

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
Б1.Б.11 Гидравлика**

Направление подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»

Форма обучения заочная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Организация самостоятельной работы.....	3
2. Методические рекомендации по выполнению	
индивидуальных домашних заданий	4
2.1 Темы индивидуальных домашних заданий.....	4
2.2 Содержание индивидуальных домашних заданий	4
2.3 Порядок выполнения заданий	11
2.4 Пример выполнения задания	10
3. Методические рекомендации по	
самостоятельному изучению вопросов.....	29
4. Методические рекомендации	
по подготовке к занятиям	30
4.1 Лабораторная работа №1 «Изучение физических свойств жидкости»	30
4.2 Лабораторная работа №2 «Определение режимов движения жидкости».....	30
4.3 Лабораторная работа №3 «Иллюстрация уравнения Бернулли»	30
4.4 Лабораторная работа №4 «Определение коэффициента гидравлического трения»	30
4.5 Лабораторная работа №5 «Особенности конструкции и эксплуатации, динамических насосов».....	31

1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п. п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы		
		индивидуаль ные домашние задания (ИДЗ)	самостоятел ьное изучение вопросов (СИВ)	подготов ка к занятиям (ПкЗ)
1	2	3	4	5
1	Предмет и задачи гидравлики. Свойства жидкостей.			2
2	Силы действующие в жидкости.		2	
3	Общие законы и уравнения гидростатики		2	
4	Основы кинематики и динамики жидкостей		2	
5	Одномерные потоки	12	1	2
6	Основы водоснабжения	8		
7	Гидравлическое подобие	2		
8	Классификация гидравлических машин	2		3
9	Динамические машины	8		
10	Объемные машины		20	
11	Гидропередачи и гидро- пневмоприводы		20	

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

Индивидуальные домашние задания выполняются в форме (расчетно-проектировочной, расчетно-графической работы, презентации, контрольной работы и т.п.).

2.1 Темы индивидуальных домашних заданий

Расчет сети водоснабжения населенного пункта.

2.2 Содержание индивидуальных домашних заданий

Задание №1

Центробежный насос 2 (рисунок А1) перекачивает жидкость из водозабора 1 в водонапорную башню 3, при этом жидкость поднимается на высоту H от оси насоса. Избыточное давление в газовом пространстве резервуара $p_{м1}$. Далее вода поступает в кольцевую сеть по магистральному трубопроводу.

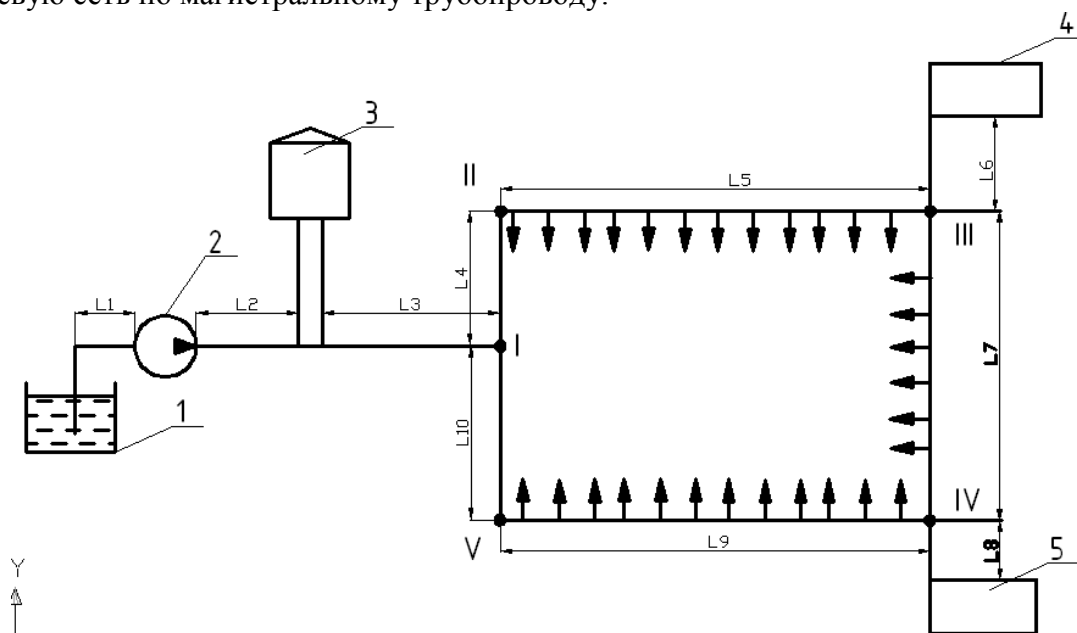


Рисунок 1 - Кольцевая сеть водоснабжения населенного пункта: 1 – водозабор; 2 – насосная станция; 3 – водонапорная башня; 4 – молочно-товарная ферма (МТФ); 5 – гараж; I, II, III, IV, V – узлы

Исходные данные приведены в таблице 1.

Указания:

1. Вода жесткая.
2. Местные сопротивления, расположенные на всасывающей и нагнетательной линиях: всасывающая коробка с обратным клапаном и фильтром, обратный клапан, повороты на 90° , задвижка, вход в резервуар 8.
4. При уменьшении производительности принять:
 - четный вариант – $x=80\%$;
 - нечетный вариант – $x=70\%$.

	Номер варианта															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Кол –во потребителей																
Население, тыс. чел	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4
Расход воды в гараже, л/с	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
Расход воды на мтф, л/с	1,5	2,0	2,5	2,5	3,5	4,5	4,5	5,5	3,3	4,5	5,0	3,5	2,5	3,3	4,5	1
Длина участков, м																
L ₁	10	20	5	4	10	15	12	16	8	10	20	5	4	10	15	12
L ₂	100	50	200	30	40	45	70	80	95	10	15	13	8	15	35	60
L ₃	300	1000	150	250	450	500	750	30	200	150	50	100	130	110	120	140
L ₄	50	60	100	120	80	150	220	350	400	200	200	100	300	500	300	50
L ₅	200	300	500	400	500	600	650	850	700	750	800	850	900	950	1000	1000
L ₆	30	35	40	45	50	55	65	70	75	80	85	95	100	55	60	45
L ₇	100	120	150	170	200	220	250	370	400	500	700	800	830	850	870	900
L ₈	10	25	15	30	35	40	45	50	55	60	65	75	70	80	85	150
L ₉	250	250	450	450	550	650	650	750	600	850	700	950	950	1050	900	950
L ₁₀	60	70	100	120	80	150	250	350	450	250	260	130	400	500	550	600
Геометрическая высота потребителей и узлов, м																
Z ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z ₂	0,5	1	0,5	1,3	0,1	2	3	1	1,5	1	1,2	4,5	0,5	1	0,5	1,3
Z ₃	2	1,5	1,5	2,5	3	3	5	2	2	4	3,5	2,5	1,5	5	5,5	6
Z ₄	0,5	1	0,5	0,3	0,1	2	3	1	1,5	1	1,5	1,1	0,5	0	2	3
Z ₅	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1	0,5	0,5	0,6	0,8
Z _I	2	1	1	0,5	3	1,5	2	1,5	1	1,5	1	1,5	2	2	2	2
Z _{II}	0,5	0,5	0,5	0,3	0,1	2	0,5	1	1,5	2	2	0,5	0,5	3	3	3
Z _{III}	2	0,6	1	0,2	3	3	1	2	0	1	1	0,5	0,5	1	1	1
Z _{IV}	0,5	1	0,5	0,3	1	1	1	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1
Z _V	1	1	1	0,5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1

Потребный напор потребителей	
Дом одноэтажный, м	8
На фермах, м	10
Гараж, м	10

Таблица 1 – Исходные данные к заданию №1

Задание №2

Центробежный насос 2 (рисунок 2) перекачивает жидкость из скважины 1 в водонапорную башню 3, при этом жидкость поднимается на высоту H от поверхности источника. Избыточное давление в газовом пространстве резервуара $p_{м1}$. Далее вода поступает в кольцевую сеть по магистральному трубопроводу.

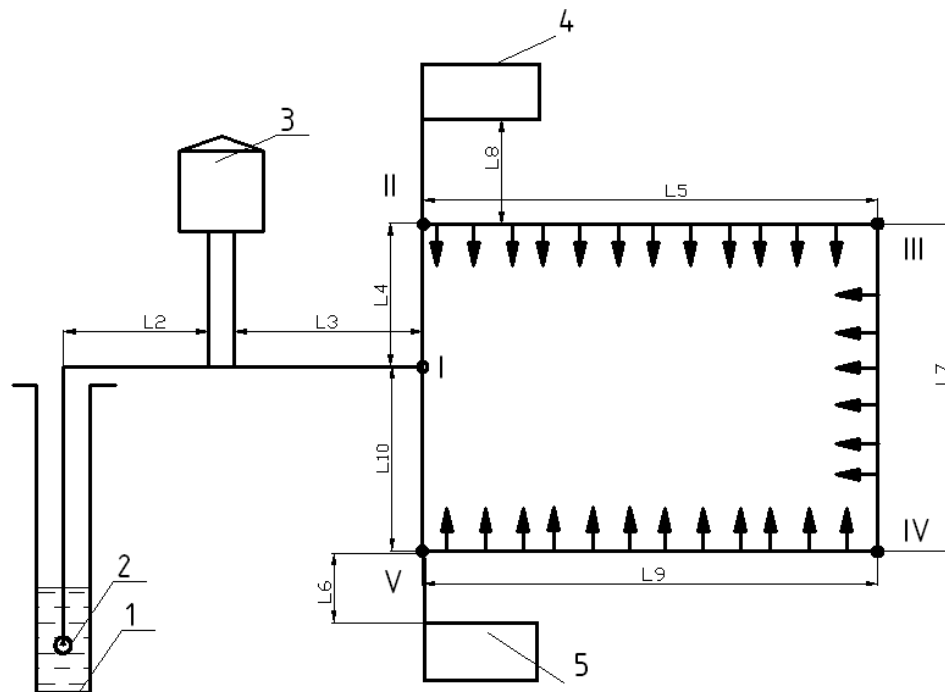


Рисунок 2 - Кольцевая сеть водоснабжения населенного пункта: 1 – скважина; 2 – насосная станция; 3 – водонапорная башня; 4 – молочно товарная ферма (МТФ); 5 – гараж; I, II, III, IV, V – узлы

	Номер варианта															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Кол –во потребителей																
Население, тыс. чел	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4
Расход воды в гараже, л/с	1	1,75	1.5	1	3,0	3,5	3	2	2,5	4	2	3	2	2,5	3,5	0,5
Расход воды на мтф, л/с	1,5	2,0	2,5	2,5	3,5	4,5	4,5	5,5	3,3	4,5	5,0	3,5	2,5	3,3	4,5	1
Длина участков, м																
L ₁	10	20	5	4	10	15	12	16	8	10	20	5	4	10	15	12
L ₂	100	50	200	30	40	45	70	80	95	10	15	13	8	15	35	60
L ₃	300	1000	150	250	450	500	750	30	200	150	50	100	130	110	120	140
L ₄	50	60	100	120	80	150	220	350	400	200	200	100	300	500	300	50
L ₅	200	300	500	300	500	600	650	850	700	750	800	850	900	950	1000	1000
L ₆	30	35	40	45	50	55	65	70	75	80	85	95	100	55	60	45
L ₇	100	120	150	170	200	220	250	370	400	500	700	800	830	850	870	900
L ₈	10	25	15	30	35	40	45	50	55	60	65	75	70	80	85	150
L ₉	250	250	350	350	550	650	650	750	600	850	700	950	950	1050	900	950
L ₁₀	60	70	100	120	80	150	250	350	450	250	260	130	400	500	550	600
удельный дебит скважины, л/с*м	5		10		15		12		4		3		6		20	
Геометрическая высота потребителей и узлов, м																
Z ₁	-15	-25	-10	-35	-45	-55	-65	-75	-85	-95	-105	-30	-40	-60	-90	-80
Z ₃	2	1,5	1,5	2,5	3	3	5	2	2	4	3,5	2,5	1,5	5	5,5	6
Z ₄	0,5	1	0,5	0,3	0,1	2	3	1	1,5	1	1,5	1,1	0,5	0	2	3
Z ₅	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1,5	1,5	1	0,5	0,5	0,6	0,8
Z _I	2	1	1	0,5	3	1,5	2	1,5	1	1,5	1	1,5	2	2	2	2
Z _{II}	0,5	0,5	0,5	0,3	0,1	2	0,5	1	1,5	2	2	0,5	0,5	3	3	3
Z _{III}	2	0,6	1	0,2	3	3	1	2	0	1	1	0,5	0,5	1	1	1
Z _{IV}	0,5	1	0,5	0,3	1	1	1	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1
Z _V	1	1	1	0,5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Потребный напор потребителей																
Дом одноэтажный, м	8															
На фермах, м	10															
Гараж,м	10															

Таблица 2 – Исходные данные к заданию №2

Исходные данные приведены в таблице 2.

Указания:

1. Вода мягкая.
2. Местные сопротивления, расположенные на нагнетательной линии: поворот на 90° , задвижка, вход в резервуар.
3. Трубопровод изготовлен из новых стальных труб.
4. При уменьшении производительности принять:
 - четный вариант – $\chi=60\%$;
 - нечетный вариант – $\chi=90\%$.

2.3 Порядок выполнения заданий

- 1) Определить потребные расходы воды в водопроводной сети.
- 2) Подобрать материал и диаметры труб для водопроводной сети.
- 3) Определить потребные напоры в узловых точках сети, высоту и емкость водонапорной башни (напорно-регулирующего резервуара).
- 4) Подобрать материал и диаметры труб для всасывающей и нагнетательной линии насосной станции.
- 5) Подобрать насос и определить рабочие параметры установки, а при необходимости, дать рекомендации по регулированию его подачи с помощью задвижки.
- 6) Определить число оборотов вала насоса при уменьшении производительности до заданной величины x (в % от расчетного расхода Q_p).
- 7) Определить давление на входе в насос и максимально возможный коэффициент сопротивления фильтра из условия отсутствия кавитации.

2.4 Пример выполнения задания

.....

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный аграрный университет»

Инженерный факультет

Кафедра «Механизация технологических процессов в АПК»

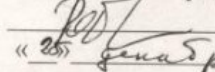
РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к расчетно-графической работе


На тему «Расчет гидравлической сети объекта сельскохозяйственного
назначения»

Вариант 11

Выполнила: студентка Эл-33 гр.

 Рябова Ю.С.
« 26 » сентября 2014г.

Проверил: доцент, к.т.н.

 Аширов И. З.
« 26 » сентября 2014г.

Оренбург 2014 г.

Задание №4

Центробежный насос 2 (рисунок А4) перекачивает жидкость из скважины 1 в водонапорную башню 3, при этом жидкость поднимается на высоту H от поверхности источника. Избыточное давление в газовом пространстве резервуара $p_{м1}$. Далее вода поступает в кольцевую сеть по магистральному трубопроводу.

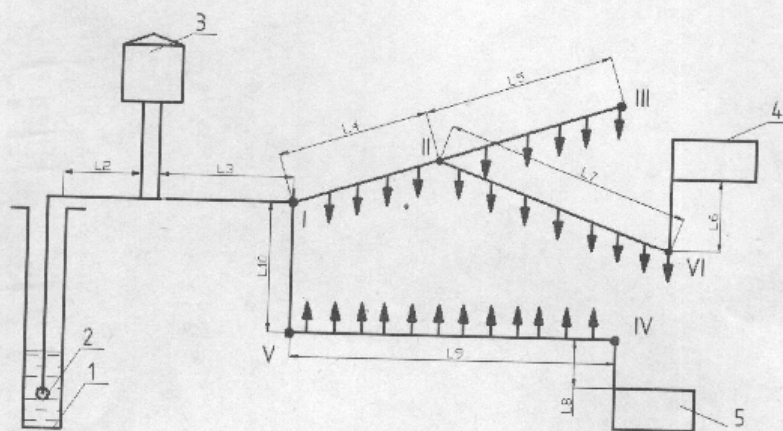


Рисунок А4 - Разветвленная сеть водоснабжения населенного пункта: 1 – скважина; 2 – насосная станция; 3 – водонапорная башня; 4 – молочно товарная ферма (МТФ); 5 – гараж; I, II, III, IV, V, VI – узлы

Исходные данные приведены в таблице А4.

Требуется:

- 1) Определить потребные расходы воды в кольцевой сети.
- 2) Подобрать материал и диаметры труб для водопроводной сети.
- 3) Определить потребные напоры в узловых точках сети, высоту и емкость водонапорной башни (напорно-регулирующего резервуара).

4) Подобрать материал и диаметры труб для всасывающей и нагнетательной линии насосной станции.

5) Подобрать насос и определить рабочие параметры установки, а при необходимости, дать рекомендации по регулированию его подачи с помощью задвижки.

6) Определить число оборотов вала насоса при уменьшении производительности до заданной величины x (в % от расчетного расхода Q_p).

7) Определить давление на входе в насос и максимально возможный коэффициент сопротивления фильтра из условия отсутствия кавитации.

Указания:

1. Вода мягкая.

2. Местные сопротивления, расположенные на нагнетательной линии: поворот на 90° , задвижка, вход в резервуар.

3. Трубопровод изготовлен из новых стальных труб.

4. При уменьшении производительности принять:

- четный вариант – $x=75\%$;

- нечетный вариант – $x=50\%$.

Таблица А4 – Исходные данные к заданию №4

Номер варианта	11
Кол-во потребителей	
Население, тыс. чел	1,9
Расход воды в гараже, л/с	2
Расход воды на мтф, л/с	5,0
Длина участков, м	
L ₁	20
L ₂	15
L ₃	50
L ₄	200
L ₅	800
L ₆	85
L ₇	700
L ₈	65
L ₉	700
L ₁₀	260
удельный дебит скважины, л/с*м	15

Геометрическая высота потребителей и узлов, м	
Z ₁	-100
Z ₃	3,5
Z ₄	1,5
Z ₅	1,5
Z ₁	1
Z _{II}	2
Z _{III}	1
Z _{IV}	1
Z _V	1
Z _{VI}	1
Потребный напор потребителей	
Дом одноэтажный, м	8
На фермах, м	10
Гараж, м	10

Содержание

1	Определение потребных расходов воды.....	3
2	Распределение расходов жидкости по участкам сети.....	3
3	Определение материала и диаметра труб.....	5
4	Определение потерь на участках водоснабжения.....	7
5	Определение высоты водонапорной башни.....	8
6	Вместимость бака водонапорной башни.....	9
7	Определение фактических напоров в каждом узле.....	10
8	Расчёт ответвлений.....	11
9	Определение материала и диаметров труб для всасывающей и нагнетательной линии насосной станции.....	12
10	Выбор насоса и определение рабочих параметров установки.....	12
11	Определение числа оборотов вала насоса при уменьшении производительности.....	15
12	Определение давления на входе в насос из условия отсутствия кавитации.....	16
	Список литературы.....	17

1 Определение потребных расходов воды

Определение потребных расходов воды:

Население: $N=1900$ человек;

Расход на человека: $q=300$ л/сутки

Среднесуточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды определяется по формуле:

$$Q_{\text{ср.сут}} = q \cdot N = 300 \cdot 1900 = 570000 \text{ литров/сутки} = \\ = 570 \text{ м}^3/\text{сутки},$$

где q - норма водопотребления одним потребителем, л/сутки.;

N - количество потребителей.

$$Q_{\text{сут.мах}} = K_{\text{сут.мах}} \cdot Q_{\text{ср.сут}} = 1,2 \cdot 570 = 684 \text{ м}^3/\text{сутки};$$

$$Q_{\text{сут.мин}} = K_{\text{сут.мин}} \cdot Q_{\text{ср.сут}} = 0,8 \cdot 570 = 456 \text{ м}^3/\text{сутки}$$

Часовые расходы:

$$K_{\text{ч.мах}} = \alpha_{\text{мах}} \cdot \beta_{\text{мах}} = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21;$$

$$K_{\text{ч.мин}} = \alpha_{\text{мин}} \cdot \beta_{\text{мин}} = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05,$$

где $\alpha_{\text{мах}} = 1,3$; $\beta_{\text{мах}} = 1,7$; $\alpha_{\text{мин}} = 0,5$; $\beta_{\text{мин}} = 0,1$.

$$Q_{\text{ч.мах}} = K_{\text{ч.мах}} \cdot \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24} = 2,21 \cdot \frac{684}{24} = 62,99 \text{ м}^3/\text{час};$$

$$Q_{\text{мах}} = \frac{Q_{\text{ч.мах}}}{3600} = \frac{62,99}{3600} = 0,0175 \text{ м}^3/\text{сек} = 17,5 \text{ л/с}$$

2 Распределение расходов жидкости по участкам сети

Для определения диаметра трубопровода необходимо знать фактические, расчетные и сосредоточенные расходы на участке.

$$Q_{\phi i} = Q_{ni} + Q_{mpi} + Q_{yzi};$$

$$Q_{pi} = 0,5 \cdot Q_{ni} + Q_{mpi} + Q_{yzi},$$

где Q_{yz} – расход в узле, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_{tp} – транзитный расход, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_n – путевой расход на участке, $\text{м}^3/\text{с}$.

Удельный путевой расчет:

$$q_{уд} = \frac{Q_{max}}{L_4 + L_5 + L_7 + L_9} = \frac{0,0175}{200 + 800 + 700 + 700} = 7,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

Определим расход воды на участках:

Участок II-III:

$$Q_{\phi II-III} = Q_{nII-III} = L_5 q_{пут} = 800 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} = 0,006 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{pII-III} = 0,5 \cdot Q_{nII-III} = 0,5 \cdot 0,006 = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}$$

Участок II-VI:

$$Q_{\phi II-VI} = Q_{nII-VI} + Q_{cocr} = 700 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{pII-VI} = 0,5 \cdot Q_{nII-VI} + Q_{cocr} = 0,5 \cdot 0,01 + 5 \cdot 10^{-3} = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$$

Участок I-II:

$$Q_{\phi I-II} = Q_{nI-II} + Q_{\phi II-III} + Q_{\phi II-VI} =$$

$$= 200 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} + 0,006 + 0,01 = 0,0175 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{pI-II} = 0,5 Q_{nI-II} + Q_{pII-III} + Q_{pII-VI} =$$

$$= 0,5 \cdot 200 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} + 0,003 + 0,01 = 0,0145 \text{ м}^3/\text{с}$$

Участок V-IV:

$$Q_{\phi V-IV} = Q_{пV-IV} + Q_{\text{сопр}} = 700 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{pV-IV} = 0,5 \cdot Q_{пV-IV} + Q_{\text{сопр}} = 0,5 \cdot 700 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-3} = 0,0046 \text{ м}^3/\text{с}$$

Участок I-V:

$$Q_{\phi I-V} = Q_{\phi V-IV} = 0,0071 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{pI-V} = Q_{\phi V-IV} = 0,0071 \text{ м}^3/\text{с}$$

Участок б-I:

$$Q_{\phi б-I} = Q_{\phi I-II} + Q_{\phi I-V} = 0,0175 + 0,0071 = 0,025 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{p б-I} = Q_{\phi I-II} + Q_{\phi I-V} = 0,0175 + 0,0071 = 0,025 \text{ м}^3/\text{с}$$

3 Определение материала и диаметра труб

Расход воды в системе водоснабжения связан с сечением трубы и скоростью движения следующей зависимостью:

$$Q = \frac{\vartheta}{s} \Rightarrow \vartheta = \frac{\pi^2 \cdot d}{4},$$

где ϑ - скорость движения воды в трубе, м/с;

d - внутренний диаметр трубы, м.

Отсюда

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot \vartheta_{\text{эк}}}}, \quad \vartheta_{\text{эк}} = 1,1 \text{ м/с}$$

Выбираем стандартную трубу приложение 2. При этом диаметр стандартной трубы должен соответствовать условию $d_{\phi} \geq d_p$,

где d_{ϕ} – фактический диаметр трубы.

Участок II-III:

$$d_{pII-III} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{pII-III}}{\pi \cdot \vartheta_{\text{эк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,059 \text{ м} = 59 \text{ мм}$$

$d_{\phi II-III} = 69 \text{ мм}$, стальная труба №2

Участок II-VI:

$$d_{pII-VI} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{pII-VI}}{\pi \cdot \vartheta_{\text{эк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,108 \text{ м} = 108 \text{ мм}$$

$d_{\phi II-VI} = 125 \text{ мм}$, стальная труба №5

Участок I-II:

$$d_{pI-II} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{pI-II}}{\pi \cdot \vartheta_{\text{эк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0145}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,130 \text{ м} = 130 \text{ мм}$$

$d_{\phi I-II} = 150 \text{ мм}$, стальная труба №6

Участок V-IV:

$$d_{pV-IV} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{pV-IV}}{\pi \cdot \vartheta_{\text{эк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0046}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,073 \text{ м} = 73 \text{ мм}$$

$d_{\phi V-IV} = 82 \text{ мм}$, стальная труба №3

Участок I-V:

$$d_{pI-V} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{pI-V}}{\pi \cdot \vartheta_{\text{эк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0071}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,091 \text{ м} = 91 \text{ мм}$$

$d_{\phi I-V} = 100 \text{ мм}$, стальная труба №4

Участок б-І:

$$d_{p\text{ б-І}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{p\text{ б-І}}}{\pi \cdot \vartheta_{\text{эк}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,025}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,170 \text{ м} = 170 \text{ мм}$$

$d_{ф\text{ б-І}} = 184 \text{ мм}$, стальная труба №7

4 Определение потерь на участках водоснабжения

Основной формулой инженерной гидравлики, связывающей все указанные характеристики, является формула Дарси-Вейсбаха:

$$h_x = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

где h_x – линейные потери напора, м;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления;

l и d – длина и диаметр трубы, м;

v – скорость движения воды, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с².

$$\Delta_t = \Delta + \sigma \cdot t,$$

где Δ – коэффициент эквивалентной шероховатости для новых труб в начале эксплуатации, мм;

Δ_t – коэффициент эквивалентной шероховатости через t лет эксплуатации;

σ – ежегодный прирост абсолютной шероховатости, мм в год, зависящий от физико-химических свойств подаваемой по ним воды.

$$\Delta = 0,014 \text{ мм}; \quad \sigma = 0,07; \quad t = 25 \text{ л.}$$

$$k_1 = 0,000289 \text{ м.}$$

$$\Delta_t = 0,014 + 0,07 \cdot 25 = 1,764 \text{ мм} = 0,001764 \text{ м}$$

$$h = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{L}{d_{\phi}^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot Q_p^2}{\pi^2 \cdot g}$$

$$h_{II-III} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{800}{0,069^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,003^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 8,5857 \text{ м}$$

$$h_{II-VI} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{700}{0,125^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,01^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 4,2775 \text{ м}$$

$$h_{I-II} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{200}{0,15^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,0145^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 1,0327 \text{ м}$$

$$h_{V-IV} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{700}{0,082^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,0046^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 7,4511 \text{ м}$$

$$h_{I-V} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{260}{0,15^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,0071^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 2,4444 \text{ м}$$

$$h_{6-I} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{50}{0,184^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,025^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 0,2762 \text{ м}$$

$$h_{VI-4} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{85}{0,082^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,005^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 1,068 \text{ м}$$

$$h_{IV-5} = 0,11 \cdot 0,001764^{0,25} \cdot \frac{65}{0,05^{5,25}} \cdot \frac{8 \cdot 0,002^2}{3,14^2 \cdot 9,81} = 1,552 \text{ м}$$

5 Определение высоты водонапорной башни

$$H_{\text{дит}} = Z_i + \sum h_i - \sigma + H_{ni}$$

$$H_{III} = Z_{III} + (h_{II-III} + h_{I-II} + h_{6-I}) + H_{\text{дом}} = 1 + (8,5857 + 1,0327 + 0,2762) + 8 = 18,895 \text{ м}$$

$$H_{\text{дейст4}} = Z_4 + (h_{VI-4} + h_{II-VI} + h_{I-II} + h_{6-I}) + H_{\text{мтф}} = 1,5 + (1,068 + 4,2775 + 1,0327 + 0,2762 + 10) = 18,154 \text{ м}$$

$$H_{VI} = Z_{VI} + (h_{II-VI} + h_{I-II} + h_{6-I}) + H_{\text{дом}} = 1 + (4,2775 + 1,0327 + 0,2762) + 8 = 14,5864 \text{ м}$$

$$H_{IV} = Z_{IV} + (h_{V-IV} + h_{I-V} + h_{6-I}) + H_{\text{дом}} = 1 + (7,4511 + 2,4444 + 0,2762) + 8 = 19,1717 \text{ м}$$

$$H_{\text{дейст5}} = Z_5 + (h_{IV-5} + h_{IV-V} + h_{6-I}) + H_{\text{гараж}} = 1,5 + (1,552 + 7,4511 + 2,4444 + 0,2762 + 10) = 23,224 \text{ м}$$

Т.к. $23,224 > 18,154$, то диктующей точкой является гараж, тогда высота водонапорной башни:

$$H_6 = H_{\text{дейст5}} - Z_3 = 23,224 - 3,5 = 19,73 \text{ м}$$

6 Вместимость бака водонапорной башни

$$V_6 = V_p + V_{\text{пз}} = 35,568 + 6 = 41,568 \text{ м}^3,$$

где V_p – регулирующий объем башни, м^3 ;

$V_{\text{пз}}$ – пожарный запас башни, м^3 .

Регулирующий объем башни при автоматической работе насосов принимают около 5,2 % (табл. 1) наибольшего суточного расхода воды:

$$V_p = 0,052 \cdot Q_{\text{max}}^{\text{сут}} = 0,052 \cdot 684 = 35,568 \text{ м}^3$$

Пожарный запас (объем воды на пожарные нужды) определяется по формуле:

$$V_{\text{пз}} = q_{\text{пож}} \cdot t = 0,01 \cdot 10 \cdot 60 = 6 \text{ м}^3$$

где, $q_{\text{пож}}$ – пожарный расход, выбирается в зависимости от числа жителей или объекта таблица 1.5. приложения 1;

t – время работы пожарного насоса (обычно в населенных пунктах принимается равное 10 минутам = 600 секунд).

Выбираем водонапорную башню типа I (кирпичная со стальным баком):
 $H_6=21$ м, $V_6=100$ м³.

7 Определение фактических напоров в каждом узле

Составим уравнение Бернулли для магистрального трубопровода.

$$Z_6 + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g} = Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g} + h_{об},$$

где Z_6, Z_1 – геометрические высоты соответственно водонапорной башни и узла, м;

P – давление создаваемое столбом воды в водонапорной башне, следовательно $\frac{P}{\rho \cdot g} = H_6$ – высота водонапорной башни, м;

P_1 – давление создаваемое в I узле, следовательно $\frac{P_1}{\rho \cdot g} = H_1$ – фактический напор в узле, м;

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}, \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g}$ – скоростные напоры в начале магистрального трубопровода и соответственно в конце, м. Так как диаметры магистральных трубопроводов постоянны по длине, то скорости будут равны, значит и скоростные напоры тоже равны.

$H_{мат}$ – общие потери в магистральном трубопроводе, м.

Уравнение Бернулли примет следующий вид:

$$Z_6 + H_6 = Z_1 + H_1 + h_{об}$$

$$H_1 = Z_6 - Z_1 + H_6 - h_{6-1} = 3,5 - 1 + 19,73 - 0,2762 = 21,954 \text{ м}$$

$$H_{II} = Z_1 - Z_{II} + H_1 - h_{1-II} = 1 - 2 + 21,954 - 1,0327 = 19,921 \text{ м}$$

$$H_{III} = Z_{II} - Z_{III} + H_{II} - h_{II-III} = 2 - 1 + 19,921 - 8,5857 = 12,336 \text{ м}$$

$$H_{VI} = Z_{II} - Z_{VI} + H_{II} - h_{II-VI} = 2 - 1 + 19,921 - 4,2775 = 16,644 \text{ м}$$

$$H_V = Z_I - Z_V + H_I - h_{I-V} = 1 - 1 + 21,954 - 2,4444 = 19,51 \text{ м}$$

$$H_{IV} = Z_V - Z_{IV} + H_V - h_{IV-V} = 1 - 1 + 19,51 - 7,4511 = 12,059 \text{ м}$$

8 Расчёт ответвлений

*Диаметр трубопровода:

$$d = \sqrt[5,25]{\frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta_t^{0,25} \cdot L \cdot Q^2}{h_{\text{зап}}}},$$

где d – расчетный диаметр трубопровода данного ответвления, м.

Δ_t – коэффициент эквивалентной шероховатости через t лет эксплуатации, м;

L – длина данного ответвления, м;

Q – расход на данном ответвление, м³/с;

*
 $h_{\text{зап}}$ – запас потерь напора на данном участке, м

Узел VI – 4:

$$H_{VI} - H_4 = 16,644 - 10 = 6,644 \text{ м}$$

$$d_{pVI-4} = \sqrt[5,25]{\frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001764^{0,25} \cdot 85 \cdot 0,005^2}{6,644}} = 0,0655 \text{ м} = 65,5 \text{ мм}$$

$$d_{\phi VI-4} = 69 \text{ мм, стальная труба № 2}$$

Узел IV – 5:

$$H_{IV} - H_5 = 12,059 - 10 = 2,059 \text{ м}$$

$$d_{pIV-5} = \sqrt[5,25]{\frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,001764^{0,25} \cdot 65 \cdot 0,002^2}{2,059}} = 0,053 \text{ м} = 53 \text{ мм}$$

$$d_{\phi IV-5} = 69 \text{ мм, стальная труба №2}$$

Определение действующего напора у потребителя:

$$H_{\text{потр4}} = Z_{VI} - Z_4 + H_{VI} - h_{VI-4} = 1 - 1,5 + 12,336 - 1,068 = 10,768 \text{ м}$$

$$H_{\text{потр5}} = Z_{IV} - Z_5 + H_{IV} - h_{IV-5} = 1 - 1,5 + 12,059 - 1,552 = 10,007 \text{ м}$$

9 Определение материала и диаметров труб для всасывающей и нагнетательной линии насосной станции

Диаметр всасывающего трубопровода:

$$d_{\text{всас}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

Подача воды в водонапорную башню при автоматической работе насоса составляет 5,5% от наибольшего суточного расхода воды:

$$Q = \frac{0,055 \cdot Q_{\text{max}}^{\text{сут}}}{3600} = \frac{0,055 \cdot 684}{3600} = 104,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_{\text{р всас}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 104,5 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 1,1}} = 0,012 \text{ м}$$

$d_{\text{ф всас}} = 50 \text{ мм}$, выбираем стальной трубопровод №1

Диаметр нагнетательного трубопровода принимаем равным диаметру всасывающего:

$$d_{\text{нагн}} = d_{\text{всас}} = 50 \text{ мм}$$

10 Выбор насоса и определение рабочих параметров установки

Уравнение гидравлической сети:

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + A Q^2$$

Коэффициент сопротивления трубопровода:

$$A = \frac{8}{\pi^2 g} \left(\lambda_{\text{вс}} \frac{l_{\text{вс}}}{d_{\text{вс}}^5} + \frac{\sum \xi_{\text{вс}}}{d_{\text{вс}}^4} + \lambda_{\text{наг}} \frac{l_{\text{наг}}}{d_{\text{наг}}^5} + \frac{\sum \xi_{\text{наг}}}{d_{\text{наг}}^4} \right),$$

$$v_{oc} = \frac{4 \cdot 104,5 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0,05^2} = 5,3 \text{ м/с},$$

$$Re_{oc} = \frac{5,3 \cdot 0,05}{0,01 \cdot 10^{-4}} = 265000,$$

$$\frac{10d_{oc}}{\Delta} = \frac{10 \cdot 50}{0,05} = 10000,$$

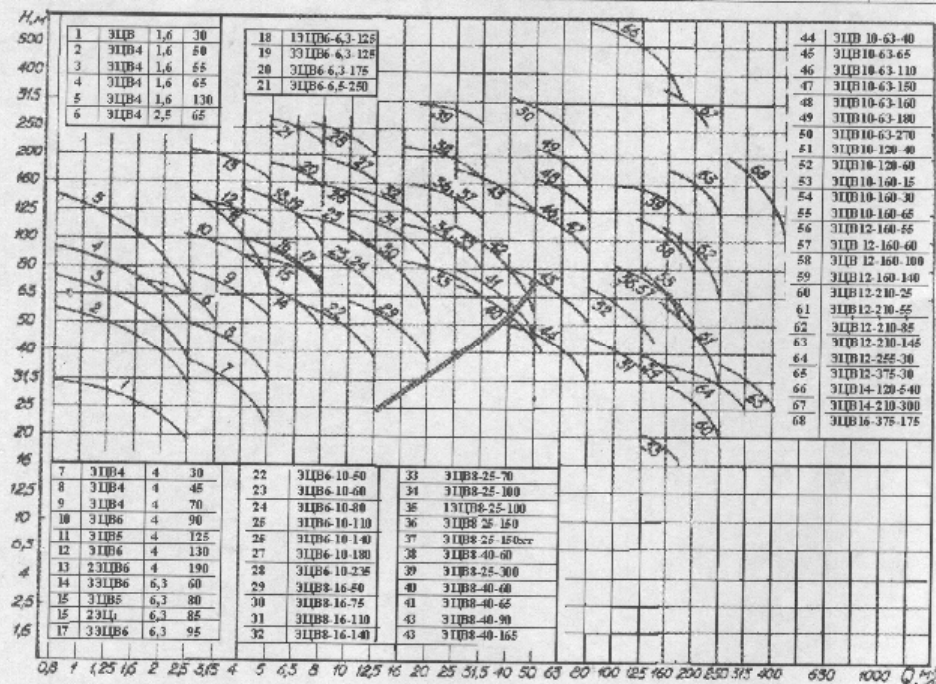
$$\frac{500d_{oc}}{\Delta} = \frac{500 \cdot 50}{0,05} = 500000,$$

$$\lambda_{oc} = \lambda_{naz} = 0,11 \left(\frac{0,05}{50} + \frac{68}{265000} \right)^{0,25} = 0,021,$$

$$A = \frac{8}{\pi^2 \cdot 9,81} \left(0,021 \frac{3,5}{0,05^5} + 0,021 \frac{40}{0,05^5} + \frac{3}{0,05^4} \right) = 281482,1$$

$$H_{nomp} = 23,23 + 281482,1 Q^2$$

Q, 10 ⁻³ м ³ /с	0	2,6125	5,225	7,8375	10,45
H, м	23,23	25,15	30,9	40,5	53,97



Выбираем центробежный насос ЭЦВ8-40-60, n=3000 об/мин.

Уравнения подобия для центробежного насоса:

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{H}{H'} = \left(\frac{Q}{Q'}\right)^2$$

$$H = \frac{H'}{Q'^2} Q^2;$$

$H = 5774,1 Q^2$, зная зависимость построим кривую подобия режимов. Точка D является точкой подобия напорной характеристики насоса при n.

Частота вращения вала составит:

$$n' = \frac{nQ'}{Q} = \frac{3000 \cdot 5,4}{8} = 2025 \text{ об/мин}$$

12 Определение давления на входе в насос из условия отсутствия кавитации

При расчёте водопроводных сетей на прочность необходимо исключать возможность кавитации, для чего в любом сечении всасывающего трубопровода давление жидкости должно быть больше давления насыщенного пара: $p_2 > p_{н.п.}$.

Из уравнения Бернулли:

$$\frac{p_2}{\rho g} = \frac{p_{атм}}{\rho g} - H_{уст} - \frac{Q^2}{S_{пр} \cdot 2g} \left(\alpha_2 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_m \right)$$

$$p_2 = p_{атм} - \left(H_{уст} - \frac{Q^2}{S_{пр} \cdot 2g} \left(\alpha_2 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi_m \right) \right) \rho g =$$

$$= 101325 - \left(3 - \frac{4(10,8 \cdot 10^{-3})^2}{\pi \cdot 0,05^2 \cdot 2 \cdot 9,81} \left(1,5 + 0,021 \frac{3}{0,05} + 678 \right) \right) \cdot 998 \cdot 9,81 = 92151,4 \text{ Па}$$

При температуре 20°C давление насыщенного пара $p_{н.п.} = 2332 \text{ Па}$.

Т.к. $92151,4 > 2332$, значит $p_{н.п.} > p_2$. Следовательно, условие отсутствия кавитации выполняется.

Список литературы

1. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М.. Расчет водопроводных сетей. - М.: Стройиздат, 1983 г.
2. Альтшуль А.Д., Калицун В.И.. Гидравлические сопротивления трубопроводов. - М.: Издательство литературы по строительству, 1964 г.
3. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения. Справочник. - Л.: Стройиздат 1986 г.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции. Учебник – М.: Стройиздат, 1990 г.
5. Росляков Е.М., Коченков Н.В., Золотухин И.В. и др. Насосы, вентиляторы, кондиционеры. Справочник. – СПб.: Политехника, 2006 г.
6. Сомов М.А. Квитка Л.А. Водоснабжение. Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2006 г.
7. Усаковский В.М. Водоснабжение в сельском хозяйстве. - М.: Агропромиздат, 1989 г.
8. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. Межгосударственный стандарт ГОСТ 7.32-2001. Минск, 2001.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ

3.1 Силы действующие в жидкости

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие вопросы.

1. Массовые и поверхностные силы.
2. Гидростатическое давление и его свойства.

3.2 Общие законы и уравнения гидростатики

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие вопросы.

1. Дифференциальные уравнения Эйлера и их интегралы.
2. Давление жидкости на окружающие ее стенки, эпюры давления.

3.3 Основы кинематики и динамики жидкостей

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие вопросы.

1. Методы описания движения жидкостей и газов, понятие о линиях и трубках тока.
2. Характеристики потока.
3. Общая интегральная форма уравнений количества движения и момента количества движения.
4. Режимы течения жидкости. Физический смысл числа Рейнольдса.

3.4 Одномерные потоки

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие вопросы.

1. Местные гидравлические сопротивления, основная формула. Зависимость коэффициента местного сопротивления от числа Рейнольдса и геометрических параметров русла. Виды местных сопротивлений.
2. Истечение жидкости и газа через отверстия и насадки.
3. Гидравлический удар в трубах, формула Жуковского.
4. Гидравлические расчет трубопроводов.

3.5 Объемные машины

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие вопросы.

1. Классификация объемных машин.
1. Конструкция и принцип действия объемных насосов.
2. Основные параметры: подача (расход), напор, мощность, КПД.
3. Баланс мощности.

3.6 Гидропередачи и гидро-пневмоприводы

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие вопросы.

1. Принцип действия гидропередач.
2. Основные сведения о объемном гидроприводе.
3. Принцип действия и характеристики
4. Основные элементы гидроприводов.
5. Вспомогательные элементы гидроприводов.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ

4.1 Лабораторная работа №1 «Изучение физических свойств жидкости»

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Что такое плотность. Единица измерения плотности. Факторы, влияющие на изменение плотности жидкости.
2. Что называется вязкостью. Какими параметрами характеризуется вязкость жидкости. И факторы, влияющие на её изменение.
3. Для чего служит прибор Ареометр. Для чего предназначен прибор Вискозиметр.
4. Что такое поверхностное натяжение. Расскажите принцип работы Сталагмометром.
5. Что показывает коэффициент объемного сжатия.
6. Что показывает коэффициент температурного расширения.
7. Как влияют на гидравлический расчет физические свойства жидкости.

4.2 Лабораторная работа №2 «Определение режимов движения жидкости»

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Режимы движения жидкости.
2. Физический смысл критерия Рейнольдса.
3. Кинематический и динамический коэффициенты вязкости. Их физический смысл и взаимосвязь.
4. Понятие средней скорости истечения жидкости.
5. Что происходит при ламинарном и турбулентном режиме течения жидкости.
6. Чему равно критическое значение Рейнольдса.

4.3 Лабораторная работа №3 «Иллюстрация уравнения Бернулли»

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Что такое гидростатический напор. И как он определяется.
2. Геометрическая и энергетическая интерпретация основного уравнения Д.Бернулли.
3. Уравнение Д.Бернулли для идеальной и реальной жидкости.
4. Что такое скоростной напор. И как он определяется.
5. Цель лабораторного исследования.
6. Что такое мощность потока. И как он определяется.
7. Почему давление на участках трубопровода имеющих различное сечение неодинаково. Чем это объясняется.
8. Покажите на графике потери энергии между сечениями.
9. Физический смысл уравнения Д.Бернулли.

4.4 Лабораторная работа №4 «Определение коэффициента гидравлического трения»

При подготовке к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Виды потерь напора.
2. Потери в технических гладких и шероховатых трубах.
3. Влияет ли изменение диаметра трубы на потери напора при постоянном расходе жидкости.
4. Как определяются потери напора по длине.
5. Коэффициент гидравлического трения, от чего зависит его значение.

6. Что означает квадратичная область сопротивления.
7. Гидравлическое сопротивление это. На какие виды делятся гидравлические сопротивления.
8. Факторы влияющие на гидравлическое сопротивление.
9. Какие трубы имеют наименьшую абсолютную шероховатость.

4.5 Лабораторная работа №5 «Особенности конструкции и эксплуатации, динамических насосов»

При подготовки к занятию необходимо обратить внимание на следующие моменты.

1. Цель лабораторного исследования.
2. Типы современных динамических насосов.
3. Принцип действия центробежных насосов.
4. Рабочая характеристика центробежного насоса.
5. Принцип действия осевых насосов. Преимущества и недостатки осевых насосов.
6. Вихревые насосы. Их характеристики. Преимущества и недостатки вихревых насосов.
7. Для чего устанавливается выправляющий аппарат на осевой насос.