

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Югорский государственный университет»
НИЖНЕВАРТОВСКИЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИКУМ (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Югорский государственный университет»



КОМПЛЕКС
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
по МДК 02.01 Эксплуатация нефтегазового оборудования

Методические указания
к выполнению лабораторно-практических занятий
для студентов образовательных учреждений
среднего профессионального образования
всех форм обучения (очная, заочная)
специальности
21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений


Часть 2

Нижневартовск 2016

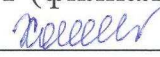
ББК 30.82

Э-41

РАССМОТРЕНО

На заседании ПЦК «МД»
Протокол № 1 от 14 января 2016 г.
Председатель ПЦК
 Л. Г. Таранина

УТВЕРЖДАЮ

Председатель методического совета
ННТ (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»
 Р. И. Хайбулина
«28» января 2016г.

Методические указания к выполнению лабораторно-практических занятий для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования всех форм обучения (очная, заочная) специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений по дисциплине МДК 02.01 Эксплуатация нефтегазового оборудования, часть 2 разработаны в соответствии с:

1. Федеральным государственным образовательным стандартом по специальности среднего профессионального образования 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, утвержденным приказом № 482 от 12.05.2014г.

2. Программой профессионального модуля 02 Эксплуатация нефтегазового оборудования, утв. 11.09.2015г.

Разработчик:

Тетикли Надежда Михайловна, высшая квалификационная категория, преподаватель Нижневартовского нефтяного техникума (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

Рецензенты:

1. Таранина Л.Г., высшая квалификационная категория, преподаватель Нижневартовского нефтяного техникума (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

2. Коростелева И.В., ведущий геолог АО «Самотлорнефтегаз».

Замечания, предложения и пожелания направлять в Нижневартовский нефтяной техникум (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет» по адресу: 628615, Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ, г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.

©Нижневартовский нефтяной техникум (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»,
2016

ВВЕДЕНИЕ

Комплекс лабораторно-практических занятий соответствует Федеральным государственным образовательным стандартам (далее ФГОС) по специальности среднего профессионального образования 21.02.01 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Цель методической разработки: закрепление полученных теоретических знаний, приобретение расчетных навыков и навыков работы со схемами, таблицами. Представленные задачи могут быть использованы для самостоятельной работы студентов.

Программа профессионального модуля 02 «Эксплуатация нефтегазового промышленного оборудования» является программой подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ) по специальности 21.02.01 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Программа профессионального модуля 02 «Эксплуатация нефтегазового промышленного оборудования» является профессиональной, устанавливающей базовые знания для освоения других специальных дисциплин.

Междисциплинарный курс 02.01 «Эксплуатация нефтегазового промышленного оборудования» предусматривает изучение разделов по гидравлики и термодинамики применительно к основным процессам нефтяной промышленности и газовой.

В результате освоения междисциплинарного курса 02.01 «Эксплуатация нефтегазового промышленного оборудования» студент **должен**

уметь:

- производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики и теплопередачи;
- определять физические свойства жидкости;
- выполнять гидравлические расчеты трубопроводов;

знать:

- основные понятия, законы и процессы термодинамики и теплопередачи;
- методы расчета термодинамических и тепловых процессов;
- классификацию, особенности конструкции, действия и эксплуатации котельных установок, поршневых двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных и теплосиловых установок;
- основные физические свойства жидкости;
- общие законы и уравнения гидростатики и гидродинамики;
- методы расчёта гидравлических сопротивлений движущейся жидкости.

Данные методические указания разработаны с целью оказания помощи студентам всех форм обучения среднего специального заведения при организации их самостоятельной работы по овладению системой знаний, умений и навыков, решения технологических задач.

Цель методической разработки: закрепление полученных теоретических знаний, приобретение расчетных навыков и навыков работы с графиками, схемами, таблицами.

ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Номер темы	Номер и наименование занятия	Количество аудиторных часов
1	2	3
4.1	Лабораторное занятие №1. Изучение приборов для измерения вязкости и плотности жидкости	4
	Всего	4
5.2	Практическое занятие №9. Определение разности уровней воды в резервуарах	2
5.3	Практическое занятие №10. Изучение закона Архимеда	2
	Практическое занятие №11. Решение задач по гидростатике	2
	Лабораторная работа №2. Изучение приборов для измерения давления	2
	Всего	8
6.2	Лабораторное занятие №3. Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли	4
6.3	Практическое занятие №12. Определение расхода средних скоростей и давлений в сечениях трубопровода	2
	Практическое занятие №13. Применение основного уравнения гидродинамики при решении задач	2
	Всего	8
7.1	Практическое занятие № 4. Решение задач на тему гидравлические сопротивления	2
	Практическое занятие №15. Определение показаний манометра в начале нагнетательной линии. Определение полезной мощности насоса	2
	Практическое занятие №16. Определение линейных потерь напора по длине трубопровода	2
	Всего	6
8.2	Практическое занятие №17. Расчет сложных трубопроводов	4
8.4	Практическое занятие №18. Расчет гидравлического удара в трубах	2
8.4	Практическое занятие №19. Расчет простого трубопровода	2
	Всего	8
9.1	Практическое занятие №20. Движение вязкопластичных жидкостей по трубопроводу	2
	Всего	2
	Итого	52

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №1

ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

Цель: Изучить устройство и принцип действия приборов.

Общие сведения:

Плотность – это количество массы жидкости, содержащееся в единице ее объема.

$$\rho = \frac{m}{V}; \text{кг/м}^3 \quad (1.1)$$

где m - масса жидкости, кг;
 V - объем, м³.

Вязкость – это свойство жидкости воспринимать касательные усилия (силы трения).

1. **кинематическая вязкость** – отношение динамической вязкости к плотности жидкости.

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

2. **динамическая вязкость** – произведение кинематической вязкости и плотности жидкости.

$$\mu = \nu \cdot \rho; \text{Па} \cdot \text{с} \quad (1.3)$$

Ньютоновские жидкости – жидкости, подчиняющиеся закону вязкого трения Ньютона.

Закон Ньютона – силы внутреннего трения между слоями жидкости пропорциональны площади соприкосновения этих слоев и градиенту скорости между ними (рис. 1.1).

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dn}; \quad (1.4)$$

где τ - касательное напряжение;
 μ - динамическая вязкость, Па*с;
 du/dn - быстрота изменения скорости слоев вдоль нормали «n».

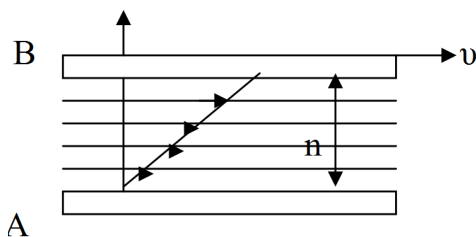


Рис. 1.1 – Схема течения жидкости
А – неподвижная пластина;
В – подвижная пластина;
n – расстояние между пластинами;
v – скорость подвижной пластины.

Ход работы:

В производственных условиях наиболее часто приходится измерять плотность и вязкость жидкости, так как эти показатели оказывают наибольшее влияние на производственные процессы. Например, неправильно подобранная плотность бурового раствора при бурении скважин может привести к аварии (выбросу), а от вязкости нефтепродуктов зависит мощность перекачивающих насосов.

1. Приборы для измерения плотности жидкости.

Плотность жидкости обычно определяют **пикнометрами** или **ареометрами**.

1.1. **Пикнометр** – колбочка фиксированного объема, которая взвешивается на аналитических весах дважды: пустая и заполненная исследуемой жидкостью. Разность их масс позволяет вычислить массу жидкости, а ее отношение к объему пикнометра показывает искомую плотность.

1.2. С помощью **ареометра** плотность жидкости можно определить быстрее и проще. Ареометр (рис. 1.2) состоит из двух спаянных между собой пустотелых стеклянных цилиндров. В нижней части большого цилиндра 1 закреплен груз и помещен термометр. Шкала верхнего цилиндра 2 градуирована в единицах плотности. По закону Архимеда, ареометр погружается в исследуемую жидкость до тех пор, пока вес жидкости в объеме погруженной части ареометра не станет равным его собственному весу. Точность показаний ареометра зависит от его широкой и узкой частей. Чем больше это соотношение, тем точнее показания прибора.

1.3. **Разборные тонкостенные металлические ареометры** обычно используют для определения плотности бурового раствора. Исследуемый раствор заливают внутрь ареометра, который затем погружают в пресную воду, плотность которой принимается равной 1000 кг/м^3 . Плотность бурового раствора определяют по шкале ареометра в месте соприкосновения с ней мениска воды.

Аналогично устроены **солемеры** для определения степени минерализации пластовых вод; **кислотомеры**, измеряющие концентрацию закачиваемого в пласт соляно - кислотного раствора; **измерители жирности** молока и т.д.



Рис.1.2 – Схема ареометра

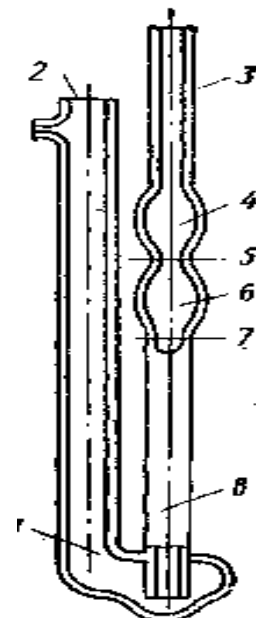


Рис. 1.3 – Схема капиллярного вискозиметра Освальда - Пинкевича

2. Приборы для измерения вязкости жидкости.

Вязкость жидкости определяют **вискозиметрами**.

2.1. Наиболее распространены **капиллярные вискозиметры**. Рассмотрим их устройство и принцип работы на примере **вискозиметра Освальда – Пинкевича** (рис. 1.3).

Он представляет собой стеклянную U – образную трубку, в колене 3 которой находится калиброванный капилляр 8. Над ним имеются расширения 4 и 6. В нижнее расширение 1 колена 2 вводится небольшой объем исследуемой жидкости. При создании избыточного давления в левом колене или вакуума в правом жидкость затягивается через капиллярную трубку выше риски 5, после чего оба колена вискозиметра сообщаются с атмосферой. Измеряют время опускания жидкости t от риски 5 до риски 7.

После этого определяют кинематическую вязкость жидкости при данной температуре ν_t по формуле

$$\nu_t = k \cdot t; \quad (1.5)$$

где k - **постоянная вискозиметра, зависящая от диаметра капилляра и определяемая в заводских условиях по жидкости с известной вязкостью.**

Перед работой вискозиметр с испытываемой жидкостью выдерживают в ванне с водой при требуемой температуре, которая поддерживается с помощью термостата.

2.2. Определение вязкости жидкости на **вискозиметрах с падающим шариком** основан на следующем: более плотный, чем жидкость, шарик падает в ней тем медленнее, чем больше вязкость испытываемой жидкости. К данному виду вискозиметров относят **вискозиметр высокого давления (ВВД)**, с помощью которого можно определить вязкость нефти при пластовых давлениях и температурах.

2.3. В **вискозиметрах истечения** вязкость определяют по времени истечения определенного объема жидкости через калиброванное отверстие или трубку.

Например, в вискозиметре **Энглера** определяют градус условной вязкости как отношение времени истечения 200 см^3 испытываемой жидкости при заданной температуре t ко времени истечения t_b из этого прибора такого же объема дистиллированной воды при 20°C , т.е

$$^\circ BV = \frac{t}{t_b}; \text{см}^2/\text{с} \quad (1.6)$$

где $^\circ BV$ - **градус условной вязкости, м²/с;**
 t - **время истечения испытываемой жидкости, с;**
 t_b - **время истечения дистиллированной воды, с.**

Зная условную вязкость, по формуле Убеллоде можно определить кинематическую вязкость (в $\text{см}^2/\text{с}$)

$$\nu = 0,0731 \cdot \text{ВУ} - \frac{0,0631}{\text{ВУ}}; \text{см}^2/\text{с} \quad (1.7)$$

где ВУ - градус условной вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Вискозиметр Энглера обычно используют для определения вязкости высоковязких нефтепродуктов (например, масел).

2.4. На буровых для быстрой оценки вязкости буровых растворов применяют **стандартные полевые вискозиметры (СПВ-5)**, представляющие собой металлическую воронку, заканчивающуюся трубкой диаметром 5 мм.

2.5. Для измерения вязкости неньютоновских жидкостей (жидкостей, которые не подчиняются закону Ньютона, например, некоторые типы нефтей, буровые растворы, клеи и т.д.) обычно используют **ротационные вискозиметры**, разновидностью которых являются **торсионные вискозиметры** (рис. 1.4). В них внутренний цилиндр 1 подвешивается на торсионе 3 (упругая нить, стальная проволока) и помещается в другой вращающийся цилиндр 2, заполняемый исследуемой жидкостью. Движение жидкости вызывает закручивание внутреннего цилиндра и торсиона на некоторый угол, при котором момент возникающих упругих сил уравнивается моментом сил внутреннего трения вращающейся жидкости. Динамическую вязкость жидкости определяют по частоте вращения (угловой скорости) внешнего цилиндра n и углу φ закручивания торсиона.

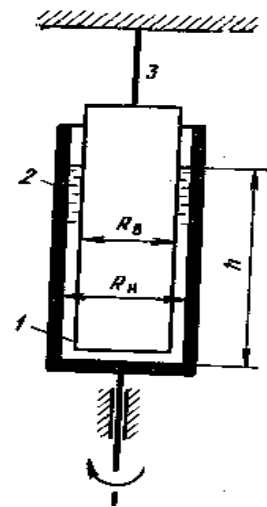


Рис 1.4 – Схема торсионного вискозиметра

$$\mu = \frac{2 \cdot C \cdot \varphi}{\frac{\pi \cdot h \cdot (R_n + R_e)^2}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot R_n}}; \text{Па} \cdot \text{с} \quad (1.8)$$

- где C - постоянная прибора;
 φ - угол закручивания торсиона;
 h - высота слоя жидкости в приборе, см;
 R_n - внутренний радиус наружного цилиндра, см
 R_v - наружный радиус внутреннего цилиндра, см;
 n - частота вращения внешнего цилиндра.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение плотности жидкости, какова ее единица измерения?
2. Дайте определение вязкости жидкости, виды вязкости, единица измерения?

3. Каков принцип работы пикнометра?
4. Каков принцип работы ареометра?
5. Как определяется вязкость в вискозиметре с падающим шариком?
6. Принцип работы ротационного вискозиметра?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗНОСТИ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕЗЕРВУАРАХ

Цель: Определить разность уровней воды в резервуарах с помощью законов гидростатики.

Условие: Два резервуара с водой соединены двухжидкостным манометром, состоящим из V-образной трубки, заполненной ртутью и водой. Уровни ртути h_1 и h_2 в колоннах манометра известны. Давление на свободной поверхности жидкости в верхнем резервуаре равно атмосферному $P_{атм}$, а в нижнем гидростатическому P_0 (рис. 9.1). Исходные данные для расчета даны в таблице 9.1.

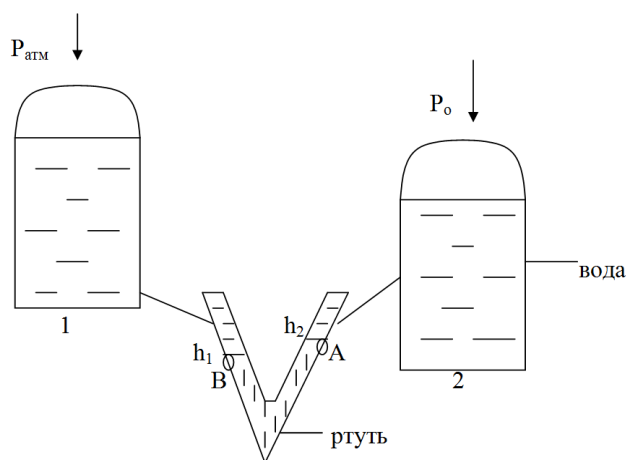


Рис. 9.1 – Схема для определения разности уровней

Таблица 9.1 – Исходные данные

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_1 , м	2,9	1,5	1,4	1,8	1	0,5	2,5	2,1	1,2	1,6
h_2 , м	3	2,3	2,6	2,5	1,5	1,1	4	3	2	2,7
$\rho_в$, кг/м ³	1000									
$\rho_{рт}$, кг/м ³	13600									

Методические указания:

1. Определить разность уровней воды H в резервуарах при условии $P_{атм} = P_0$.

$$H = \frac{\rho_{рт} \cdot (h_2 - h_1)}{\rho_в} + (h_1 - h_2), \text{ м}; \quad (9.1)$$

- где $\rho_{рт}$ - плотность ртути, кг/м³;
 $\rho_в$ - плотность воды, кг/м³;
 h_1 - уровень ртути в первой колонне манометра, м;
 h_2 - уровень ртути во второй колонне манометра, м.

1. Определим давление в точке А, взятое на поверхности ртути в пра-

вом колене, так как $P_0 = P_{\text{атм}}$, то уравнение давления вакуума принимает следующий вид:

$$P_v = \rho_v \cdot g \cdot h_2, \text{ Па}; \quad (9.2)$$

где ρ_v - плотность воды, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 h_2 - уровень ртути во второй колонне манометра, м.

2. Находим избыточное давление $P_{\text{изб}}$ для найденного уровня H , необходимое для создания нулевой разности уровней ($h_1 = h_2$).

$$P_{\text{изб}} = \rho_v \cdot g \cdot H, \text{ Па}; \quad (9.3)$$

где ρ_v - плотность воды, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 H - разность уровней в резервуарах, м.

3. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Отличие идеальной жидкости от реальной.
2. Что такое вязкость, виды вязкости, от чего она зависит?
3. Связь таких величин как плотность и удельный объем, единицы их измерения.
4. Характеристика коэффициента объемного сжатия и температурного расширения.
5. Что такое удельный вес?
6. Перечислите основные физические величины, используемые в гидравлике.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА АРХИМЕДА

Цель: Изучить закон Архимеда и научиться применять его для решения задач.

Общие сведения:

Определим силу давления жидкости на плавающее в ней тело (рис. 10.1). Вначале предположим, что на свободной поверхности жидкости давление атмосферное. Горизонтальная составляющая силы давления жидкости равно нулю, так как с любых противоположных направлений горизонтальные силы давления жидкости, действующие на тело, равны.

Для определения вертикальной составляющей F_v разобьем погруженную поверхность тела на две части так, чтобы на верхнюю часть элементарные силы давления, приложенные в любой ее точке, давали вертикальную составляющую направленную вниз, а на нижнюю – вверх. В проекции их линия раздела a-d. По формуле (10.1) вертикальная составляющая силы давления, действующая на нижнюю часть поверхности тела, направлена вверх, ее величина $F_v = \rho g V_{abcdea}$. На верхнюю часть поверхности сила F_v направлена вниз, ее величина $F_v = \rho g V_{abcdfa}$.

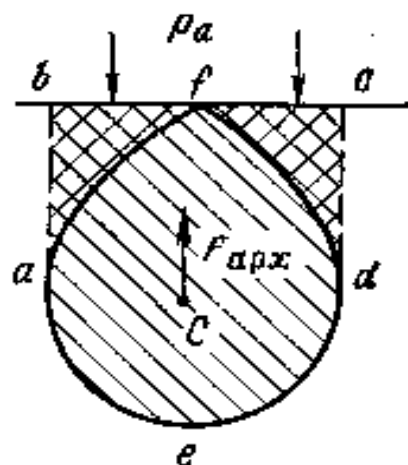


Рис.10.1

$$F_v = \rho \cdot g \cdot V_m; H \quad (10.1)$$

- где F_v - вертикальная составляющая силы давления, Н;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 V_T - объем тела давления, м³.

Так как объем тела давления V_{abcdea} больше объема V_{abcdfa} , равнодействующая этих сил направлена вверх. Ее разность определяется по разности объемов $V_{abcdea} - V_{abcdfa}$, равной объему погруженной части тела $V_{п}$. Такую силу называют архимедовой силой $F_{арх}$:

$$F_{арх} = \rho \cdot g \cdot V_n; H \quad (10.2)$$

- где $F_{арх}$ - архимедова сила, Н;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 $V_{п}$ - объем погруженной части тела, м³.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая (архимедова) сила, равная весу жидкости в объеме погруженной части тела.

Отметим, что такой же результат был бы получен, если бы на свободной поверхности жидкости давление не равнялось атмосферному. В этом случае обе силы $F_{v\uparrow}$ и $F_{v\downarrow}$ изменились бы на одну и ту же величину (так как на одну и ту же величину изменились бы для них объем тела, давление), а их разность осталась бы прежней.

Архимедова сила приложена в центре тяжести погруженного объема тела (см. точку С на рис. 10.1), называемом **центром водоизмещения**. Кроме этой силы, на тело действует и сила тяжести самого тела F_G , направленная вниз,

- если $F_{арх} = F_G$, то тело будет плавать в равновесном состоянии;
- если $F_{арх} < F_G$, то тело будет погружаться в жидкость;
- если $F_{арх} > F_G$, то тело будет всплывать.

Закон Архимеда широко используется в технике, например в кораблестроении, при расчетах устройств для измерения и регулирования уровня жидкости в резервуарах, карбюраторах двигателей внутреннего сгорания, расходомерах и т.д.

Условие: Необходимо определить, какой объем бензина $V_б$ плотностью $\rho_б = 740 \text{ кг/м}^3$ можно залить в железнодорожную цистерну 2 объемом V , м^3 и массой m , кг, чтобы при перевозке по воде цистерна погружалась до горловины 1 (рис. 10.2). Объем горловины считается пренебрежимо малым.

Исходные данные для расчета даны в таблице 10.1.

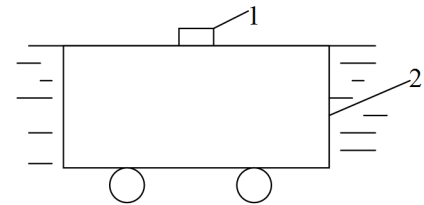


Рис. 10.2 – Схема перевозки цистерны с бензином по воде

Таблица 10.1 – Исходные данные

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{ м}^3$	60	55	65	58	62	63	59	57	64	61
$m \cdot 10^3, \text{ кг}$	23	22,5	23,5	22,7	23,3	23,35	22,85	22,65	23,45	23,25
$\rho_б, \text{ кг/м}^3$	740									
$\rho_{ст}, \text{ кг/м}^3$	7800									
$\rho_в, \text{ кг/м}^3$	1000									

Методические указания:

1. По условию плавания тел $F_{арх} = F_G$. В жидкость погружен не только полезный объем цистерны V , но и объем металла (метел сталь) $V_м$ ее стенок, платформы, колесных пар и т.д. Рассчитаем объем металла $V_м$ и объем погруженной части цистерны $V_п$:

$$V_м = \frac{m}{\rho_{ст}}; \text{ м}^3 \quad (10.3)$$

где m - масса цистерны, кг;
 $\rho_{ст}$ - плотность стали, кг/м^3 .

$$V_п = V + V_м; \quad (10.4)$$

где V - объем цистерны, м^3 ;
 $V_м$ - объем металла, м^3 .

2. Рассчитаем архимедову силу:

$$F_{арх} = \rho_в \cdot g \cdot V_п; \text{ Н} \quad (10.5)$$

где $V_{\text{п}}$ - объем погруженной части цистерны, м^3 ;
 $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

2. Так как сила тяжести цистерны и бензина в архимедовой силе $F_G = mg + V_{\text{б}}\rho_{\text{б}}g$, следовательно, $F_{\text{арх}} = F_G = mg + V_{\text{б}}\rho_{\text{б}}g$, откуда объем бензина:

$$V_{\text{б}} = \frac{F_{\text{арх}} - m \cdot g}{\rho_{\text{б}} \cdot g}; \text{м}^3 \quad (10.6)$$

где $F_{\text{арх}}$ - архимедова сила, Н;
 $\rho_{\text{б}}$ - плотность бензина, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;
 m - масса цистерны, кг.

3. Неучет в этой задаче архимедовой силы от погруженного в воду объема металла дал бы уменьшение объема бензина на:

$$\Delta V = \frac{V_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{б}} \cdot g}{\rho_{\text{б}} \cdot g}; \text{м}^3 \quad (10.7)$$

где $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $\rho_{\text{б}}$ - плотность бензина, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $V_{\text{м}}$ - объем металла, м^3 .

т.е более чем на «X» %:

$$X = \frac{\Delta V \cdot 100}{V_{\text{б}}}; \% \quad (10.8)$$

где X - уменьшение объема бензина, %;
 ΔV - уменьшение объема бензина, м^3 ;
 $V_{\text{б}}$ - объем бензина, м^3 .

5. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Как звучит закон Архимеда?
2. Как определяется архимедова сила, единица ее измерения?
3. Что такое центр водоизмещения?
4. Что происходит с телом при условии $F_{\text{арх}} = F_G$?
5. Каково условие погружения тела в жидкость?
6. Каково условие всплывания тела?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ГИДРОСТАТИКЕ

Цель: Закрепление знаний основных законов по гидростатике.

Задача 1.

Условие: Удельный вес жидкости измеряется при помощи ареометра, представляющего собой (рис. 11.1) полу трубку, снабжённую в нижней части шариком, заполненным дробью. Определить удельный вес жидкости γ , в которую погружён ареометр и подъёмную силу. Исходные данные приведены в таблице 11.1.

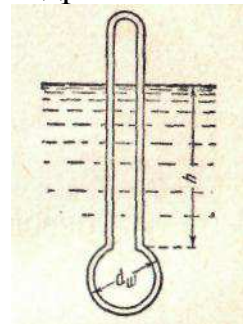


Рис. 11.1

Таблица 11.1 - Исходные данные

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Диаметр шарика $d_{ш}$, мм;	30	20	35	33	37	28
2. Внешний диаметр трубы d , мм;	25	15	30	28	32	24
3. Глубина погружения h , см;	10					
4. Вес ареометра G , Н;	50					

Методические указания к решению задачи 1:

1. Определить объем погруженной части ареометра:

$$V_{п} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h + \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_{ш}^3, \text{ м}^3 \quad (11.1.1)$$

где d - внешний диаметр трубы, мм;
 $d_{ш}$ - диаметр шарика, мм;
 h - глубина погружения, см.

2. Определить удельный вес жидкости γ , в которую погружён ареометр:

$$\gamma = \frac{G}{V}, \text{ Н/м}^3 \quad (11.1.2)$$

где G - вес ареометра, Н;
 V - объем погруженной части тела, м^3 .

3. Определить подъёмную силу всегда направленную по вертикали вверх и уравновешиваемую весом тела.

$$A = \rho_{в} \cdot g \cdot V, \text{ Н} \quad (11.1.3)$$

где $\rho_{в}$ - плотность воды, кг/м^3 ;
 V - объем погруженной части тела, м^3 .
 g - ускорение свободного падения, м/с^2 ;

Задача № 2.

Условие: В закрытый резервуар налиты ртуть и вода. Давление воздуха над свободной поверхностью воды p_o . Определить полное и избыточное гидростатическое давление столба жидкости. Исходные данные приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2 - Исходные данные

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Удельный вес ртути γ_p , Н/м ³ ;	13,6	12,0	14,2	12,8	13,0	14,8
2. Удельный вес воды γ_v , Н/м ³ ;	1	0,88	1,2	0,92	0,98	1,4
3. Глубина погружения ртути h_p , м;	0,3					
4. Глубина погружения воды h_v , м;	3					
5. Давление воздуха p_o , Па.	2					

Методические указания к решению задачи 2:

1. Определить полное гидростатическое давление:

$$p = 10 \cdot p_o + \gamma_p \cdot h_p + \gamma_v \cdot h_v, \text{ Па} \quad (11.2.1)$$

где p_o - давление воздуха на свободной поверхности, Па;
 γ_p - удельный вес ртути, Н/м³;
 γ_v - удельный вес воды, Н/м³;
 h_v - глубина погружения воды, м;
 h_p - глубина погружения ртути, м.

2. Определить избыточное давление:

$$p_{\text{изб}} = (p - 10), \text{ Па} \quad (11.2.2)$$

где p - полное гидростатическое давление, Па.

Задача № 3.

Условие: Определить устойчивость плавающего в воде деревянного параллелепипеда длиной l , шириной b и высотой h (рис. 11.2.). Исходные данные приведены в таблице 1.3.

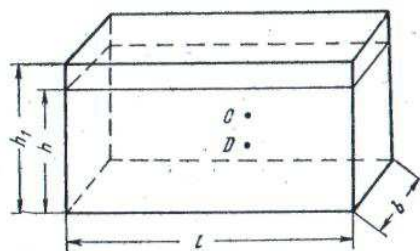


Рис. 11.2

Таблица 1.3 - Исходные данные

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Ширина деревянного параллелепипеда b , мм;	200	210	180	160	220	168
2. Длина деревянного параллелепипеда l , мм;	600	620	560	458	640	386
3. Высота деревянного параллелепипеда h_1 , мм.	300	320	276	192	328	218
4. Плотность дерева ρ_d , кг/м ³ .	800					
5. Плотность воды ρ_v , кг/м ³ .	1000					
6. Высота погруженной части параллелепипеда h , м	0,24					

Методические указания к решению задачи 3:

1. Определить вес плавающего деревянного параллелепипеда:

$$G = \rho_{\text{д}} \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h_1, \text{ Н} \quad (11.3.1)$$

где $\rho_{\text{д}}$ - плотность дерева, кг/м^3 ;
 g - ускорение свободного падения, м/с^2 ;
 l - длина деревянного параллелепипеда, мм ;
 b - ширина деревянного параллелепипеда, мм ;
 h_1 - высота деревянного параллелепипеда, мм .

2. Определить объем погруженной части деревянного параллелепипеда:

$$V = l \cdot b \cdot h_1, \text{ м}^3 \quad (11.3.2)$$

где h_1 - высота деревянного параллелепипеда, мм ;
 l - длина деревянного параллелепипеда, мм ;
 b - ширина деревянного параллелепипеда, мм .

3. Определить подъёмную силу она равна весу тела $A = G$:

$$A = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot V, \quad (11.3.3)$$

где $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, кг/м^3 ;
 V - объем погруженной части тела, м^3 .
 g - ускорение свободного падения, м/с^2 ;

4. Определить положение центра давления D:

$$h_{\text{D}} = \frac{h}{2}, \text{ м} \quad (11.3.4)$$

где h - высота погруженной части параллелепипеда, м .

5. Определить положение центра тяжести C:

$$h_{\text{C}} = \frac{h_1}{2}, \text{ м} \quad (11.3.5)$$

где h_1 - высота деревянного параллелепипеда, мм ;

6. Определить расстояние между центром тяжести C и центром давления D:

$$l = h_{\text{C}} - h_{\text{D}}, \text{ м} \quad (11.3.6)$$

где h_{C} - центр тяжести, м ;
 h_{D} - центр давления, м .

7. Определить момент инерции прямоугольника относительно оси, проходящей через центр тяжести

$$I_x = \frac{l \cdot b^3}{12}, \text{ м} \quad (11.3.7)$$

где l - длина деревянного параллелепипеда, мм;
 b - ширина деревянного параллелепипеда, мм.

8. Определить устойчивость плавающего в воде тела:

$$\rho_m = \frac{I_x}{V}, \text{ м} \quad (11.3.8)$$

где I_x - момент инерции прямоугольника; м;
 V - объем погруженной части тела, м³.

если $\rho_m < l$, то положение плавающего тела устойчивое

9. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие силы действуют на жидкость?
2. Какие жидкости называются капельными?
3. Что такое удельный вес, объем?
4. Назовите три свойства гидростатического давления?
5. Дайте характеристику поверхности равного давления.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №2

ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Цель: Изучить устройство и принцип действия приборов.

Ход работы:

Для измерения величины гидростатического давления используются разнообразные приборы, которые можно разделить на две основные группы – жидкостные и механические. Также их можно классифицировать по различным признакам, главным из них является вид измеряемого давления.

1. Приборы для измерения атмосферного давления — барометры.
2. Приборы для измерения избыточного давления — манометры и вакуумметры.
3. Приборы для измерения разности давлений — дифференциальные манометры.
4. Приборы для измерения абсолютного давления — манометры абсолютного давления.
5. Приборы для измерения малого избыточного давления — микроманометры.

По принципу действия различают приборы жидкостные, пружинные, электрические, комбинированные и др.

Познакомимся с некоторыми видами этих приборов, наиболее часто используемых на практике.

1. Жидкостные приборы — пьезометры, жидкостные вакуумметры и дифференцированный манометр — работают, используя гидростатический принцип действия, когда измеряемое давление уравнивается давлением, создаваемым весом столба жидкости, высота которого служит мерой давления.

1.1. Пьезометры обычно представляют собой стеклянную трубку небольшого диаметра (5 мм), открытую с одного конца и вторым концом присоединенную к сосуду в котором необходимо измерить давление. Прибор такого вида показан на рис. 2.1. Пьезометр U - образный представляет собой прозрачные трубки, которые градуируются, либо на щите за трубками устанавливаются шкалы, с помощью которых можно определить высоту поднятия жидкости в трубках.

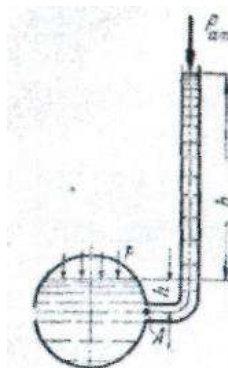


Рис. 2.1 - Схема пьезометра

1.2. Жидкостный вакуумметр показан на рис. 2.2. Вакуумметр представляет собой заполненную ртутью или водой изогнутую трубку, один конец которой – А – соединяется с пространством В, где измеряется давление, а другой конец – С – открыт. Если измеряемое давление меньше атмосферного, т.е. в сосуде имеется вакуум, приборы, служащие для измерения давления, называются вакуумметрами.

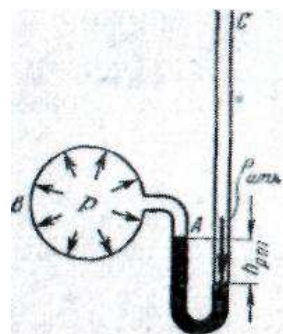


Рис. 2.2 - Схема жидкостного вакуумметра

В качестве жидкости в вакуумметрах в основном используется вода, поэтому диапазон измерения в них небольшой — 1—15 кПа, что определяется высотой поднятия воды в трубках. Раньше для увеличения такого диапазона использовались ртутные манометры, но в настоящее время ввиду вредности ртути как вещества они обычно не используются.

Удобно пользоваться жидкостными **дифференциальными манометрами** (рис. 2.3), которые измеряют разность давлений в двух сечениях трубы.

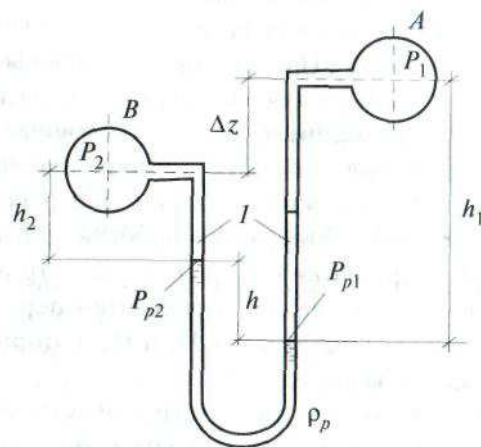


Рис. 2.3 - Схема жидкостного дифференцированного манометра

Для измерения разности давлений перед вентилем и за ним установлены два пьезометра Π_1 и Π_2 , которые соединены между собой, как показано на рисунке.

На поверхности воды в пьезометрах можно подать давление P_0 , поэтому высота поднятия воды в трубках не лимитируется величиной давления в трубопроводе.

2. Механические приборы. В тех случаях, когда необходимо измерять большие давления, применяют приборы второй группы – механические, из которых наибольшим распространением на практике пользуется пружинный и мембранный манометры.

2.1. Пружинные манометры используются для измерения больших давлений. Рассмотрим принцип действия манометра с одновитковой трубчатой пружиной (рис. 2.4). Деталью, воспринимающей давление, является полая изогнутая трубка 4, одним концом соединенная с полостью 9 в держателе 1.

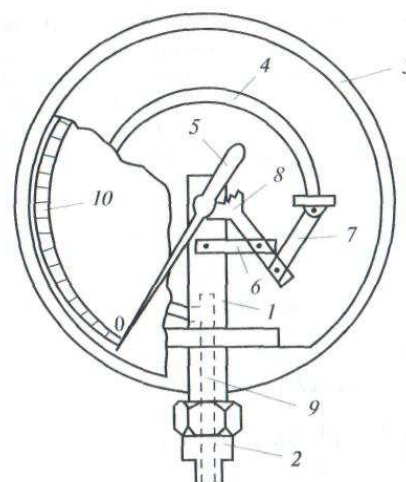


Рис. 2.4 - Пружинный манометр

Другой конец трубки шарнирно соединен с передаточным механизмом, состоящим из рычагов 7, 8, соединенных также шарнирно, и шестеренки, перемещающих стрелку к держателю; с помощью пластины 6 крепится передаточный механизм, а также стрелка 5. Держатель 1 крепится к корпусу 3 манометра, а также имеет на своем конце резьбовой штуцер 2 для присоединения к месту измерения давления. Если в полости 9 создается избыточное давление, соответствующее измеряемому, то это давление передается в полую изогнутую трубку 4 и заставляет ее несколько разогнуться. Значит, ее конец перемещается вправо вверх. Передаточный механизм поворачивает стрелку прибора по часовой стрелке в пределах циферблата 10. Перемещения свободного конца трубки в некоторых пределах изменений давления пропорционально давлению, действующему на нее. Поэтому шкала на циферблате прибора равномерна.

2.2. Пружинные вакуумметры по конструкции аналогичны манометрам, однако в вакуумметрах под действием давления, меньшего атмосферного, изогнутая трубка не распрямляется, а сжимается, вызывая перемещение стрелки.

2.3. Мембранные манометры, в которых жидкость производит давление на тонкую металлическую пластинку из прорезиненной материи – мембрану. Получающаяся при этом деформация мембраны посредством системы рычагов передается стрелке, указывающей величину давления.

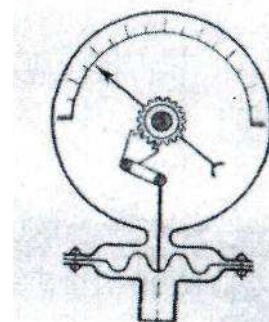


Рис. 2.5 - Схема мембранного манометра

Механические приборы по сравнению с жидкостными менее точны из-за трения между движущимися деталями.

Контрольные вопросы:

1. Что называется гидростатическим давлением, и в каких единицах оно измеряется?
2. Что называется избыточным давлением и вакуумом?
3. Как формулируется закон Паскаля?
4. Что называется пьезометрической поверхностью?
5. Как записывается основной закон гидростатики.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ИЛЛЮСТРАЦИЯ УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ

Цель: Опытное подтверждение уравнения Бернулли, т.е. понижение механической энергии по течению и перехода потенциальной энергии в кинетическую и обратно (связь давления со скоростью).

Общие сведения:

Уравнение Д. Бернулли выражает закон сохранения энергии и для потока реальной жидкости в упрощенном виде записывается так:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_6}{\rho \cdot g} + \frac{v_6^2}{2g} + h_{тр}; \quad (3.1)$$

- где
- P** - давление, Па
 - v** - средняя скорость потока, м/с;
 - ρ_v** - плотность жидкости, кг/м³;
 - g** - ускорение свободного падения, м/с²;
 - h_{тр}** - суммарные потери напора на преодоление гидравлических сил между сечениями 1-1 и 2-2.

Слагаемые уравнения выражают энергии, приходящиеся на единицу веса (силы тяжести) жидкости, которые в гидравлике принято называть **напорами**:

- $\frac{P}{\rho \cdot g}$ – **пьезометрический** напор (потенциальная энергия);
- $\frac{v^2}{2g}$ – **скоростной** напор (кинетическая энергия);
- $\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} = H$ – **полный** напор (полная механическая энергия жидкости);
- **h_{тр}** – потери напора (механическая энергия за счет ее преобразования в тепловую энергию).

Такие энергии измеряются в единицах длин, так как Дж/Н = Нм/Н = м.

Из уравнения следует, что в случае отсутствия теплообмена потока со внешней средой полная удельная энергия (включая тепловую) неизменна вдоль потока и поэтому изменение одного вида энергии приводит к противоположному по знаку изменению другого. Таков энергетический смысл уравнения Бернулли.

Например, при расширении потока скорость v и, следовательно, кинетическая энергия $\frac{v^2}{2g}$ уменьшается, что в силу сохранения баланса вызывает

увеличение потенциальной энергии $\frac{P}{\rho \cdot g}$. Другими словами, понижение

скорости потока v по течению приводит к возрастанию давления P и наоборот.

Описание опытного устройства:

Опытное устройство содержит баки 1 и 2, сообщающиеся через опытные каналы постоянного 3 и переменного 4 сечения (рис. 3.1). Каналы соединены между собой равномерно расположенными пьезометрами 1-5, служащими для измерения пьезометрических напоров в характерных сечениях. Устройство заполнено подкрашенной водой. В одном из баков предусмотрена шкала 5

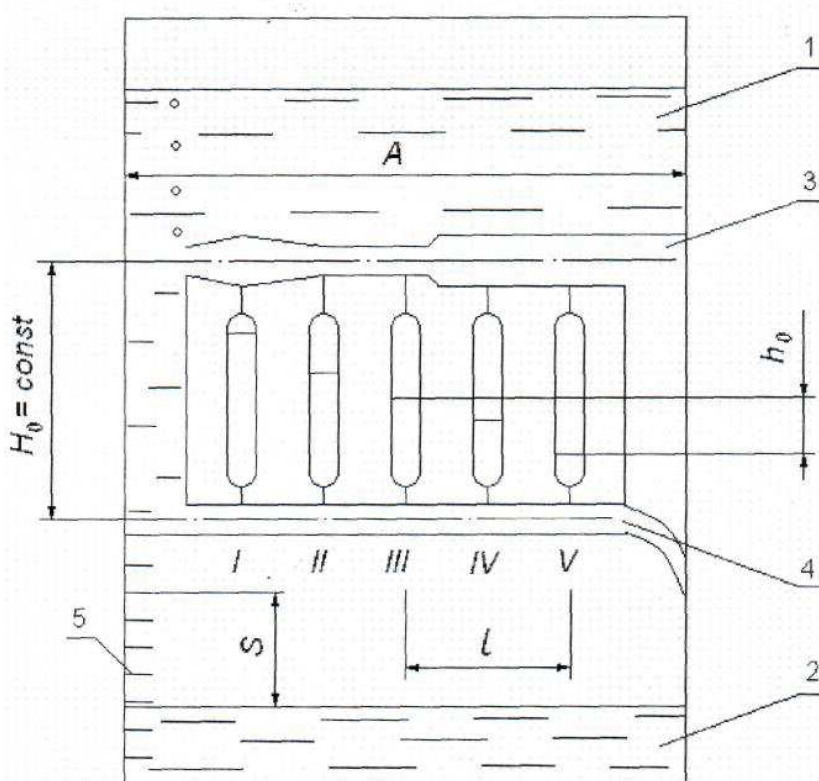


Рис. 3.1 – Схема опытного устройства.

для измерения уровня воды. При перевертывании устройства благодаря постоянству напора течения H_0 во времени, обеспечивается установившееся движение воды в нижнем канале. Другой канал в это время пропускает воздух, вытесняемый жидкостью из нижнего бака в верхний.

Порядок выполнения работы:

1. При заполненном водой баке 1 перевернуть устройство для получения течения в канале переменного сечения 4.

2. Снять показания пьезометров $\frac{P}{\rho \cdot g}$ по нижним частям менисков воды.

3. Измерить уровень воды в баке 1 - величину S , переместившийся за $t = 10$ с.

4. По размерам A и B поперечного сечения бака, перемещению уровня S и времени t определить расход Q воды в канале, а затем и полные напоры в сечениях канала по порядку, указанному в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Порядок расчета

№ п/п	Наименование величины	Обозначения, формулы	Сечения канала						
			1	2	3	4	5	6	
1	Площадь сечения канала, см.	ω							
2	Средняя скорость, см/с	$v = \frac{Q}{\omega}$							
3	Пьезометрический напор, см	$\frac{P}{\rho \cdot g}$							
4	Скоростной напор, см	$\frac{v^2}{2g}$							
5	Полный напор, см	$H = \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g}$							

$A = 21$ см; $B = 4$ см; $S = 2$ см; $t = 10$ с; $Q = \frac{ABS}{t}$, см/с; $g = 981$ см/с².

5. Вычертить в масштабе канал с пьезометрами. Отложить значения пьезометров, соединить точки и получить пьезометрическую линию 1, показывающую изменение потенциальной энергии (давления) вдоль потока. Для получения напорной линии 2 (линия полной механической энергии) отложить от оси канала полные напоры H и соединить полученные точки.

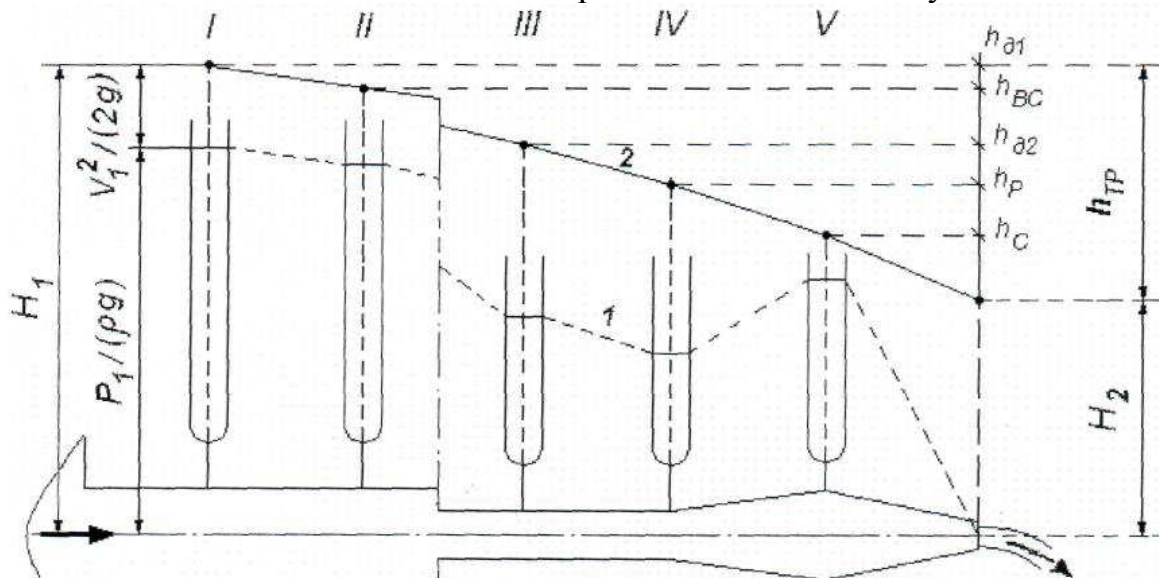


Рисунок 3.2 – Иллюстрация уравнения Бернулли

1 - пьезометрическая линия; 2 - напорная линия;

H_1 - полный напор (механическая энергия) на входе в канал;

H_2 - полный напор (механическая энергия) на выходе из канала;

$h_{тр}$ - суммарные потери напора; h_{d1} - потери по длине на первом участке;

h_{d2} - потери по длине на втором участке; $h_{вс}$ - потери напора на внезапное сужение;

h_r - потери напора на плавное расширение; h_c - потери напора на сужение.

6. Проанализировать изменение полной механической H , потенциальной $\frac{P}{\rho \cdot g}$ и кинетической $\frac{v^2}{2g}$ энергии жидкости вдоль потока; проверить соответствие этих изменений, уравнению Бернулли, подставив свои значения в уравнение (1.1).

7. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Каков энергетический смысл уравнения Бернулли?
2. Что называется расходом жидкости?
3. Какое движение жидкости называется равномерным?
4. Что такое полный напор?
5. Какие существуют виды потерь напора?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА СРЕДНИХ СКОРОСТЕЙ И ДАВЛЕНИЙ В СЕЧЕНИЯХ ТРУБОПРОВОДА

Цель: Используя уравнение Бернулли, научиться определять расход средних скоростей и давлений в сечениях трубопровода.

Условие: Из отверстия в боковой стенке сосуда по горизонтальной трубе переменного сечения вытекает жидкость, уровень в сосуде постоянен, гидравлическими сопротивлениями пренебрегаем (рис.12.1). Исходные данные для расчета даны в таблице 12.1.

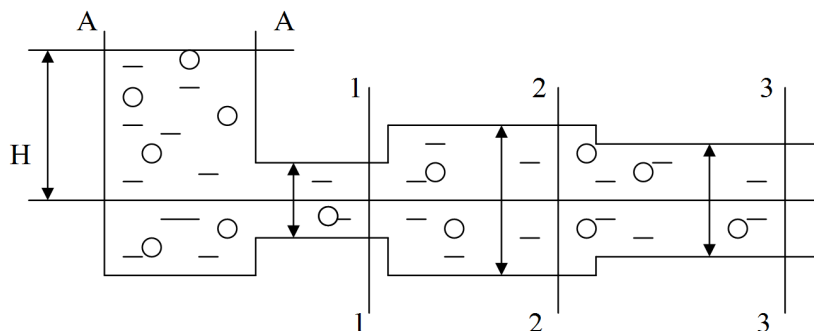


Рис. 12.1 – Сосуд с отверстием в боковой стенке и трубопроводом переменного сечения

Таблица 12.1 – Исходные данные для расчета.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ , кг/м ³	830	820	800	810	780	770	730	900	870	850
H , м	2	3	5	6	7	4	2	1	3	6
d_1 , см	7,5	7	8	8,5	7,3	8,2	9	9,1	8,1	9,3
d_2 , см	25	20	28	17	18	18,3	19	19,5	17,8	20
d_3 , см	10	8	9	11	7	6	5	4	7	6
P_0 , Па	$1,01 \times 10^5$									

Методические указания:

1. Определяем скорость жидкости в трубопроводе с диаметром d_3 :

$$v_3 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}; (м / с) \quad (12.2)$$

где H - высота жидкости в сосуде до плоскости сравнения, м;
 g - ускорение свободного падения, $м^2/с$.

2. Определяем расход жидкости в сечении 3-3:

$$Q = v_3 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}; м^3 / с \quad (12.3)$$

где v_3 - скорость жидкости в трубопроводе с диаметром d_3 , м/с;
 d_3 - диаметр трубопровода в сечении 3-3, м.

3. Определим средние скорости в сечениях 1-1 и 2-2 по уравнению расхода потока:

$$v_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2}; м / с \quad (12.4)$$

и

$$v_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_2^2}; м / с \quad (12.5)$$

где Q - расход жидкости в сечении 3-3, $м^3/с$;
 d_1 и d_2 - диаметр трубопровода в сечениях 1-1 и 2-2, м.

4. Определим давление P_1 и P_2 в сечениях 1-1 2-2 по уравнению Бернулли, составленному для сечений 1-1 и 3-3; 2-2 и 3-3.

$$P_1 = \frac{P_3}{\rho \cdot g} + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}; \quad (12.6)$$

и

$$P_2 = \frac{P_3}{\rho \cdot g} + \frac{v_3^2}{2 \cdot g} - \frac{v_2^2}{2 \cdot g}; \quad (12.7)$$

5. Составим уравнение Бернулли для двух сечений: сечения свободной поверхности в сосуде а-а и выходного сечения трубы 3-3, принимая за плоскость сравнения горизонтальную плоскость через ось трубопровода.

$$H + \frac{P_o}{\rho \cdot g} + \frac{v_o^2}{2 \cdot g} = \frac{P_3}{\rho \cdot g} + \frac{v_3^2}{2 \cdot g}; \quad (12.1)$$

Скоростью v_o пренебрегаем, из-за значительных размеров сосуда по сравнению с поперечным размером трубопровода. Учитывая, что $P_o = P_3$ (атмосферное давление), уравнение 1.1 принимает вид $H = \frac{v_3^2}{2 \cdot g}$; м.

6. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Понятие расхода потока. Виды расхода.
2. Уравнение Бернулли для элементарной струйки реальной жидкости.
3. Раскройте такие понятия: живое сечение потока; гидравлический радиус.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 13

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

Цель: Закрепление знаний по основным законам по гидродинамики.

Задача 1.

Условие: Определить гидравлический радиус потока жидкости, показанного на рис. 13.1, если известны ширина потока b и уровень жидкости h . Исходные данные приведены в таблице 13.1.

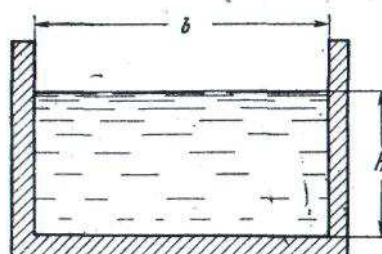


Рис. 13.1

Таблица 13.1 - Исходные данные для задачи 1

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Ширина потока b , см;	80	86	78	82	70	88
2. Уровень жидкости h , мм.	380	420	368	412	278	440

Методические указания к решению задачи 1:

Прежде чем приступить к решению задачи, нужно исходные данные привести в систему СИ: ширина потока b из сантиметров в метры, уровень жидкости из мм в метры.

1. Определяем главное сечение потока по формуле:

$$\omega = b \cdot h, \quad (13.1.1)$$

где b - ширина потока, см;
 h - уровень жидкости, мм.

2. Определяем смоченный периметр по формуле:

$$\chi = b + 2h \quad (13.1.2)$$

где b - ширина потока, см;
 h - уровень жидкости, мм.

3. Определяем гидравлический радиус по формуле:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{b \cdot h}{b + 2h}, \quad (13.1.3)$$

где ω - главное сечение потока;
 χ - смоченный периметр.

Задача № 2.

Условие: По трубопроводу, составленному из труб различного диаметра рис. 13.2, перекачивается вода. Диаметр трубы в сечении 1-1 равен d_1 , в сечении 2-2 d_2 , средняя скорость в сечении 1-1 v_1 . Определить среднюю скорость воды в сечении 2-2. Исходные данные приведены в таблице 13.2.

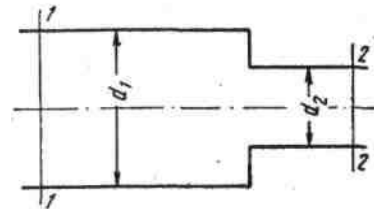


Рис. 13.2

Таблица 13.2 - Исходные данные для задачи 2

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Диаметр трубы в сечении 1-1 d_1 , мм;	76	62	60	72	74	80
2. Диаметр трубы в сечении 2-2 d_2 , мм;	62	54	50	60	58	72
3. Средняя скорость в сечении 1-1 v_1 , см/сек	80	60	54	76	78	84

Методические указания к решению задачи 2:

1. Из уравнения неразрывности потока $v_1 \cdot d_1 = v_2 \cdot d_2$ определяем скорость движения воды в сечении 2-2 по формуле:

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2}, \text{ м/сек} \quad (13.2.1)$$

где d_1 - диаметр трубы в сечении 1-1, мм;
 d_2 - диаметр трубы в сечении 2-2, мм;
 v_1 - средняя скорость в сечении 1-1, см/сек.

Задача 3.

Условие: Из отверстия в боковой стенке сосуда по горизонтальной трубе постоянного сечения рис. 3. вытекает вода. Предполагая уровень воды в сосуде постоянным и пренебрегая гидравлическими сопротивлениями, определить расход воды по трубопроводу. Исходные данные приведены в таблице 13.3.

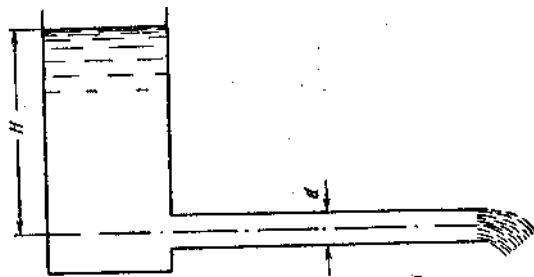


Рис. 13.3.

Таблица 13.3 - Исходные данные для задачи 3

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Уровень воды над осью трубы Н, м;	1,8	1,4	1,6	2,0	2,6	3,0
2. Диаметр трубопровода d, мм;	62	58	60	66	72	78

Методические указания к решению задачи 3:

1. Определяем скорость движения воды в трубопроводе по формуле:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \text{ , м/с} \quad (13.3.1)$$

где **H** - уровень воды над осью трубы, м;
g - ускорение свободного падения, м²/с

2. Определяем расход жидкости по формуле:

$$Q = v_1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ , м}^3/\text{с} \quad (13.3.2)$$

где **v₁** - скорость движения воды в трубопроводе, м/с;
d - диаметр трубопровода, м³/с;

Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте энергетический смысл уравнения Бернулли?
2. Какое движение жидкости называется не установившемся?
3. Какое движение жидкости называется установившемся.
4. Что такое трубка и линия тока?
5. Назовите виды расхода жидкости?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 14

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ТЕМУ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель: Закрепление знаний по теме гидравлические сопротивления.

Задача №1.

Условие: Определить величину коэффициента гидравлического сопротивления λ при перекачке воды по трубопроводу диаметром d с абсолютной шероховатостью стенок k . Исходные данные приведены в таблице 14.1.

Таблица 14.1 - Исходные данные для задачи 1

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Диаметр трубопровода d, мм;	100	98	92	102	108	88
2. Расход жидкости Q, л/с.	5	4,8	4,4	5,4	6	3,8
3. Абсолютная шероховатость k, мм	0,02					
4. Кинематическая вязкость ν , м ² /с	$1 \cdot 10^{-6}$					

Методические указания к решению задачи 1:

Прежде чем приступить к решению задачи, нужно исходные данные привести в систему СИ.

1. Определяем скорость движения воды в трубопроводе по формуле:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}, \text{ м/с} \quad (14.1)$$

где **Q** - расход жидкости, м³/с;
d - диаметр трубопровода, мм.

2. Определяем число Рейнольдса по формуле:

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (14.2)$$

где **v** - скорость движения воды, м/с;
d - диаметр трубопровода, мм;
ν - кинематическая вязкость, м²/с.

3. Определяем зону гидравлического трения по формуле:

$$R_{er} = 20 \cdot \frac{d}{k}, \text{ м/сек} \quad (14.3)$$

где **d** - диаметр трубопровода, мм;
k - абсолютная шероховатость, мм.

если $R_e < R_{er}$ – режим движения жидкости ламинарный;
если $R_e > R_{er}$ – режим движения жидкости турбулентный

4. Определяем коэффициент гидравлического сопротивления по формуле Брауиуса:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt[4]{100 \cdot R_e}} \quad (14.4)$$

где **R_e** - число Рейнольдса

5. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Что называется гидростатическим сопротивлением?
2. Что называется ламинарным режимом движением жидкости?
3. Как записывается формула определения λ ?
4. Что называется турбулентным режимом движением жидкости?
5. Как записывается формула определения коэффициента гидравлического трения?
6. Как записывается формула Брауиуса?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ МАНОМЕТРА В НАЧАЛЕ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ НАСОСА

Цель: Научиться определять режим движения жидкости в трубопроводе, определять потери по длине трубопровода и рассчитывать полезную мощность насоса.

Условие: Имеется насос, перекачивающий жидкость с плотностью ρ , кинематической вязкостью ν и расходом Q из нижнего резервуара в верхний. На всасывающей линии имеется фильтр, поворотное кольцо и задвижка. Известны их коэффициенты местных сопротивлений ($\xi_{\text{ф}}$, $\xi_{\text{к}}$, $\xi_{\text{з}}$), высота всасывания и нагнетания ($h_{\text{в}}$, $h_{\text{н}}$), длина всасывающей и нагнетательной линии ($L_{\text{в}}$, $L_{\text{н}}$), абсолютная шероховатость труб - Δ (рис. 15.1). Исходные данные для расчета даны в таблице 15.1.

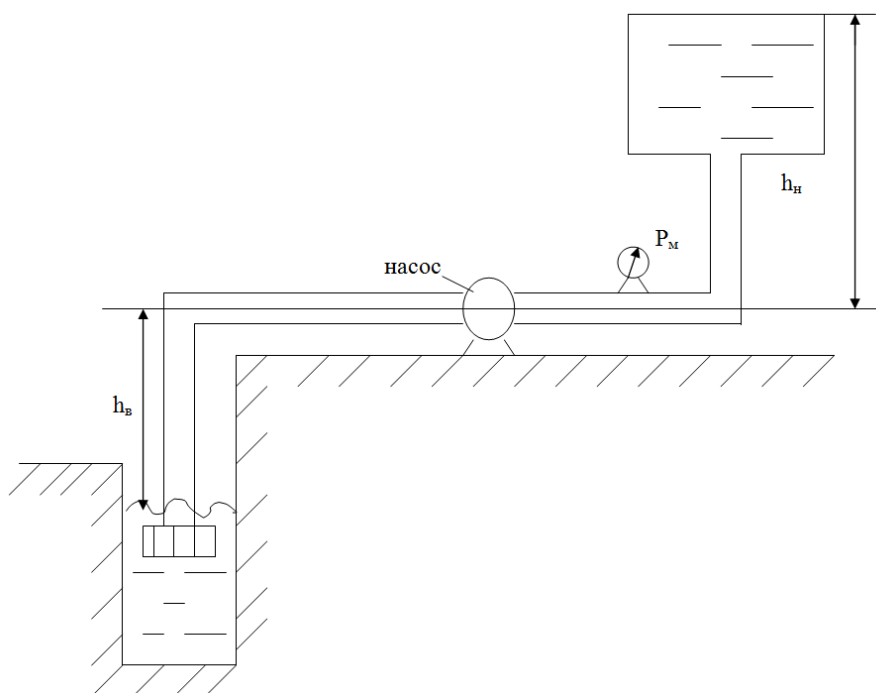


Рис. 15.1 – Схема резервуаров,
перекачивающих жидкость с помощью насоса

Таблица 15.1 – Исходные данные для расчета.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ , кг/м ³	800	810	820	830	850	840	750	740	1000	1030
$\nu \times 10^{-6}$, м ² /с	2	3	4	3	5	1,5	0,8	0,6	1	1,1
$Q \times 10^{-3}$, м ³ /с	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$h_{\text{в}}$, м	4	3,5	3	2	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$h_{\text{н}}$, м	5	7	9	11	13	15	17	19	21	10
$L_{\text{в}}$, м	10	12	14	10	8	9	11	8	9	11

Продолжение табл. 15.1

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_n , м	1000	2000	3000	3500	1800	2100	5000	3200	5000	4000
d , м	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3
Δ , мм	0,05	0,08	0,1	0,12	0,08	0,14	0,1	0,06	0,2	0,5
$\xi_{\text{ф}}$	10	12	14	8	9	10	15	12	14	15
$\xi_{\text{к}}$	0,5	0,3	0,6	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,3
ξ_3	1	0,6	0,4	0,2	0,8	0,9	0,3	0,1	0,4	0,5
$L_{\text{эк}}$, м	10	20	30	40	35	28	50	40	80	100

Методические указания:

1. Определить скорость движения жидкости:

$$v = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2}; \text{ м/с} \quad (15.1)$$

где Q - расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;
 d - диаметр трубопровода, м.

2. Подсчитать число Рейнольдса и определить вид движения жидкости:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}; \quad (15.2)$$

где v - скорость движения жидкости, м/с ;
 d - диаметр трубопровода, м;
 ν - кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$.

3. Определить коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}; \quad (15.3)$$

где Re - число Рейнольдса;
 d - диаметр трубопровода, м;
 Δ - абсолютная шероховатость труб, м.

4. Определить потери по длине трубопровода, так как истинные и местные потери учитываются введением дополнительной длины ($L_{\text{эк}}$), то формула принимает вид:

$$h_{2-3} = \lambda \frac{L_n - L_{\text{эк}}}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}; \quad (15.4)$$

где λ - коэффициент гидравлических сопротивлений;
 d - диаметр трубопровода, м;
 L_n - длина нагнетательной линии, м;
 $L_{\text{эк}}$ - эквивалентная длина, м;
 v - скорость движения жидкости в сечение 2-2, м/с ;
 g - ускорение свободного падения, м/с^2 .

5. Определить давление манометра в начале нагнетательной линии:

$$P_m = \rho \cdot g(h_{2-3} + h_n + \frac{P_o}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g}); \text{ Па} \quad (15.5)$$

- где ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 h_{2-3} - потери по длине трубопровода;
 $h_n = h_n$ - высота подъема жидкости, м;
 P_o - давление на свободной поверхности = 1,01*10⁵, Па;
 v - скорость движения жидкости в сечение 2-2, м/с.

6. Определить суммарные потери во всасывающей линии:

$$h_{0-1} = \lambda(\frac{L_b}{d} + \xi_\phi + \xi_3 + \xi_k) \frac{v^2}{2g}; \quad (15.6)$$

- где λ - коэффициент гидравлических сопротивлений;
 L_b - длина всасывающей линии, м;
 d - диаметр трубопровода, м;
 ξ_ϕ - коэффициент местных сопротивлений фильтра;
 ξ_k - коэффициент местных сопротивлений поворотного кольца;
 ξ_3 - коэффициент местных сопротивлений задвижки;
 v - скорость движения жидкости в сечение 2-2, м/с;
 g - ускорение свободного падения, м/с².

7. Определить давление на выходе насоса:

$$P_{вых} = P_o + \rho \cdot g(h_{0-1} + h_n + \frac{v^2}{2g}); \text{ Па} \quad (15.7)$$

- где P_o - давление на свободной поверхности Па;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м/с²;
 h_{0-1} - суммарные потери во всасывающей линии;
 h_n - высота нагнетания, м;
 v - скорость движения жидкости в сечение 2-2, м/с.

8. Определить эффективную мощность насоса:

$$N_{эф} = (P_{вых} + P_m)Q; \text{ Вт} \quad (15.8)$$

- где $P_{вых}$ - давление на выходе насоса, Па;
 P_m - давление манометра в начале нагнетательной линии, Па;
 Q - расход жидкости, м³/с.

9. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные свойства гидростатического давления?

2. Как формируется закон Паскаля?
3. Что называется пьезометрической поверхностью?
4. В чем сущность закона Архимеда?
5. Принцип действия гидравлического пресса, его основные узлы.
6. Что изучает гидростатика?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПОТЕРЬ НАПОРА ПО ДЛИНЕ ТРУБОПРОВОДА

Цель: Научиться определять вид режима движения жидкости и потери напора по длине трубопровода.

Условие: По трубе длиной l , м и диаметром d , мм перекачивается масло с расходом Q , м³/с и кинематической вязкостью ν , м²/с. Определить режим движения жидкости и линейные потери напора по длине трубопровода. Исходные данные для расчета даны в таблице 16.1.

Таблица 16.1 - Исходные данные для расчета.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$	2.5	2	3.5	3	4.4	4,5	4,3	4.8	5	5.5
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,04	0,03	0,05	0,08	0,12	0,09	0,11	0,15	0,13	0,02
$l, \text{м}$	220	230	250	300	350	370	400	460	430	450
$d, \text{мм}$	55	50	65	60	70	75	85	80	77	89
$\Delta, \text{мм}$	0,15	0,17	0,1	0,2	0,23	0,25	0,27	0,35	0,3	0,19

Методические указания:

1. Определить скорость движения жидкости:

$$v = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2}; \text{ м / с} \quad (16.1)$$

где Q - расход жидкости, м³/с;
 d - диаметр трубопровода, м.

2. Подсчитать число Рейнольдса и определить вид движения жидкости:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}; \quad (16.2)$$

где v - скорость движения жидкости в сечении 2-2, м/с;
 d - диаметр трубопровода, м;
 ν - кинематическая вязкость, м²/с.

- а) если $\text{Re} > \text{Re}_{\text{кр}}$ - режим движения жидкости **турбулентный**
- б) если $\text{Re} < \text{Re}_{\text{кр}}$ - режим движения жидкости **ламинарный**

где Re - подсчитанное число Рейнольдса;
 $Re_{кр}$ = 2300 критическое число Рейнольдса ;

3. Определить коэффициент гидравлического сопротивления по формуле:

а) если $Re > Re_{кр}$
$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}; \quad (16.3)$$

б) если $Re < Re_{кр}$
$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (16.4)$$

где Re - подсчитанное число Рейнольдса;
 $Re_{кр}$ = 2300 критическое число Рейнольдса ;
 λ - коэффициент гидравлических сопротивлений;
 Δ - абсолютная шероховатость труб;
 d - диаметр трубопровода, м.

4. Определить линейные потери напора по длине трубопровода:

$$h_{mp} = \frac{32 \cdot \nu \cdot l \cdot v}{d^2 \cdot g}; \text{ м} \quad (16.5)$$

где l - длина трубопровода, м;
 ν - кинематическая вязкость, м²/с.
 v - скорость движения жидкости, м/с;
 d - диаметр трубопровода, м;
 g - ускорение свободного падения, м²/с.

5. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие трубопроводы называются безнапорными?
2. Какие трубопроводы называются сложными?
3. Нарисуйте схему параллельных трубопроводов.
4. Что такое кавитация?
5. Назовите способы гашения гидравлического удара.
6. Понятие прямого и непрямого гидравлического удара.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №17

РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель: Научить определять полные потери напора и расчетные расходы жидкости для всех участков сети трубопровода.

Условие: Подобрать диаметры участков трубопровода рис. 17, и установить необходимую высоту водонапорной башни при исходных данных, приведенных в таблице 17.1.

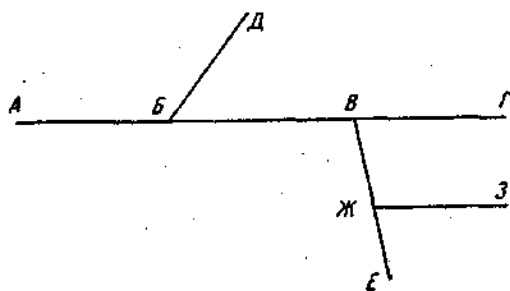


Рис. 17 - Схема сложного трубопровода

Таблица 17.1 - Исходные данные для задачи 1

Параметры	Варианты					
	1-6	7-12	12-16	17-21	22-25	26-32
1. Длина участка l_{AB} , м;	600	650	680	700	750	780
2. Длина участка l_{BB} , м;	300	350	380	400	450	480
3. Длина участка l_{BG} , м;	250	300	350	380	400	450
4. Длина участка l_{BD} , м;	400	450	480	500	530	550
5. Длина участка $l_{BЖ}$, м;	150	180	200	230	250	270
6. Длина участка $l_{ЖЕ}$, м;	150	180	200	230	250	270
7. Длина участка $l_{ЖЗ}$, м;	200	220	250	280	300	310
8. Расход жидкости в конце участков $Q_{Г}$, л/с.	18	20	22	24	26	28
9. Расход жидкости в конце участков $Q_{З}$, л/с.	12	14	16	18	20	22
10. Расход жидкости в конце участков $Q_{Е}$, л/с.	16	18	20	22	24	26
11. Расход жидкости в конце участков $Q_{Д}$, л/с.	30	32	34	36	38	40
12. Свободный напор $h_{св}$, м.	12					

Методические указания к решению задачи:

Прежде чем приступить к решению задачи, нужно исходные данные привести в систему СИ.

1. Определяем расчетные расходы движения жидкости в трубопроводе для всех участков сети по формуле:

$$Q_{AB} = Q_{Г} + Q_{З} + Q_{Е} + Q_{Д}, \text{ л/с} \quad (17.1)$$

$$Q_{BB} = Q_{Г} + Q_{З} + Q_{Е}, \text{ л/с} \quad (17.2)$$

$$Q_{BG} = Q_{Г}, \text{ л/с} \quad (17.3)$$

$$Q_{ЖЕ} = Q_{Е}, \text{ л/с} \quad (17.4)$$

$$Q_{ВД} = Q_{Д}, \text{ л/с} \quad (17.5)$$

$$Q_{ВЖ} = Q_{З} + Q_{Е}, \text{ л/с} \quad (17.6)$$

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

За главную линию тупиковой сети (магистраль) принимаем линию АБВГ как наиболее длинную и нагруженную линию.

Расчет магистрали.

Пользуясь приложением 1, определяем для данных расчетных расходов диаметры d труб для всех участков магистрали и их расходные характеристики:

$$d_{AB} = 350 \text{ мм}, d_{BB} = 300 \text{ мм}, d_{BG} = 200 \text{ мм},$$

$$K_{AB} = 1684,2 \text{ л/с}, K_{BB} = 1120,6 \text{ л/с}, K_{BG} = 383,7 \text{ л/с},$$

2. Определяем потери напора на трение для каждого участка по формуле:

$$h_{l_{AA}} = \frac{Q_{AB}^2}{K_{AB}^2} \cdot l_{AB}, \text{ м} \quad (17.7)$$

$$h_{l_{AA}} = \frac{Q_{BB}^2}{K_{BB}^2} \cdot l_{BB}, \text{ м} \quad (17.8)$$

$$h_{l_{AA}} = \frac{Q_{BG}^2}{K_{BG}^2} \cdot l_{BG}, \text{ м} \quad (17.9)$$

где Q - расход жидкости, м³/с;
 K - расходные характеристики;
 l - длина участка, м.

3. Определяем полные потери напора для каждого участка магистрали по формуле:

$$h_{\omega_{AB}} = 1,05 \cdot h_{l_{AB}}, \text{ м} \quad (17.10)$$

$$h_{\omega_{BB}} = 1,05 \cdot h_{l_{BB}}, \text{ м} \quad (17.11)$$

$$h_{\omega_{BG}} = 1,05 \cdot h_{l_{BG}}, \text{ м} \quad (17.12)$$

где l - длина участка, м.

4. Определяем высоту водонапорной башни по формуле:

$$H_6 = h_{CB} + \sum h_{\omega_{AG}}, \text{ м} \quad (17.13)$$

где h_{CB} - свободный напор, м;
 $\sum h_{\omega_{AG}}$ - суммарное значение потерь напора в магистрали, м

5. Определяем пьезометрические высоты в пунктах магистрали по формуле:

$$\frac{P_B}{\rho \cdot g} = H_6 - h_{\omega_{AB}}, \text{ м} \quad (17.14)$$

$$\frac{P_B}{\rho \cdot g} = \frac{P_B}{\rho \cdot g} - h_{\omega_{BB}}, \text{ м} \quad (17.15)$$

$$\frac{P_{\Gamma}}{\rho \cdot g} = \frac{P_B}{\rho \cdot g} - h_{\omega_{\text{ВГ}}}, \text{ м} \quad (17.16)$$

где $h_{\text{св}}$ - свободный напор, м;
 H_6 - высота водонапорной башни, м;
 $h_{\omega_{\text{АБ}}}, h_{\omega_{\text{БВ}}}, h_{\omega_{\text{ВГ}}}$ - потери напора на участках магистральной, м.

Данные расчета магистральной заносим в таблицу 17.2

Таблица 17.2

Пункты магистральной	Длины участков l , м	Расчетные расходы Q , л/сек	Диаметры участков d , мм	Расходные характеристики K , л/сек	Потеря напора		Пьезометрическая высота $\frac{P_i}{\rho \cdot g}$, м
					h_l , м	h_{ω} , м	
А							
Б							
В							
Г							

Расчет сложного ответвления ВЕ

6. Определяем допустимые потери напора по формуле:

$$h_{\omega_{\text{Д}}} = \frac{P_B}{\rho \cdot g} - h_{\text{св}}, \text{ м} \quad (17.17)$$

где $h_{\text{св}}$ - свободный напор, м;
 $\frac{P_B}{\rho \cdot g}$ - пьезометрическая высота на участке В, м;

7. Определяем допустимые потери напора по длине:

$$h_{l_{\text{Д}}} = 0,95 \cdot h_{\omega_{\text{Д}}}, \text{ м} \quad (17.18)$$

где $h_{\omega_{\text{Д}}}$ - потери напора на участке Д магистральной, м.

8. Определяем средний гидравлический уклон по формуле:

$$i_{\text{ср}} = \frac{h_{l_{\text{Д}}}}{\sum l_{\text{ВЕ}}} \quad (17.19)$$

где $h_{l_{\text{Д}}}$ - допустимые потери напора на участке Д, м;
 $\sum l_{\text{ВЕ}}$ - суммарное значение длины участка ВЕ, м.

9. Определяем требуемые расходные характеристики по формуле:

$$K_{\text{T АЭ}} = \frac{Q_{\text{ВЖ}}}{\sqrt{i_{\text{ср}}}}, \text{ л/сек} \quad (17.20)$$

$$K_{T \text{ AE} \dot{A}} = \frac{Q_{\text{ЖЕ}}}{\sqrt{i_{\text{CP}}}}, \text{ л/сек} \quad (17.21)$$

где Q - расход жидкости, м³/с;
 i_{CP} - средний гидравлический уклон.

По приложению 1. устанавливаем диаметры стандартных трубопроводов и соответствующие им расходные характеристики:

$$d_{\text{ВЖ}} = 250 \text{ мм}, d_{\text{ЖЕ}} = 200 \text{ мм},$$

$$K_{\text{ВЖ}} = 692,1 \text{ л/с}, K_{\text{ЖЕ}} = 383,7 \text{ л/с}.$$

10. Определяем фактические потери напора на трение для принятых диаметров труб по формуле:

$$h_{l_{\text{AE}}} = \frac{Q_{\text{ВЖ}}^2}{K_{\text{ВЖ}}^2} \cdot l_{\text{ВЖ}}, \text{ м} \quad (17.22)$$

$$h_{l_{\text{AE} \dot{A}}} = \frac{Q_{\text{ЖЕ}}^2}{K_{\text{ЖЕ}}^2} \cdot l_{\text{ЖЕ}}, \text{ м} \quad (17.23)$$

где Q - расход жидкости, м³/с;
 K - расходные характеристики;
 l - длина участка, м.

11. Определяем полные потери напора для каждого участка магистрали по формуле:

$$h_{\omega_{\text{ВЖ}}} = 1,05 \cdot h_{l_{\text{ВЖ}}}, \text{ м} \quad (17.24)$$

$$h_{\omega_{\text{ЖЕ}}} = 1,05 \cdot h_{l_{\text{ЖЕ}}}, \text{ м} \quad (17.25)$$

где l - длина участка, м.

12. Определяем пьезометрические высоты в пунктах магистрали по формуле:

$$\frac{P_{\text{Ж}}}{\rho \cdot g} = \frac{P_{\text{В}}}{\rho \cdot g} - h_{\omega_{\text{ВЖ}}}, \text{ м} \quad (17.26)$$

$$\frac{P_{\text{Е}}}{\rho \cdot g} = \frac{P_{\text{Ж}}}{\rho \cdot g} - h_{\omega_{\text{ЖЕ}}}, \text{ м} \quad (17.27)$$

где $\frac{P_{\text{В}}}{\rho \cdot g}, \frac{P_{\text{Ж}}}{\rho \cdot g}$ - пьезометрические высоты на участках В и Ж, м;
 $h_{\omega_{\text{ВЖ}}}$ - потери напора на участке магистрали ВЖ, м;
 $h_{\omega_{\text{ЖЕ}}}$ - потери напора на участке магистрали ЖЕ, м.

13. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие трубопроводы называют напорными?
2. Какие трубопроводы называют сложными?
3. Какие расходы различают в сложных трубопроводах?
4. Перечислите виды трубопроводов?
5. Какое уравнение является исходным для расчета трубопроводов?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №18

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ТРУБАХ

Цель: Научиться определять ударное повышение давления и время закрытия задвижки.

Условие: Рассчитать время закрытия задвижки в конце стального водопровода длиной l и диаметром d , чтобы ударное повышение давления $\frac{1}{n}$ составило от максимально возможного. Исходные данные для расчета даны в таблице 18.1.

Таблица 18.1 – Исходные данные для расчета.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ , кг/м ³	1000									
L , м	500	600	480	580	700	685	470	770	750	800
d , см	0,3	0,2	0,18	0,15	0,12	0,23	0,31	0,26	0,22	0,3
δ , мм	10	9	11	8	9	10	11	7	8	10
Q , м ³ /с	0,15	0,2	0,21	0,3	0,18	0,21	0,32	0,13	0,3	0,28
n	3	2	1	4	2	3	5	1	3	2
β , 1/Па	5×10^{-10}									

Методические указания:

1. Определим скорость жидкости до закрытия задвижки:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}; \text{ м/с} \quad (18.1)$$

где Q - расход воды при открытой задвижке, м³/с;
 d - диаметр водопровода, м.

2. Определим скорость распространения ударной волны, принимая модуль упругости материала трубы абсолютно неупругим, т.е. $E = \infty$, фор-

мула $C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot d}{E \cdot \delta}}}$; м/с принимает вид:

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}}; \text{ м/с} \quad (18.2)$$

где K - модуль объемной упругости, Па;
 ρ - плотность воды, кг/м³.

Модуль объемной упругости рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{1}{\beta}; \text{ Па} \quad (18.3)$$

где β - коэффициент объемного сжатия воды, 1/Па.

3. По формуле Жуковского определим превышение давления:

$$\Delta P = C \cdot \rho \cdot v; \text{ Па} \quad (18.4)$$

где C - скорость распространения ударной волны, м/с;
 ρ - плотность вода, кг/м³;
 v - скорость жидкости до закрытия задвижки, м/с.

4. Определим фазу удара:

$$T = \frac{2 \cdot L}{C}; \text{ с} \quad (1.5)$$

где C - скорость распространения ударной волны, м/с;
 L - длина водопровода, м.

5. Из формулы $\frac{1}{n} \cdot \Delta P = C \cdot \rho \cdot v \cdot \frac{T}{t_3}$ определим время закрытия задвижки:

$$t_3 = \frac{C \cdot \rho \cdot v \cdot T \cdot n}{\Delta P}; \text{ с} \quad (18.6)$$

где C - скорость распространения ударной волны, м/с;
 ρ - плотность вода, кг/м³;
 v - скорость жидкости до закрытия задвижки, м/с;
 T - фаза удара, с;
 n -
 ΔP - превышение давления, Па.

- если $t_3 < T$, то удар называется полным (прямым);

- если $t_3 > T$, то удар называется непрямым.

6. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение гидравлическому удару.
2. Запишите формулу Жуковского.
3. Что такое полный и непрямо гидравлические удары.

4. Что такое кавитация и условие ее возникновения.
5. Меры предотвращения гидравлического удара.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №19

РАСЧЕТ ПРОСТОГО ТРУБОПРОВОДА

Цель: Определить полезную мощность насоса с помощью законов гидродинамики.

Условие: Насос подает нефтепродукт, имеющий кинематическую вязкость ν и плотность ρ , из открытой емкости в резервуар с избыточным давлением P_m на высоту h (рис.19.1). Исходные данные для расчета даны в таблице 19.1.

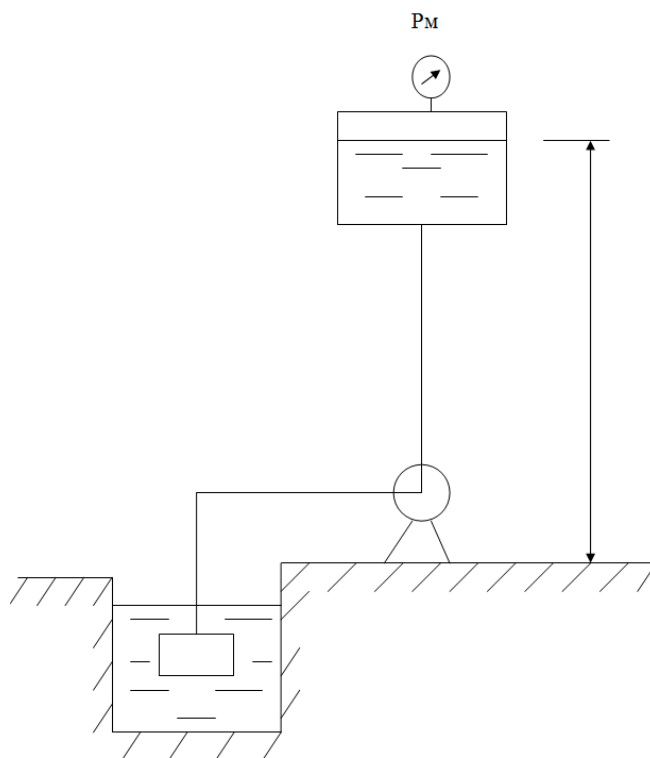


Рис. 19.1 – Схема перекачки нефтепродукта из емкости в резервуар

Таблица 19.1 - Исходные данные для расчета.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$	2	2,5	3	3,5	4	4,3	4,8	5	5,5	6
$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	850	870	880	740	750	760	790	750	800	770
$P_m, \text{кПа}$	10	15	20	25	30	32	40	45	49	23
$h, \text{м}$	15	16	17	18	20	23	27	30	34	16
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,01	0,05	0,07	0,09	0,04	0,11	0,15	0,19	0,17	0,09
$L, \text{м}$	200	250	300	350	400	470	500	520	280	350
$d, \text{мм}$	50	60	70	80	90	65	95	100	65	50
$\sum \zeta$	10	15	20	25	30	35	40	44	50	60
$\Delta, \text{мм}$	0,1	0,2	0,15	0,25	0,27	0,3	0,35	0,4	0,3	0,12

Методические указания:

1. Определить скорость движения жидкости:

$$v = \frac{4Q}{\pi \cdot d^2}; \text{ м/с} \quad (19.1)$$

где **Q** - расход жидкости, м³/с;
d - диаметр трубопровода, м.

2. Подсчитать число Рейнольдса и определить вид движения жидкости:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}; \quad (19.2)$$

где **v** - скорость движения жидкости в сечение 2-2, м/с;
d - диаметр трубопровода, м;
ν - кинематическая вязкость, м²/с.

3. Определить коэффициент гидравлического сопротивления по формуле:

а) если $\text{Re} > \text{Re}_{\text{кр}}$
$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}; \quad (19.3)$$

б) если $\text{Re} < \text{Re}_{\text{кр}}$
$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (19.4)$$

где **Re** - подсчитанное число Рейнольдса;
Re_{кр} = 2300 критическое число Рейнольдса ;
λ - коэффициент гидравлических сопротивлений;
Δ - абсолютная шероховатость труб;
d - диаметр трубопровода, м.

4. Определить потери напора по длине трубопровода:

$$h_{1-2} = \left(\lambda \cdot \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}; \quad (19.5)$$

где **L** - длина трубопровода, м;
∑ζ - суммарный коэффициент местных сопротивлений;
λ - коэффициент гидравлических сопротивлений;
v - скорость движения жидкости, м/с;
d - диаметр трубопровода, м;
g - ускорение свободного падения, м²/с.

5. Определить напор, создаваемый насосом:

$$H_n = h + \frac{P_m}{\rho \cdot g} + h_{1-2}, \text{ м}; \quad (19.6)$$

где h = $z_2 - z_1$ – высота подъема жидкости, м ;
 P_m = $P_2 - P_1$ – избыточное давление, Па;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 h_{1-2} - потери напора по длине трубопровода;
 g - ускорение свободного падения, м²/с.

6. Определить полезную мощность насоса:

$$N_n = H_n \cdot Q \cdot \rho \cdot g, \text{ Вт}; \quad (19.7)$$

где H_n - напор, создаваемый насосом, м;
 Q - расход жидкости, м³/с;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 g - ускорение свободного падения, м²/с.

7. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие трубопроводы называются напорными?
2. Какие трубопроводы называются простыми?
3. Нарисуйте схему разветвленных трубопроводов.
4. Что такое кавитация?
5. Какова польза от гидравлического удара в трубах?
6. Что называется трубопроводами, работающими под вакуумом?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №20

ДВИЖЕНИЕ ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПО ТРУБАМ

Цель: Закрепить знания, получить практический навык расчетов при изучении нового материала.

Общие сведения:

Неньютоновскими жидкостями называют такие жидкости, которые не подчиняются основному закону внутреннего трения Ньютона.

Основной характеристикой неньютоновских жидкостей являются так называемые **кривые течения**, или реологические кривые (реограммы).

К **свойствам неньютоновской жидкости** относятся понятия: идеального пластического тела, предел текучести или начальное напряжение сдвига, тиксотропия или тиксотропные жидкости (буровые растворы).

Тиксотропия это консистенция жидкости, которая изменяется как бы «застудневает», и ее начальное напряжение сдвига увеличивается.

Для многих неньютоновских жидкостей **начальное напряжение сдвига** зависит от времени нахождения жидкости в покое.

Условие: В горизонтальном трубопроводе находится нефть, характеризующаяся свойствами вязко-пластичной жидкости. Насос может создать

разность давлений по концам трубопровода $\Delta P = 0,4$ МПа. Необходимо определить, будет ли нефть при этом перемещаться в трубопроводе. Исходные данные для расчета представлены в таблице 20.1

Таблица 20.1. - Исходные данные

Параметры	Варианты					
	1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 - 30
Длина трубопровода L, м;	1000	1500	1000	1500	1000	1500
Внутренний диаметр трубопровода d, мм;	100	120	105	130	108	110
Разность давлений, ΔP , МПа;	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6
Начальное напряжение сдвига τ_0 , Па;	5	6	7	5	6	7
Плотность нефти ρ , кг/м ³ ;	860					
Динамическая вязкость нефти $\mu_{пл}$, Па·с.	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35

Методические указания:

1. Определить разность давлений, при которой начнется движение нефти:

$$\Delta P_0 = \frac{4 \cdot \tau_0 \cdot L}{d}; \text{ МПа} \quad (20.1)$$

где **L** - длина трубопровода, м;
d - внутренний диаметр трубопровода, мм;
 τ_0 - начальное напряжение сдвига, Па.

2. Определить расход нефти, протекающей по трубопроводу:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4 \left(\Delta P - \frac{4}{3} \cdot \Delta P_0 \right)}{128 \cdot \mu_{пл} \cdot L}; \text{ м}^3/\text{с} \quad (20.2)$$

где **L** - длина трубопровода, м;
d - внутренний диаметр трубопровода, мм;
 ΔP - разность давлений, МПа;
 ΔP_0 - разность давлений, МПа;
 $\mu_{пл}$ - динамическая вязкость нефти, Па·с.

3. Определить площадь поперечного сечения трубопровода:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}; \text{ м}^2 \quad (20.3)$$

где **d** - внутренний диаметр трубопровода, мм.

4. Определить скорость течения нефти в трубопроводе:

$$V = \frac{Q}{S}; \text{ м/с} \quad (20.4)$$

где Q - расход нефти, м³/с;
 S - площадь поперечного сечения трубопровода, м².

5. Определить обобщенное число Рейнольдса:

$$Re^* = \frac{1}{\frac{\mu_{пл}}{\rho \cdot V \cdot d} + \frac{\tau_o}{6 \cdot \rho \cdot V^2}}; \quad (20.5)$$

где τ_o - начальное напряжение сдвига, Па;
 d - внутренний диаметр трубопровода, мм;
 ρ - плотность нефти, кг/м³;
 V - скорость течения нефти, м/с;
 $\mu_{пл}$ - динамическая вязкость нефти, Па·с.

6. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие жидкости называют неньютоновскими?
2. Что является основной характеристикой неньютоновских жидкостей?
3. Начертите кривые течения неньютоновских жидкостей?
4. Перечислите свойства неньютоновских жидкостей?
5. От чего зависит начальное напряжение сдвига τ_o ?

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод. М.: Недра, 1991.
2. Егорушкин В.Е., Цеплович Б.И. Основы гидравлики и теплотехники. М.: Машиностроение, 1981.
3. Гулак И.А. Задачи по гидравлике. М.: Недра, 1982.
4. Пашков Н.Н., Долгачев Ф.М. Гидравлика. Основы гидрологии. М.: Энергия, 1987.
5. Рабинович Е.З., Евгеньев А.Е. Гидравлика. М.: Недра, 1987.
6. Абацкий Ю.И., Абахипов В.А., Барыкин А.А. и др. Гидро- и пневмопривод и его элементы. М.: Машиностроение, 1992.
7. Евгеньев А.Е., Крупеник А.Г. Гидравлика. М.: Недра, 1993.
8. Ерохин В.Г., Махонько М.Г. Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники. М.: Энергия, 1989.
9. Лучшева А.А., Чаповский А.Е. Сборник задач и руководство к практическим занятиям по основам гидравлики и гидрометрии. М.: Недра, 1990.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ТЕМАТИЧЕСКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	4
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №1	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9	9
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №10	10
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11	14
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №2	17
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №3	20
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12	23
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13	25
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №14	27
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №15	29
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №16	32
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №17	33
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №18	38
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №19	40
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №20	42
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	44

КОМПЛЕКС ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
по МДК 02.01 Эксплуатация нефтегазового оборудования

**Методические указания
к выполнению лабораторно-практических занятий
для студентов образовательных учреждений
среднего профессионального образования
всех форм обучения (очная, заочная)
специальности**

21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Часть 2

Методические указания
к выполнению лабораторно-практических занятий
для студентов разработал преподаватель:
Тетикли Надежда Михайловна

Подписано к печати 28.01.2016 г.
Формат 60x84/16
Тираж

Объем 2,9 п.л.
Заказ
100 экз.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Югорский государственный университет»
НИЖНЕВАРТОВСКИЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИКУМ (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Югорский государственный университет»
628615 Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ,
г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.