоры имеют по две пары катков (см. Рисунок 3.8).

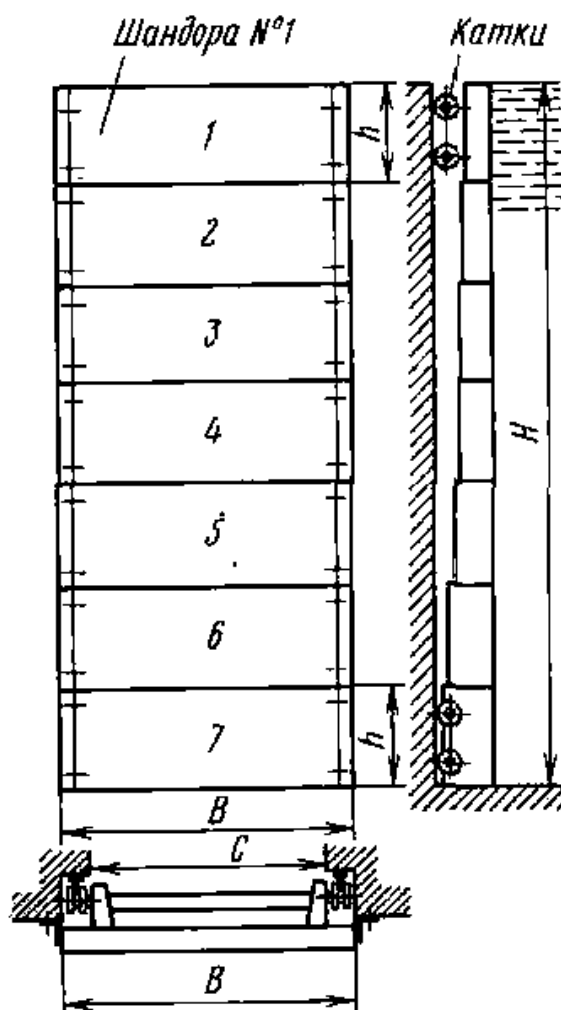


Рисунок 3.8 – К решению задачи 3.3.1

1. Определить силы давления воды P_1 и P_7 на первую и седьмую шандоры и максимальные изгибающие моменты M_1 и M_7 для этих шандор, считая катки расположенными на концах шандор, а шандоры – свободно опертыми. Изгибающий момент определяется по формуле $M = \frac{P \cdot L}{8}$, Н·м.
2. Найти расстояния Δh_1 и Δh_7 между центром давления и центром тяжести смоченной поверхности для первой и седьмой шандор.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

Закон Архимеда. Плавание тела

1 ЦЕЛЬ.

На примере решения задач определить силы, действующие на погруженное тело.

2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ИЛИ ИХ ЧАСТИ

Выполнение практической работы способствует формированию у студентов следующих компетенций:

ПК – 6 Быть готовым к проектированию, выбору и эксплуатации оснастки машиностроительного производства;

ПК – 8 Быть готовым выбирать, проектировать и эксплуатировать средства автоматизации машиностроительного производства

ПК – 9 Быть способным к проведению диагностики, регламентному обслуживанию, ремонту и эксплуатации оборудования машиностроительного производства.

4.1 Теоретическая часть

4.1.1 Закон Архимеда

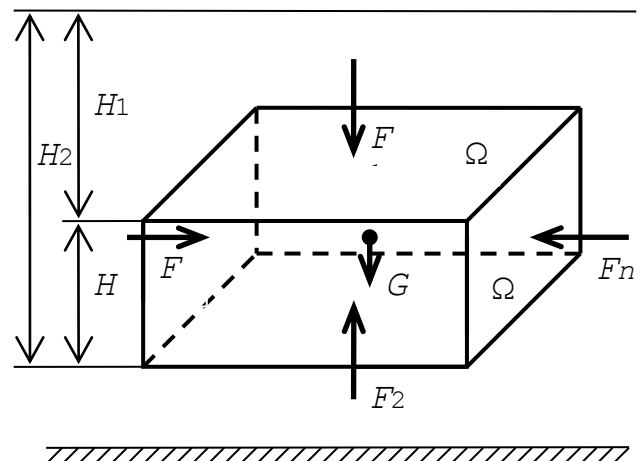
Закон Архимеда о силе, действующей на погруженное в воду тело, был сформулирован Архимедом за 250 лет до н. э.

На погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной этим телом.

Рассмотрим силы, действующие на погруженное в жидкость тело (рис. 4.1):

- сила давления сверху $F_1 = \rho g H_1 \Omega$,
- сила давления снизу $F_2 = \rho g H_2 \Omega$,
- сила давления со стороны F_n ,
- сила веса тела G .

Сумма сил давления со стороны боковых граней равна нулю



(т. к. они равны по величине, но направлены в разные стороны).

Рисунок 4.1 – К выводу закона Архимеда

Суммарная сила давления на погруженное тело – выталкивающая сила (сила Архимеда) равна:

$$F = F_2 - F_1 = \rho g \Omega (H_2 - H_1) = \rho g H \Omega,$$

где $H \Omega$ – объем тела V

Тогда сила Архимеда $F_{арх} = \rho g H \Omega = \rho g V$.

4.1.2 Плавание тела

Из закона Архимеда следует, что на тело, погруженное в жидкость, в конечном счете действуют две силы: сила тяжести (вес тела) G и выталкивающая архимедова сила $F_{арх}$. При этом могут иметь следующие основные случаи (рис. 4.2).

1. Если плотность жидкости и тела одинаковы ($\rho = \rho_{тела}$), то наблюдается безразличное равновесие, т. к. $G = F_{арх}$, т. е. тело можно поместить на любую глубину, и оно не будет ни всплывать, ни тонуть.

2. Если плотность жидкости меньше плотности тела ($\rho < \rho_{тела}$), то сила веса больше выталкивающей силы $G > F_{арх}$ и их равнодействующая направлена вниз. Тело будет тонуть.

3. Если плотность жидкости больше плотности тела ($\rho > \rho_{тела}$), вес меньше выталкивающей силы $G < F_{арх}$. Погруженное в жидкость тело будет всплывать до тех пор, пока вследствие выхода части его над поверхностью жидкости архимедова сила не уравновесит вес тела. Тело будет плавать на поверхности.

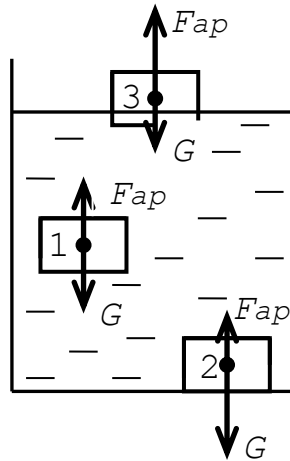


Рисунок 4.2 – Плавание тел

4.2 Примеры решения задач

Задача 4.2.1. В обычных условиях человек поднимает без труда стальную гирию массой $m_1 = 30$ кг. Стальную гирию какой массы человек может поднять без труда под водой, если $\rho_B = 10^3$ кг/м³; $\rho_{cm} = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³?

Решение. Согласно закону Архимеда:

$$W_1 = \frac{1}{\rho_B m_1}; \quad W_2 = \frac{1}{\rho_{cm} m_2},$$

где W_1 – объем стальной гири; W_2 – объем воды в объеме стальной гири,

причем $W_1 = W_2$, или $\frac{1}{\rho_B m_1} = \frac{1}{\rho_{cm} m_2}$.

Следовательно, масса воды в объеме стальной гири

$$m_2 \frac{m_1 \rho_B}{\rho_{cm}} = \frac{30 \cdot 1000}{7800} = 3,8 \text{ кг},$$

тогда масса гири, которую человек может поднять под водой, составит

$$m = m_1 + m_2 = 30 + 3,8 = 33,8 \text{ кг}.$$

Задача 4.2.2. Прямоугольная баржа размером $l \times b \times H = 60 \times 8 \times 3,5$ м (рис 4.3) наполнена песком относительной плотностью $\rho_n = 2,0$ кг/м³ и весом $G = 1440 \cdot 10^4$ Н. Определить осадку баржи h ; объем песка, который необходимо отгрузить с баржи, чтобы осадка не превышала $h = 1,2$ м ($\rho_s = 1000$ кг/м³).

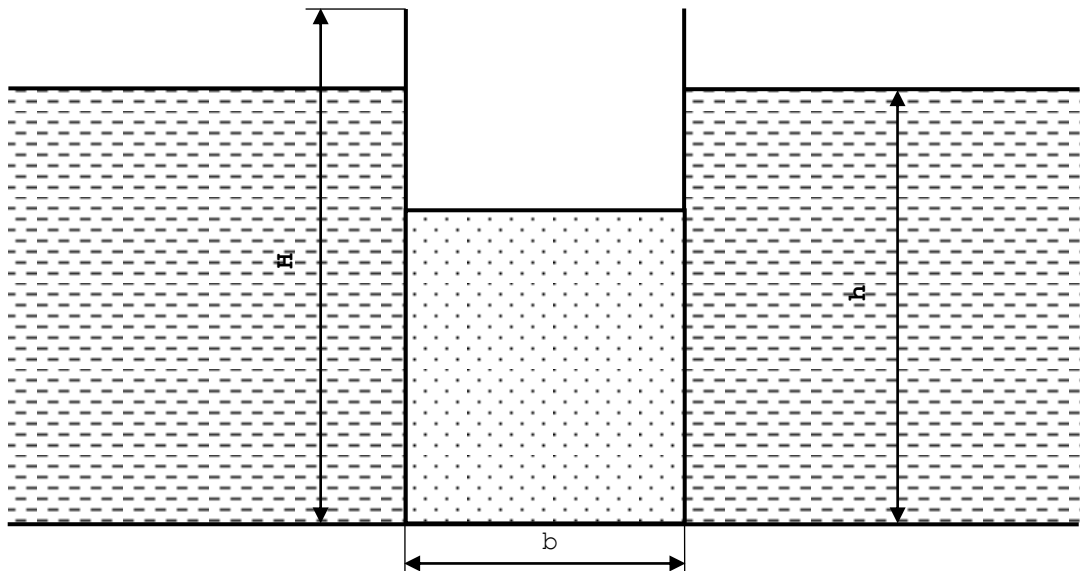


Рисунок 4.3 – К решению задачи 4.2.2

Решение. Согласно закону Архимеда:

$$G = P_A,$$

где $G = \rho_n g W_n$; $P_A = \rho_{\text{с}} g W_{\text{с}}$; $W_{\text{с}} = lbh$.

Отсюда
$$h = \frac{W_{\text{с}}}{lb}.$$

так как
$$W_{\text{с}} = \frac{G}{\rho_{\text{с}} g},$$

то
$$h = \frac{G}{\rho_{\text{с}} g lb} = \frac{1440 \cdot 10^4}{10^3 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 8} = 3 \text{ м.}$$

Определим количество песка при $h = 1,2$ м:

$$P_A = \rho_{\text{с}} g W_{\text{с}}' = 10^4 (60 \cdot 8 \cdot 1,2) = 576 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Так как $G = P_A$ и $G = \rho_n g W_n$, то
$$W_n = \frac{576 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^4} = 288 \text{ м}^3.$$

Задача 4.2.3. Лодка плавает по воде (рис. 4.4). Определить глубину погружения H . Сколько человек (массой 67,5 кг каждый) может разместиться в лодке при условии, что она не погрузится полностью (плотность лодки $\rho_{\text{тс}} = 700 \text{ кг/м}^3$); $h = 0,3$ м; $a = 0,3$ м; $b = 5$ м?

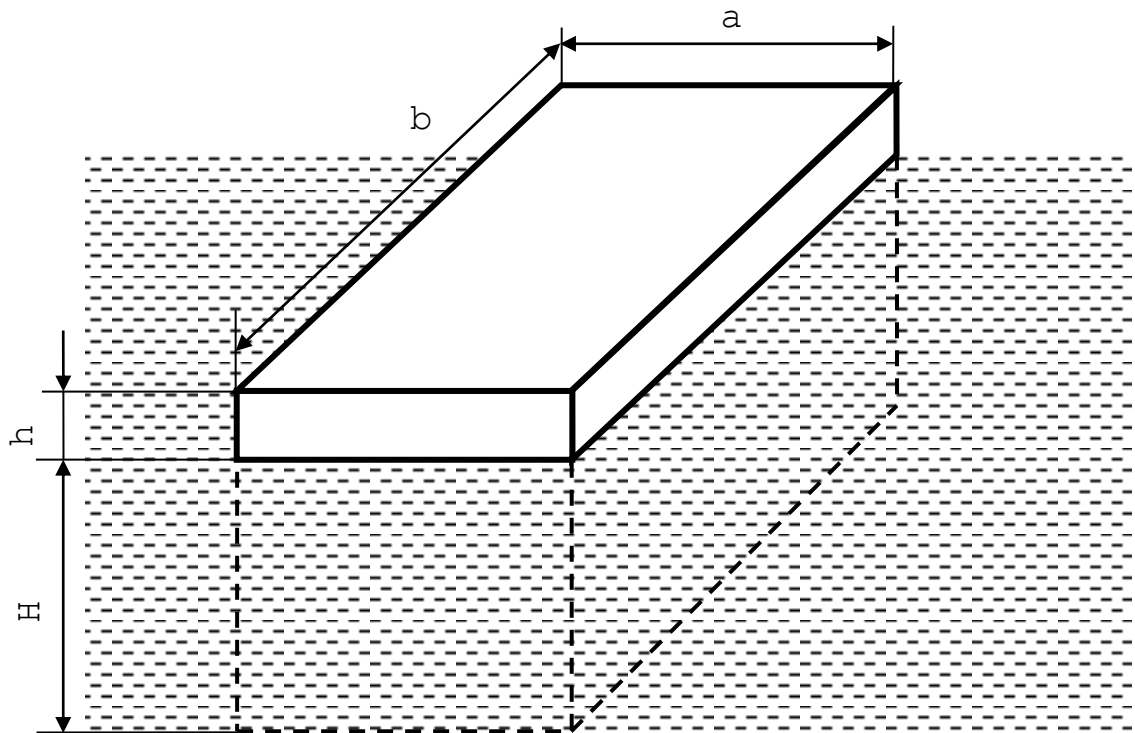


Рисунок 4.4 – К решению задачи 4.2.3

Решение. Согласно закону Архимеда, $G = P_A$, где

$$G = \rho_{\text{мб}} g ((H + h)ab) = 700 \cdot 10 (H + 0,3) \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 10500 (H + 0,3);$$

$$P_A = \rho_{\text{с}} g H a b = 0,7 \cdot 1000 \cdot 10 ((H + 0,3) 0,3 \cdot 5) = 15000 \text{ Н},$$

откуда $H = 0,7 \text{ м}$.

Вес лодки с людьми составит

$$G_{\text{мб}} + \sum G_{\text{чел}} = P_A;$$

$$\sum G_{\text{чел}} = P_A - G_{\text{мб}} = [\rho_{\text{с}} g (ab(H + h))] - [\rho_{\text{мб}} g (ab(H + h))] = 10^4 \cdot 1,5 - 0,7 \cdot 10^4 \cdot 1,5 = 45 \cdot 10^4$$

Отсюда

$$n = \frac{\sum G_{\text{чел}}}{67,5g} = \frac{45 \cdot 10^2}{67,5 \cdot 10} = 6 \text{ чел.}$$

4.3 Контрольные задачи

Задача 4.3.1. Медный шар $d = 100 \text{ мм}$ весит в воздухе $45,7 \text{ Н}$, а при погружении в жидкость $40,6 \text{ Н}$. Определить плотность жидкости.

Задача 4.3.2. Покоящийся на неподвижном поршне и открытый сверху и снизу сосуд массой $m = 16 \text{ кг}$ состоит из двух цилиндрических частей,

внутренние диаметры которых $D = 0,5$ м и $d = 0,3$ м (см. рисунок 4.5).
 Определить какой минимальный объем W воды должен содержаться в
 верхней части сосуда, чтобы сосуд всплыл над поршнем. Трением сосуда о
 поршень пренебречь.

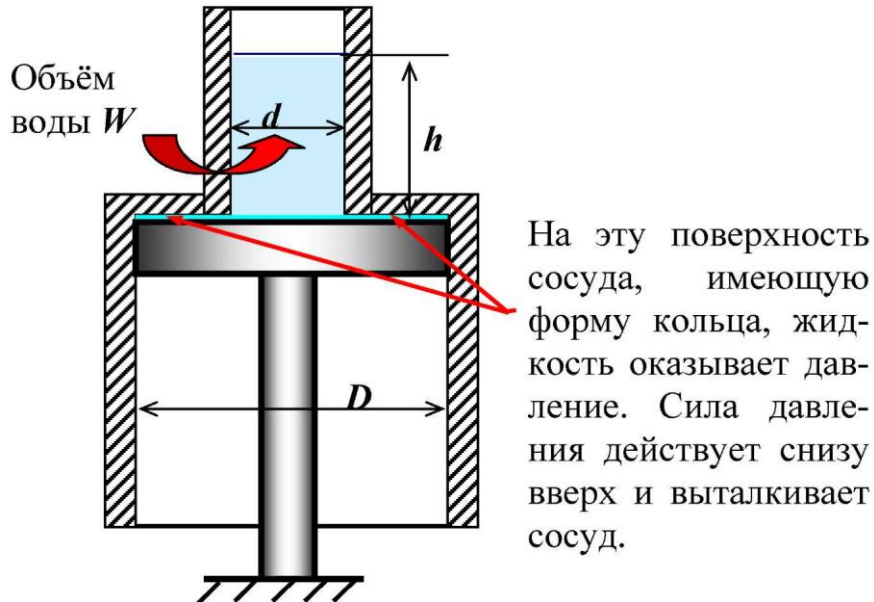


Рисунок 4.5 – К решению задачи 4.3.2

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли

1 ЦЕЛЬ.

На примере решения задач определить уравнение неразрывности.

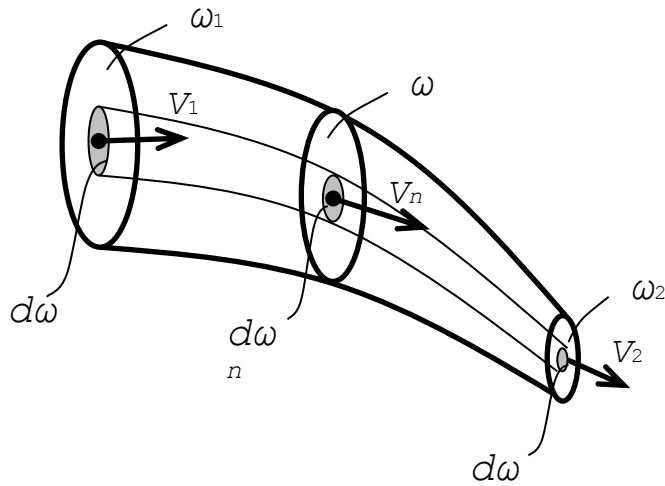


Рисунок 5.1 – К уравнению

2 ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ИЛИ ИХ ЧАСТИ

Выполнение практической работы способствует формированию у студентов следующих компетенций:

ПК – 6 Быть готовым к проектированию, выбору и эксплуатации оснастки

машиностроительного производства;

ПК – 8 Быть готовым выбирать, проектировать и эксплуатировать средства автоматизации машиностроительного производства

ПК – 9 Быть способным к проведению диагностики, регламентному обслуживанию, ремонту и эксплуатации оборудования машиностроительного производства.

5.1 Теоретическая часть

5.1.1 Уравнение неразрывности (сплошности)

Основываясь на законе сохранения вещества, на предположении о сплошности течения и на свойстве трубки тока (ее непроницаемости) можно утверждать, что расход во всех сечениях элементарных струек один и тот же (рис. 27).

$$dQ = V_1 d\omega_1 = V_2 d\omega_2 = \text{const.}$$

Это и есть уравнение неразрывности (сплошности) для элементарной струйки, которое формулируется так: *элементарный расход жидкости при установившемся движении есть величина постоянная для всей элементарной струйки.*

Аналогичное уравнение составим и для потока конечных размеров, введя среднюю скорость.

$$Q = V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = V_3 \omega_3 = \dots = V_n \omega_n = \text{const}.$$

Уравнение неразрывности для потока жидкости читается так: *расход жидкости через любое сечение потока при установившемся движении есть величина постоянная.*

5.1.2 Уравнение Бернулли

Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения энергии применительно к движущемуся потоку жидкости. Оно устанавливает связь между удельной потенциальной, удельной кинетической энергией и удельной энергией, затрачиваемой на преодоление сопротивлений движению жидкости, на участке от сечений 1–1 до N–N.

Для установившегося потока вязкой жидкости, движущейся от сечения 1–1 до сечения 6–6, (рис. 4.1) уравнение Бернулли представлено в виде формулы (4.1).

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} = z_6 + \frac{p_6}{\rho g} + \frac{\alpha_6 \cdot v_6^2}{2g} + h_{1-6}, \quad (4.1)$$

где z_1 и z_6 – высота центров тяжести живых сечений 1–1 и 6–6 по отношению к горизонтальной плоскости сравнения, м;

v_1 и v_6 – средняя скорость движения жидкости в живых сечениях 1–1 и 6–6, м;

p_1 и p_6 – давление в центрах тяжести сечений 1–1 и 6–6, Па;

α_1 и α_6 – коэффициент Кориолиса (учитывает неравномерность распределения скоростей по живому сечению потока реальной жидкости); $\alpha = 2$ – для ламинарного режима движения жидкости; $\alpha = 1$ – для

турбулентного режима движения;

h_{1-6} – потери напора на преодоление сопротивлений движению жидкости, м.

Уравнение Бернулли имеет энергетический и геометрический смысл. Энергетический смысл заключается в том, что каждый член уравнения представляет собой удельную энергию – энергию, отнесенную к единице веса жидкости, а геометрический смысл заключается в том, что каждый член представляет собой высоту:

z – удельная потенциальная энергия положения или геометрическая высота;

$\frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия давления или пьезометрическая высота;

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия или скоростная высота (скоростной напор).

Сумма геометрической высоты z и пьезометрической высоты $\frac{p}{\rho g}$ называется пьезометрическим напором (удельной потенциальной энергией).

Линия, изображающая изменение удельной потенциальной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется пьезометрической линией.

Линия, изображающая изменение полной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется напорной линией.

В зависимости от изменения живого сечения вдоль потока, происходит перераспределение удельной потенциальной $z + \frac{p}{\rho g}$ и удельной кинетической

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ энергии. При уменьшении площади живого сечения потока увеличивается средняя скорость потока v и, следовательно, возрастает

удельная кинетическая энергия $\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$, а потенциальная энергия $z + \frac{p}{\rho g}$, соответственно, уменьшается (см. Рисунок 5.2).

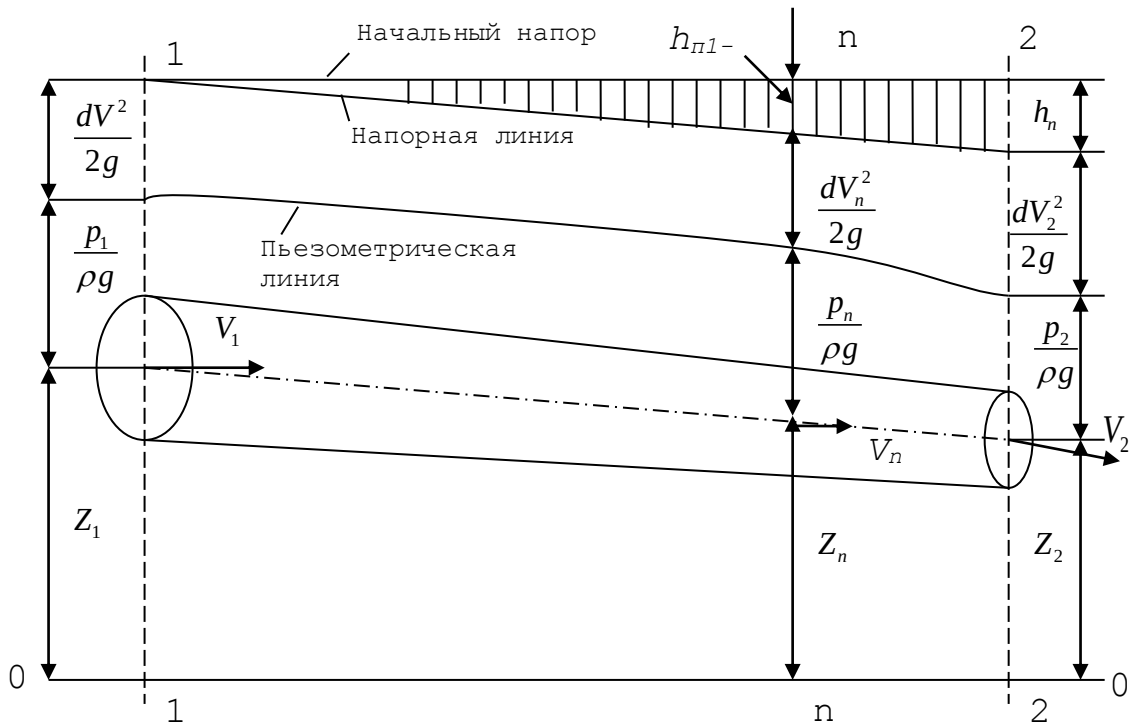


Рисунок 5.2 – Пример построения пьезометрической и напорной линии для реальной жидкости

Гидродинамический напор (полная удельная энергия) по направлению движения потока реальной жидкости непрерывно уменьшается из-за наличия сил внутреннего трения и трения жидкости о стенки трубопровода, в то время как пьезометрический напор не всегда уменьшается.

Пьезометрическая высота $\frac{p}{\rho g} \left(\frac{p}{\gamma} \right)$ измеряется с помощью прозрачных трубок (пьезометров), герметически присоединенных к отверстию в стенке трубопровода.

Для измерения полной энергии используются гидродинамические трубки (ГДТ или трубки Пито) с нижним концом, погруженным на ось трубопровода и отогнутым против направления движения жидкости (см. рисунок 5.3). Уровень воды в ГДТ поднимается выше, чем уровень в

пъезометрах на величину скоростной высоты $\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ (см. рисунок 5.4).

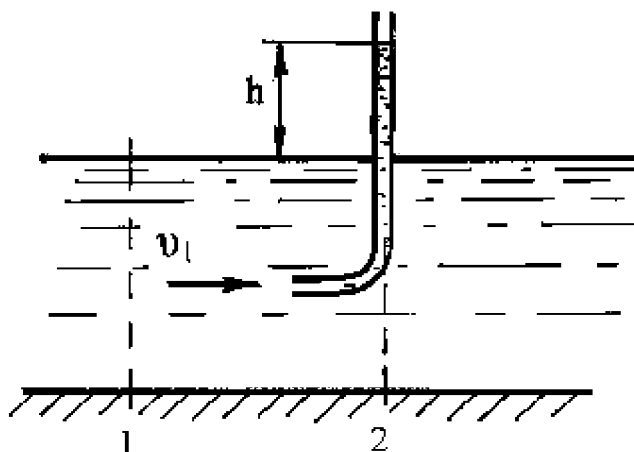


Рисунок 5.3 – Схема трубки Пито

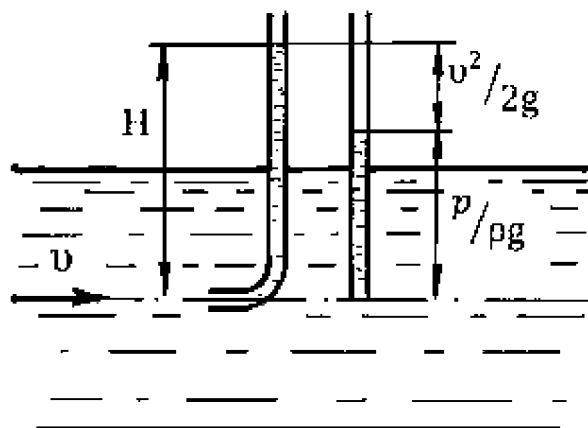


Рисунок 5.4 – Схема трубки Пито-Прандтля

При решении задач можно воспользоваться схемой к уравнению Бернулли (приложение А).

5.2 Примеры решения задач

Задача 5.2.1. Расход идеальной жидкости относительно плотности $\delta = 0,860$ в расширяющемся трубопроводе с диаметром $d_1 = 480$ мм (сечение 1 – 1) и $d_2 = 945$ мм (сечение 2 – 2) равен $Q = 0,18$ м³/с (рис. 5.5). Разница в позициях центра сечений равна 2 м. Показания манометра в сечении 1 – 1 равно $p_1 = 3 \cdot 10^5$ Н/м². Определить скорость жидкости в сечениях 1 – 1 и 2 – 2; давление p_2 в сечении 2 – 2.

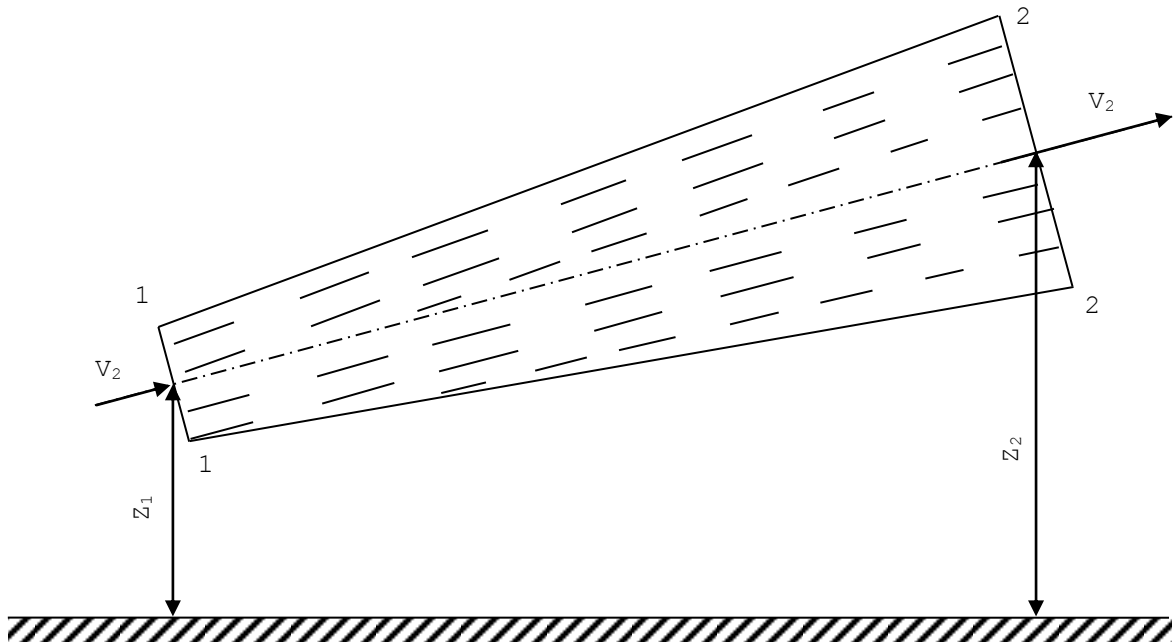


Рисунок 5.5 – К решению задачи 5.2.1

Решение. Сечение 1 – 1 проведем через место подключения манометра, а плоскость О – О расположим на уровне z_1 и z_2 от центров сечений 1–1 и 2 – 2, тогда

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = 0,995 \text{ м/с}; \quad v_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = 0,257 \text{ м/с}.$$

Относительная плотность жидкости $\delta = \frac{\rho_{жс}}{\rho_в}$, откуда

$$\rho_{жс} = \rho_в \delta = 10^3 \cdot 0,860 = 860 \text{ кг/м}^3.$$

Используем уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h.$$

Предположив, что режим течения турбулентный ($\alpha_1 = \alpha_2 = 1$), и пренебрегая потерями ($\Delta h = 0$), получим

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 + \rho_{жс} g \Delta z + \frac{\rho_{жс}}{2} (v_1^2 - v_2^2) = 3 \cdot 10^5 + 860 \cdot 10 \cdot 2 + \frac{860}{2} (0,995^2 - 0,257^2) = \\ &= 3 \cdot 10^5 + 0,17 \cdot 10^5 + 0,004 \cdot 10^5 = 3,174 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2. \end{aligned}$$

Задача 5.2.2 Вода протекает по водомеру Вентури, состоящему из трубы диаметром $D_1=20$ см, в которую вставлен участок трубы диаметром $D_2=10$ см (см. рисунок 5.6). Пренебрегая сопротивлением, определить расход воды, если в пьезометрах Π_1 и Π_2 разность показаний $h=0,25$ м.

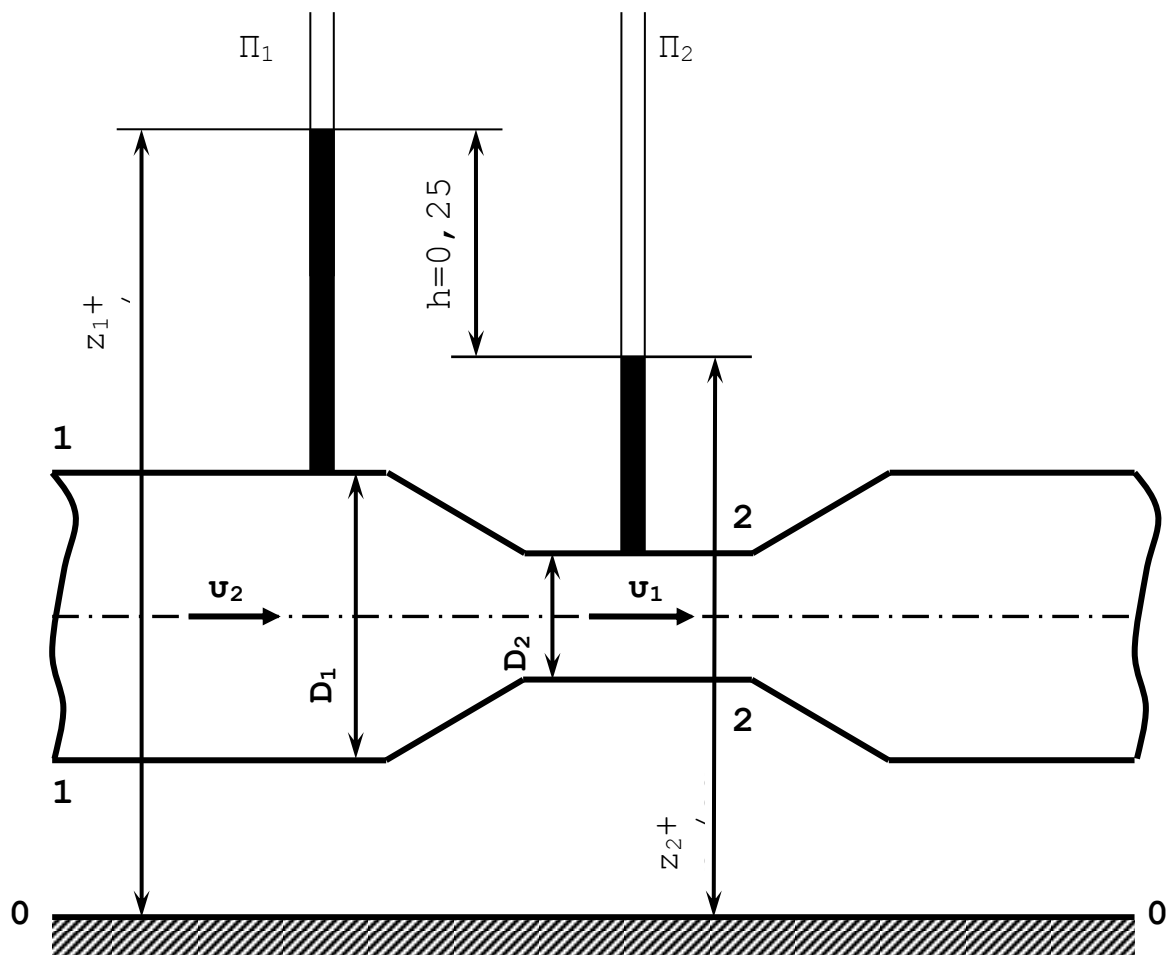


Рисунок 5.6 – К решению задачи 5.2.2

Решение. Составим уравнение неразрывности и уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2;$$

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

или

$$v_1 \frac{\pi D_1^2}{4} = v_2 \frac{\pi D_2^2}{4};$$

$$h + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$$

так как $\left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g}\right) = h$.

Преобразуя эти уравнения, получим

$$v_1 D_1^2 = v_2 D_2^2; \text{ откуда}$$

$$v_1 = v_2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad (5.4)$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = h. \quad (5.5)$$

Подставив (5.4) в (5.5), получим

$$\frac{v_2^2 - v_2^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}{2g} = h, \text{ или } \frac{v_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right] = h.$$

Отсюда

$$\frac{v_2^2 - v_2^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}{2g} = h, \text{ или } v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}}.$$

Расход определим по формуле

$$Q = \omega_2 v_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,25}{1 - \left(\frac{0,1}{0,2} \right)^4}} = 0,018 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В действительности расход будет несколько меньше вследствие потерь энергии, которыми пренебрегаем для упрощения решения.

5.3 Контрольные задачи

Задача 5.3.1. Труба, по которой течет масло, имеет переменное сечение. Определить скорость во втором сечении, если скорость в первом сечении $v_1 = 0,05$ м/с; $d_1 = 0,2$ м; $d_2 = 0,1$ м.

Задача 5.3.2. По трубопроводу диаметром $d = 150$ мм перекачивается нефть плотностью $\rho = 800$ кг/м³ в количестве 1200 т в сутки. Определить секундный объемный расход нефти Q и среднюю скорость ее течения v .

Задача 5.3.3. По полностью затопленному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью $v = 0,2$ м/с. Определить расход жидкости Q , если гидравлический радиус равен $R = 0,015$ м.

Задача 5.3.4. Определить на какую высоту поднимется вода в трубке, один конец которой присоединен к суженному сечению трубопровода, а другой коней опущен в воду (см. рисунок 5.7). Расход воды в трубе $Q = 0,025$ м³/с; избыточное давление $p_1 = 49$ кПа; диаметры $d_1 = 100$ мм и $d_2 = 50$ мм. Потерями напора пренебречь.

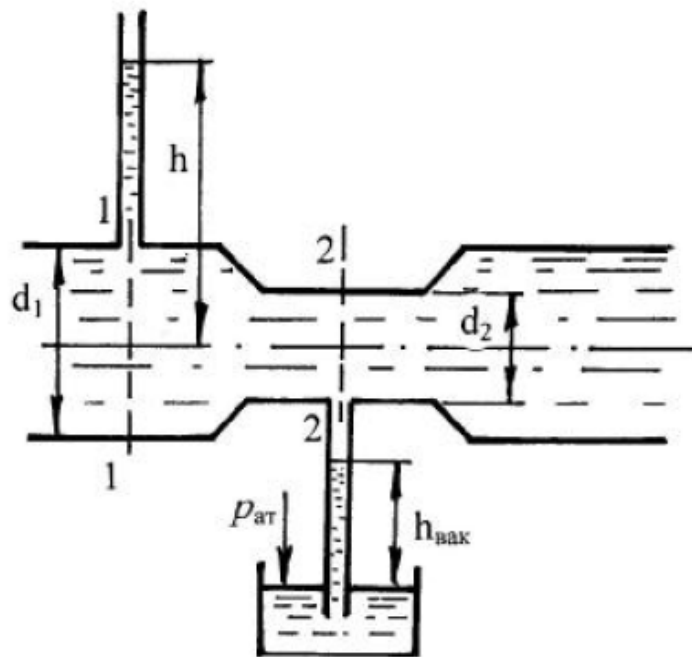
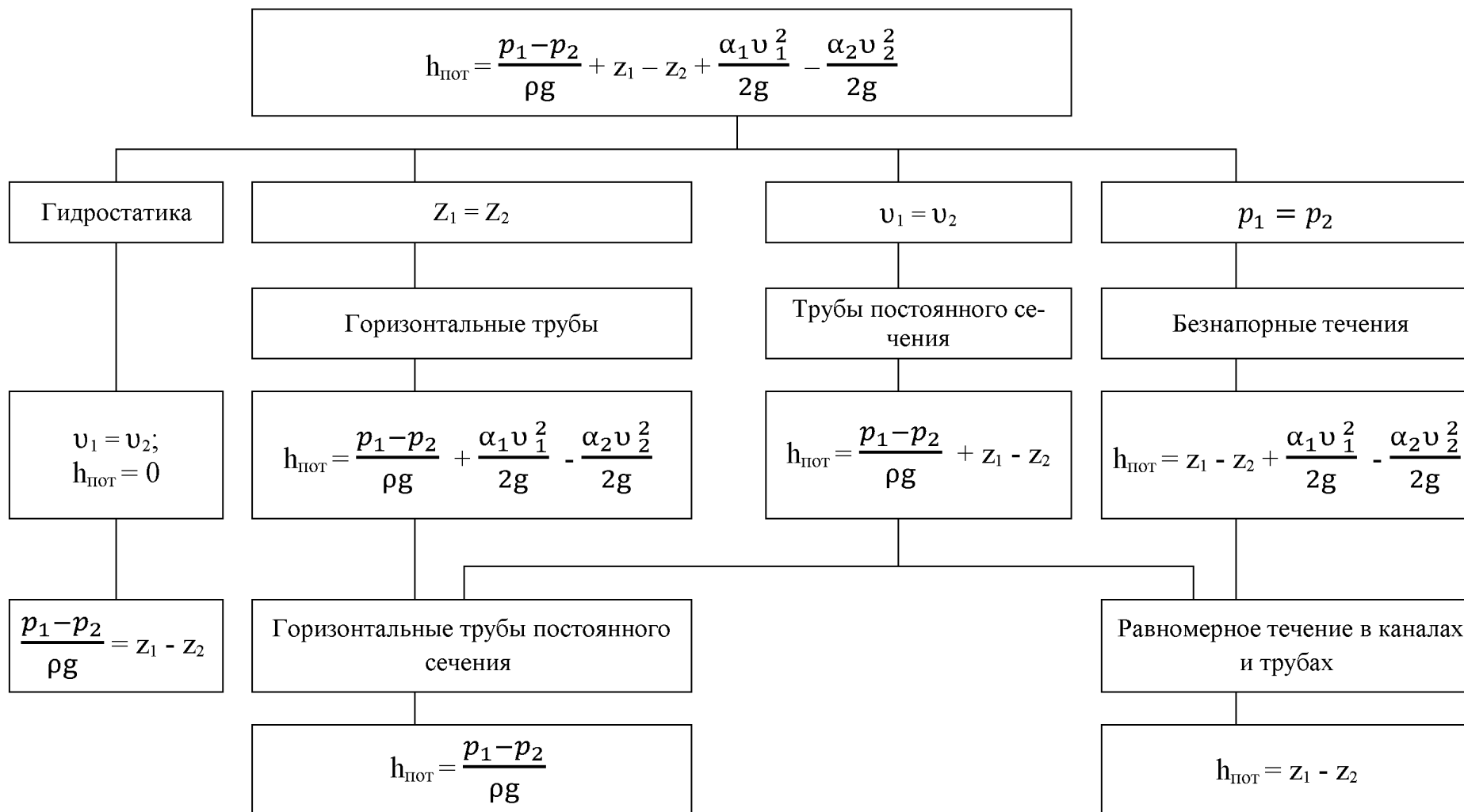


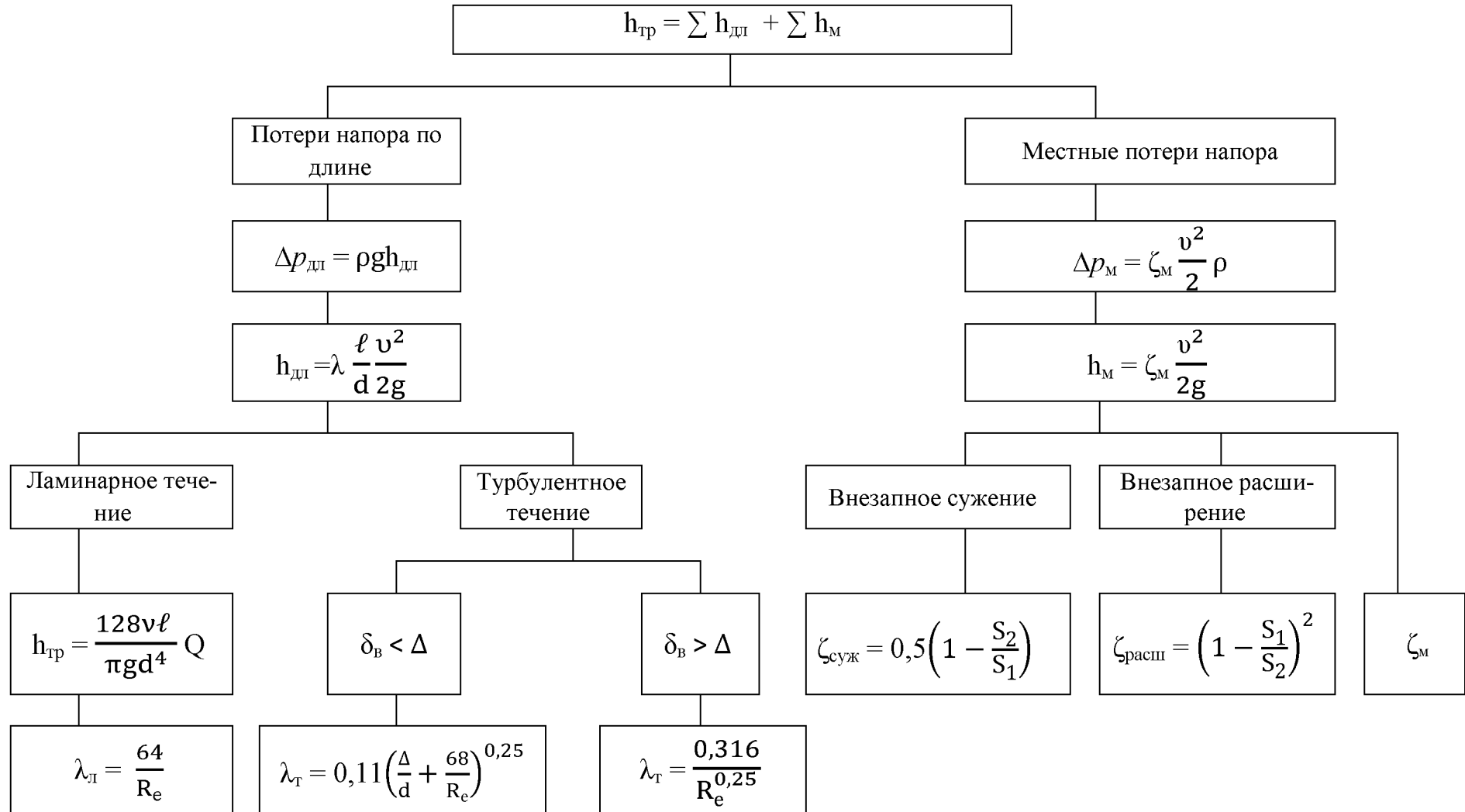
Рисунок 5.7 – К решению задачи 5.3.4

ПРИЛОЖЕНИЯ А
Схема к уравнению Бернулли



ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Схема к определению потерь напора в круглых трубах



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Основная учебная литература

5. Артемяева, Т.В. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы в примерах решения задач. / Т.В. Артемяева. – М.: Академия, 2013.
6. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений: Учебник/ Е.Н. Бухаркин, В.М. Овсянников, К.С. Орлов и др.; Под ред. Ю.П. Соснина. – М.: Высшая школа, 2013.
7. Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учебное пособие для вузов/ В.И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков. – М.: Стройиздат, 2013.
8. Метревели, В.Н. Сборник задач по курсу гидравлики с решениями: Учеб. Пособие для вузов / В.Н. Метревели. – М.: Высш. шк., 2014. – 192 с.

2 Дополнительная литература

4. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов. – М.: Машиностроение, 1982г. – 423 с.
5. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Примеры расчетов по гидравлике. – М.: Стройиздат, 1976. – 256с.
6. Константинов М.П., Петров Н.А., Александров В.А. Примеры гидравлических расчетов. – М.: Транспорт, 1987. – 440с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**по организации и проведению самостоятельной
работы**

по дисциплине «Гидрогазодинамика»

для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность

Ставрополь, 2026

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за

развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнение контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений магистров;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы магистрантов направлена на решение следующих задач:

- а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;
- б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;
- в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;
- г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой

литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;
- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- защита лабораторной работы,

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной

деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

– в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.