

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

А. Ю. Плавич, И. С. Александров

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ» в
качестве учебно-методического пособия по курсовой работе для студентов
бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 628.12 (076)

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры строительства ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»

А.А. Герасимов

Плавич, А.Ю., Александров, И.С.

Насосные и воздухоподводящие станции: учеб.-методич. пособие по курсовой работе для студ. бакалавриата по направлению подгот. 08.03.01 Строительство / А. Ю. Плавич, И. С. Александров. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 53 с.

В учебно-методическом пособии по дисциплине «Насосные и воздухоподводящие станции» представлен типовой пример проектирования водопроводной насосной станции второго подъёма населённого пункта. Учебно-методическое пособие содержит исходные данные по вариантам, необходимые справочные данные для выполнения заданий.

Рис. – 10, табл. – 14, список лит. – 7 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и одобрено методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 15 июня 2022 г., протокол № 5

УДК 628.12 (076)

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.

© Плавич А. Ю., Александров И. С., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	5
2. УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТЕМЫ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	6
3 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ, ОБЪЕМУ, СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	7
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОЙ ЧАСОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ	10
4.1. Определение производительности насосной станции в сутки максимального, среднего и минимального водопотребления	10
4.2. Расчёт коэффициентов часовой неравномерности водопотребления.....	11
4.3. Определение максимального часового водопотребления.....	12
4.4. Распределение максимального суточного расхода воды по часам суток и построение ступенчатого графика водопотребления	12
4.5. Определение действительной расчетной часовой подачи воды насосной станцией	14
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОНАПОРНОЙ БАШНИ.....	14
6. РАСЧЁТ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	18
6.1. Ориентировочное определение требуемого напора насосов.....	18
6.2. Выбор типа и количества насосов и подбор их по каталогу	18
6.3. Определение количества резервных насосных агрегатов.....	19
6.4. Параллельная работа насосов	19
6.5. Расположение насосных агрегатов.....	20
6.6. Подбор двигателей для привода насосов.....	22
6.7. Расчёт рабочих параметров насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса	23
6.8. Расчёт характеристики насоса путём уменьшения диаметра рабочего колеса (обточка рабочего колеса).....	26
7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ВСАСЫВАЮЩИХ И НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ВНУТРИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ.....	28
7.1. Проектирование внешних всасывающих водоводов.....	28
7.2. Проектирование внешних напорных водоводов.....	30
7.3. Проектирование трубопроводов внутри насосной станции	33
8. ПОСТРОЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ- ВОДОНАПОРНАЯ БАШНЯ-ДИКТУЮЩАЯ ТОЧКА И УТОЧНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕБУЕМОГО НАПОРА. АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭТОЙ СИСТЕМЫ	33
8.1. Построение вертикальной схемы системы насосная станция – башня - диктующая точка	33
8.2. Расчёт необходимого свободного пьезометрического напора у диктующей точки	35
8.3. Определение отметки положения низа регулирующего объёма в резервуаре водонапорной башни	35
8.4. Уточнение величины расчётного напора насосной станции	35
8.5. Характеристика системы напорных водоводов	37

8.6. Эксплуатационная характеристика совместной работы насосов и водоводов.....	38
9. АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАСОСОВ И ВОДОВОДОВ.....	39
9.1. Установление режима работы насосной станции при изменении уровня воды в источнике и резервуаре башни	39
9.2. Работа насосной станции и водонапорной башни при пожаротушении	42
10. ОПИСАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ, КРИТЕРИИ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	48
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	48
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	49

1. ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Насосные и воздухоудувные станции» является изучение основных понятий, законов, методов, приёмов и средств проектирования и эксплуатации водопроводных систем с нагнетателями.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение основных понятий, методов, приёмов и средств расчёта и подбора оборудования насосных и воздухоудувных станций;
- формирование соответствующих знаний, умений и навыков в области строительства, а также компетенций с учётом ФГОС ВО;
- принцип действия нагнетателей, схем и технологических процессов;
- методика применения ЭВМ для расчётов систем с нагнетателями;
- проектирование: выполнение расчётно-пояснительной документации и графического материала.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: нормативную базу использования ресурсов в сфере строительства; основные цели строительного предприятия и задачи, которые необходимо решить для их достижения; основные термины и законы в области насосов и воздухоудувных станций.

Уметь: разрабатывать, обосновывать и внедрять конкретный план обеспечения ресурсами сферу насосов и воздухоудувных станций на основе действующего законодательства, имеющихся ресурсов и ограничений.

Владеть: навыками определения потребности в материальных и человеческих ресурсах, необходимых для выполнения поставленных задач; навыками выбора оптимальных способов решения задач, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с действующими сводами правил.

С целью обеспечения удобства использования студентами в состав пособия включены практически все необходимые для расчётов данные из нормативной и справочной литературы.

Номер варианта задания выбирается как сумма двух последних цифр номера зачётной книжки.

2. УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТЕМЫ И ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Тема курсовой работы – «Насосные и воздухоудвнные станции».

Требуется рассчитать технологическую часть насосной станции второго подъёма. Исходными данными к работе являются (фактические значения величин – для примера, рассмотренного в пособии):

1. Географический район строительства: г. Ишим.
2. Число жителей: 139 тыс. чел.
3. Степень благоустройства: застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией с централизованным горячим водоснабжением (СП 31.13330.2021, табл. 1).
4. Этажность застройки: $n=3$.
5. Расстояние от насосной станции до водонапорной башни: $l_n=2$ км.
6. Длина всасывающей линии: $l_b=30$ м.
7. Отметка земли:
 - насосной станции: $Z_n=410$ м;
 - водонапорной башни: $Z_b=417$ м;
 - диктующей точки: $Z_{d.m}=412$ м.
8. Отметка уровня воды в резервуаре чистой воды:
 - минимального: $Z_{p.min}=396$ м;
 - максимального: $Z_{p.max}=404$ м.
9. Потери напора в сети:
 - в час максимального водопотребления: $\Sigma h_{сети}=10$ м;
 - то же при пожаре: $h_c^n=15$ м.

Порядок разработки курсовой работы:

- проанализировать исходные данные;
- выполнить расчёты в соответствии с разделами и в объёме методического пособия.
- оформить расчёты в виде пояснительной записки;
- пьезометрические графики, а также графики работы насосов выносятся на отдельный лист формата А1.

3 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ, ОБЪЕМУ, СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка в общем виде должна иметь следующую структуру:

- титульный лист (приложение 3);
- задание;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список используемых источников;

Графическая часть должна содержать следующую информацию:

- график водопотребления и работы насосов;
- схему водонапорной башни с размерами и отметками;
- характеристику подобранного насоса;
- схему высотной планировки системы насосная станция – башня - диктующая точка;
- схему рабочего режима насосной установки с принятыми водоводами;
- характеристику системы насосы-водоводы при изменении уровня воды в резервуаре;
- характеристику работы насосной станции при тушении пожара.

Основная часть пояснительной записки состоит из шести разделов, которые детально представлены в тексте.

Требования к тексту пояснительной записки:

- формат бумаги А-4;
- ориентация книжная;
- размер шрифта -14;
- гарнитура шрифта Times New Roman;
- межстрочный интервал одинарный;
- абзац сопровождается отступом 1,25;
- выравнивание шрифта по ширине;
- нумерация страниц с третьей страницы;
- автоматический перенос слов;
- поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2,0 см;
- все формулы набираются в редакторе формул и нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках;
- таблицу помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Все таблицы нумеруются и имеют название.
- все иллюстрации (рисунки, схемы, чертежи) именуется рисунками, нумеруются по порядку, имеют название.

Чертежи в графической части оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.101-2020 Системы проектной документации для строительства (СПДС).

Варианты задания

Номер варианта (сумма двух последних цифр номера зачётной книжки)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Город	Киев	Уфа	Минск	Москва	Челябинск	Калининград	С.-Петербург	Астрахань	Ниж. Новгород	Смоленск	
Население района, тыс. чел.	80	85	90	95	105	110	115	120	125	130	
Степень благоустройства	Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией, с централизованным горячим водоснабжением (СП 31.13330.2021, табл. 1)										
Этажность, n	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	
Расстояние от насосной станции до водонапорной башни: l_n , км	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	
Длина всасывающей линии: l_b , м	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
Отметка земли, м	насосной станции	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
	водонапорной башни: Z_b	360	380	400	405	400	415	425	440	445	460
	диктующей точки: $Z_{d,m}$	355	365	377	389	395	410	415	430	440	445
Отметка уровня воды в резервуаре чистой воды, м	минимального: $Z_{p,min}$	340	345	350	365	388	395	395	410	415	435
	максимального: $Z_{p,max}$	345	355	355	370	396	400	405	417	422	444
Потери напора в сети, м	в час максимального водопотребления: $\Sigma h_{сети}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	то же при пожаре: h_c^n	14	15	16	17	18	19	20	22	23	25

Варианты задания (продолжение)

Номер варианта (сумма двух последних цифр номера зачётной книжки)		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Город		Донецк	Сызрань	Оренбург	Воронеж	Курск	Псков	Рига	Пенза	Харьков
Население района, тыс. чел.		125	120	115	110	108	95	90	85	80
Степень благоустройства		Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией, с централизованным горячим водоснабжением (СП 31.13330.2021, табл. 1)								
Этажность, n		3	4	5	3	4	5	3	4	5
Расстояние от насосной станции до водонапорной башни: l_n , км		3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6
Длина всасывающей линии: l_v , м		30	29	28	27	26	25	24	23	22
Отметки земли, м	насосной станции	355	365	375	385	395	405	415	425	435
	водонапорной башни: Z_b	367	387	407	412	407	417	427	447	447
	диктующей точки: $Z_{d.m}$	360	372	384	389	402	417	422	437	447
Отметка уровня воды в резервуаре чистой воды, м	минимального: $Z_{p.min}$	345	350	355	370	393	400	402	415	420
	максимального: $Z_{p.max}$	350	355	362	378	401	410	410	422	428
Потери напора в сети, м	в час максимального водопотребления: $\Sigma h_{сети}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	то же при пожаре: $h^п_c$	14	15	16	17	18	19	20	22	23

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОЙ ЧАСОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

В настоящих методических указаниях рассмотрен расчёт системы водоснабжения, в которой водопроводная сеть питается от насосной станции и водонапорной башни, расположенной в начале сети. В такой системе водоснабжения объекта насосная станция второго подъёма подает воду в башню, из которой вода поступает в разводящую сеть. В часы, когда подача воды насосами превышает водопотребление населенным пунктом, вода накапливается в резервуаре башни. Если же отбор воды из сети превышает подачу насосами, то недостающее количество воды поступает из башни. При такой схеме питания водопроводной сети насосная станция второго подъёма обычно рассчитывается на два случая: подачу воды для удовлетворения максимального хозяйственно-производственного расхода и подачу воды на тушение расчётного количества пожаров при максимальном хозяйственно-производственном водопотреблении.

4.1. Определение производительности насосной станции в сутки максимального, среднего и минимального водопотребления

Расчёт производительности насосной станции II подъёма обычно сводится к определению расчётного (среднего за год) суточного расхода воды, требуемого населенным пунктом. Этот расход определяют по формуле

$$Q_{сут.т} = \frac{N_{жс} q_{жс}}{1000} \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (1)$$

где $N_{жс}$ - расчётное число жителей (по заданию 139000 чел.);

$q_{жс}$ - среднесуточная норма водопотребления на одного жителя, л/сут (принимаем по табл. 1 СП 31.13330.2021, здесь принимаем 180 л/сут).

$$Q_{сут.т} = \frac{139000 \cdot 180}{1000} \approx 25000 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Расчётные расходы воды населением в сутки максимального и минимального водопотребления находим из выражений:

$$Q_{сут.макс} = K_{сут.макс} \cdot Q_{сут.т}; \quad (2)$$

$$Q_{сут.мин} = K_{сут.мин} \cdot Q_{сут.т}, \quad (3)$$

где $K_{сут.мин}$, $K_{сут.макс}$ – коэффициенты суточной неравномерности водопотребления, их надлежит принимать равными:

$$K_{сут.макс} = 1,1-1,3; K_{сут.мин} = 0,7-0,9 [1].$$

В нашей работе принимаем $K_{сут.макс} = 1,2$; $K_{сут.мин} = 0,8$. Тогда

$$Q_{сут.макс} = 1,2 \cdot 25000 = 30000 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q_{сут.мин} = 0,8 \cdot 25000 = 20000 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Однако значения суточных расходов, найденные по формулам (1) - (3), дают только общее представление о предполагаемой суточной производительности насосной станции.

4.2. Расчёт коэффициентов часовой неравномерности водопотребления

Следует заметить, что водопотребление населенным пунктом в течение суток осуществляется крайне неравномерно. Так, минимальное водопотребление, как правило, наблюдается в ночное время, а максимальное — днём. Такое колебание величины водопотребления в значительной мере усложняет гидравлический расчет не только насосной станции II подъёма, но и в целом системы водоснабжения. Поэтому при расчёте системы насосы-сеть исходят из допущения, что водопотребление в течение одного часа остается неизменным. Тогда неравномерность водопотребления в течение суток определяют с учётом коэффициентов часовой неравномерности водопотребления - $K_{ч.маx}$ и $K_{ч.мин}$.

$$K_{ч.маx} = \alpha_{маx} \beta_{маx}; \quad (4)$$

$$K_{ч.мин} = \alpha_{мин} \beta_{мин}, \quad (5)$$

где α - коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий или режима работы промпредприятий (принимаем $\alpha_{маx} = 1,2-1,4$; $\alpha_{мин} = 0,4-0,6$ [1]; здесь принимаем соответственно 1,3 и 0,5);

β - коэффициент, учитывающий количество жителей в населенном пункте, принимают по табл. 1.

В нашем примере коэффициенты часовой неравномерности определяются как:

$$K_{ч.маx} = 1,3 \cdot 1,09 = 1,42;$$

$$K_{ч.мин} = 0,5 \cdot 0,729 = 0,37.$$

Таблица 1

Значение β в зависимости от количества жителей в населенном пункте, тыс. чел.

Кол-во жителей	До 0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,75	1	1,5	2,5
$\beta_{маx}$	4,5	4	3,5	3	2,5	2,2	2	1,8	1,6
$\beta_{мин}$	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,1	0,1
Кол-во жителей	4	6	10	20	50	100	300	1000 и более	
$\beta_{маx}$	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1	
$\beta_{мин}$	0,2	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,85	1	

4.3. Определение максимального часового водопотребления

По вычисленным значениям $K_{ч.маx}$ и $K_{ч.мин}$ определяем максимальный и минимальный часовые расходы воды городом в сутки максимального и минимального водопотребления соответственно.

$$q_{ч.маx} = K_{ч.маx} Q_{сут.маx} / 24 \quad \text{м}^3/\text{ч}; \quad (6)$$

$$q_{ч.мин} = K_{ч.мин} Q_{сут.мин} / 24 \quad \text{м}^3/\text{ч}. \quad (7)$$

$$q_{ч.маx} = 1,43 \cdot 30000 / 24 = 1787,5 \quad \text{м}^3/\text{ч};$$

$$q_{ч.мин} = 0,35 \cdot 20000 / 24 = 291,67 \quad \text{м}^3/\text{ч}.$$

4.4. Распределение максимального суточного расхода воды по часам суток и построение ступенчатого графика водопотребления

Распределение максимального суточного расхода $Q_{сут.маx}$ (2) по часам суток зависит от коэффициента $K_{ч.маx}$. Производим его по аналогии с распределением $Q_{сут.маx}$ с действующими объектами.

При выполнении учебных проектов допускается использование типовых графиков водопотребления, где распределение $Q_{сут.маx}$ по часам суток осуществляют в зависимости от величины коэффициента $K_{ч.маx}$ и принимают либо равным $K_{ч.маx}$ табличному, либо несколько большим (см. приложение 1). Результаты распределения расхода $Q_{сут.маx}$ по часам суток приводим в табл. 2.

Таблица 2

Результаты распределения расхода $Q_{сут.маx}$ по часам суток

Часы суток	Расходы по населённым пунктам при коэффициенте часовой неравномерности водопотребления	
	$K_{ч.маx} \approx 1,45$	$q_{ч}, \text{м}^3/\text{ч}$
0-1	2	600
1-2	2,1	630
2-3	1,85	555
3-4	1,9	570
4-5	2,85	855
5-6	3,7	1110
6-7	4,5	1350
7-8	5,3	1590
8-9	5,8	1740
9-10	6,05	1815
10-11	5,8	1740

11-12	5,7	1710
12-13	4,8	1440
13-14	4,7	1410
14-15	5,05	1515
15-16	5,3	1590
16-17	5,45	1635
17-18	5,05	1515
18-19	4,85	1455
19-20	4,5	1350
20-21	4,2	1260
21-22	3,6	1080
22-23	2,85	855
23-24	2,1	630
Итого	100%	30000

По данным таблицы 2 в координатах Q - T строим ступенчатый график водопотребления по часам суток (рис. 1) и анализируем его.

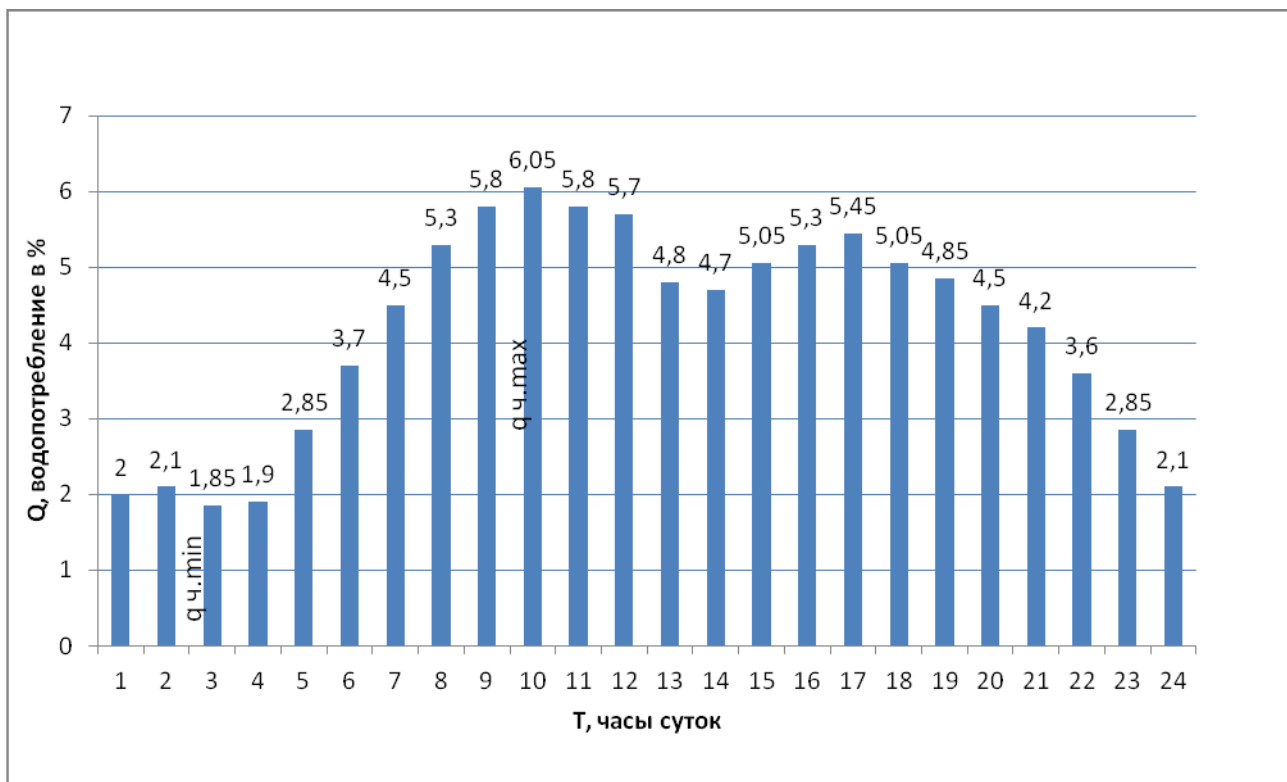


Рисунок 1. График водопотребления и работы насосов

Надо заметить, что значения $q_{ч.max}$ и $q_{ч.min}$, вычисленные по (6), (7), могут оказаться либо равными $q_{ч.max}$ и $q_{ч.min}$, приведенным в табл. 2 и на графике (рис. 1), либо быть несколько отличными. В дальнейших гидравлических расчетах

следует принимать наибольшее значение $q_{ч. max}$. Однако необходимо заметить, что полученный график (рис. 1) не в полной мере отражает режим водопотребления населенным пунктом, так как не учитывает водопотребление промышленными предприятиями, поливочные расходы и т. д. Более полные расчеты рассматриваются в разделе водопроводные сети.

4.5. Определение действительной расчетной часовой подачи воды насосной станцией

При определении расчётной максимальной часовой подачи воды насосной станцией следует обязательно учитывать, что в час наибольшего водопотребления (табл. 2) водопроводная сеть питается как от насосной станции, так и от водонапорной башни. В связи с этим расчетную часовую подачу воды насосной станцией принимают на 5-10% меньше, чем величина максимального часового водопотребления (рис. 1). Тогда действительную расчетную максимальную подачу воды насосной станцией на хозяйственно-производственные нужды определяем по выражению:

$$Q_p = q_{ч. max} (0,9 \dots 0,95). \quad (8)$$

$$Q_p = 1815 \cdot 0,9 = 1633,5 \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОНАПОРНОЙ БАШНИ

При проектировании водонапорной башни решается задача по определению полной ёмкости резервуара и подбору типовой башни.

В резервуаре водонапорной башни, помимо регулирующего объема W_p , должен храниться запас воды на противопожарные нужды W_n в количестве, необходимом для тушения наружного и одного внутреннего пожара в течение 10 мин. Тогда величина полного объема резервуара башни W_6 составит:

$$W_6 = W_p + W_n \quad \text{м}^3; \quad (9)$$

$$W_6 = 462 + 75 = 537 \quad \text{м}^3,$$

где W_n - запас воды на тушение одного внутреннего и одного наружного пожара в течение 10 мин, м^3 ;

W_p - регулируемый объем, м^3 .

Согласно СП 8.13130.2020 число одновременных пожаров и расход воды на тушение наружного пожара $q_{н. пож}$ определяют по табл. 3 в зависимости от числа жителей и характера застройки, приведенных в задании.

Таблица 3

Число жителей в населенном пункте, тыс.чел.	Расчетное количество одновременных пожаров	Расход воды на наружное пожаротушение в населенном пункте на один пожар, л/с
---------------------------------------------	--------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

		Застройка зданиями высотой не более 2 этажей	Застройка зданиями высотой 3 этажа и выше
<1	1	5	10
1-5	1	10	10
5-10	1	10	15
10-25	2	10	15
25-50	2	20	25
50-100	2	25	35
100-200	3	40	40
200-300	3		55
300-400	3		70
400-500	3		80
500-600	3		85
600-700	3		90
700-800	3		95
800-1000	3		100
>1000	5		110

Расход воды на один внутренний пожар $q_{в.пож}$ принимаем ориентировочно из расчета двух пожарных струй производительностью по 2,5 л/с каждая. Тогда расход воды на тушение наружных и одного внутреннего пожара определим из выражения:

$$Q_{пож} = q_{н.пож} + q_{в.пож} \text{ л/с}; \quad (10)$$

$$Q_{пож} = 3 \cdot 40 + 2 \cdot 2,5 = 125 \text{ л/с}.$$

С учетом общего расхода воды на тушение пожара $Q_{пож}$ 10-минутный запас воды W_n можно определить следующим образом:

$$W_n = \frac{Q_{пож} \cdot 60 \cdot 10}{1000} \text{ м}^3; \quad (11)$$

$$W_n = \frac{125 \cdot 60 \cdot 10}{1000} = 75 \text{ м}^3.$$

Регулирующий объем воды W_p , м^3 определяем в зависимости от объемов воды, подаваемой насосной станцией и поступающей в ёмкость, определенных расчетами совместной работы всех элементов системы водоснабжения, в сутки максимального водопотребления по формуле:

$$W_p = Q_{сут.мах} \cdot \left[(1 - K_n) + (K_n - 1) \left(\frac{K_n}{K_q} \right)^{\frac{K_q}{K_q - 1}} \right] \text{ м}^3, \quad (12)$$

где $Q_{сут.мах}$ - максимальный суточный расход воды в сутки максимального водопотребления, м^3 (в нашем случае 30000);

K_n - отношение максимальной часовой производительности насосной станции (8) к среднему часовому расходу воды в сутки максимального водопотребления ($K_n=1633,5/(30000/24)=1,31$);

K_q - коэффициент часовой неравномерности, определяемый как отношение максимального часового водопотребления к среднему в сутки максимального водопотребления ($K_q=1815/(30000/24)=1,45$).

$$W_p = 30000 \cdot \left[(1-1,31) + (1,45-1) \left(\frac{1,31}{1,45} \right)^{\frac{1,45}{1,45-1}} \right] = 462 \text{ м}^3.$$

По полученному суммарному значению объёма резервуара (9) устанавливаем диаметр и высоту резервуара башни исходя из соотношения $h_p/D_p=0,7$, тогда $W_6 = 0,55D_p^3$; или $D_p = \sqrt[3]{W_6/0,55}$ (в нашем случае $\sqrt[3]{537/0,55} = 9,92$ м, $h_p=0,7D_p=0,7 \cdot 9,92=6,95$ м).

Тогда строительная высота бака будет

$$H_{бака} = 0,25 + h_p + 0,2 \text{ м};$$

$$H_{бака} = 0,25 + 6,95 + 0,2 = 7,4 \text{ м},$$

где 0,25- величина, предусматривающая осадок в баке, м;

0,2 - величина превышения бортов бака над уровнем воды, м.

После ориентировочного определения параметров резервуара водонапорной башни принимают типовую башню по табл. 4, рис. 2.

Таблица 4

Размеры типовых водонапорных башен

Объём бака, м ³	Размеры резервуара башни	
	Диаметр D_p , м	Высота h_p , м
50	4,8	3,3
100	5,5	4,7
150	6	5,7
200	7	5,7
300	8	6,4
400	9	6,6
500	10	7
600	11	7,2
800	12,5	7,2

Если ёмкость резервуара башни W_6 (9) окажется более 800 м³, то необходимо принять насосы большей производительности.

С учётом изложенного высота ствола водонапорной башни и отметка её дна составит:

$$H_6 = Z_{д.м} - Z_6 + h_{св} + \sum h_{сети} = 412 - 417 + 18 + 10 = 23 \text{ м}, \quad (13)$$

$$H_6 = Z_{дна} - Z_6.$$

$$Z_{\text{дна}} = H_6 + Z_6 = 23 + 417 = 440 \text{ м,}$$

где Z_6 – отметка башни (из задания);

$Z_{\text{д.т}}$ – отметка диктующей точки (из задания);

$h_{\text{св}}$ – свободный напор; $h_{\text{св}} = 10 + 4(n-1)$, где n – этажность (из задания 3 этажа);

$\sum h_{\text{сети}}$ – потери напора в час максимального водопотребления (из задания)

Отметку максимального уровня воды в резервуаре башни определяем из выражения

$$Z_{\text{макс.б}} = H_6 + Z_6 + 0,25 + h_p \text{ м,} \quad (14)$$

где Z_6 – отметка земли у башни, м;

h_p – высота резервуара, м.

$$Z_{\text{макс.б}} = 23 + 417 + 0,25 + 7 = 447,25 \text{ м.}$$

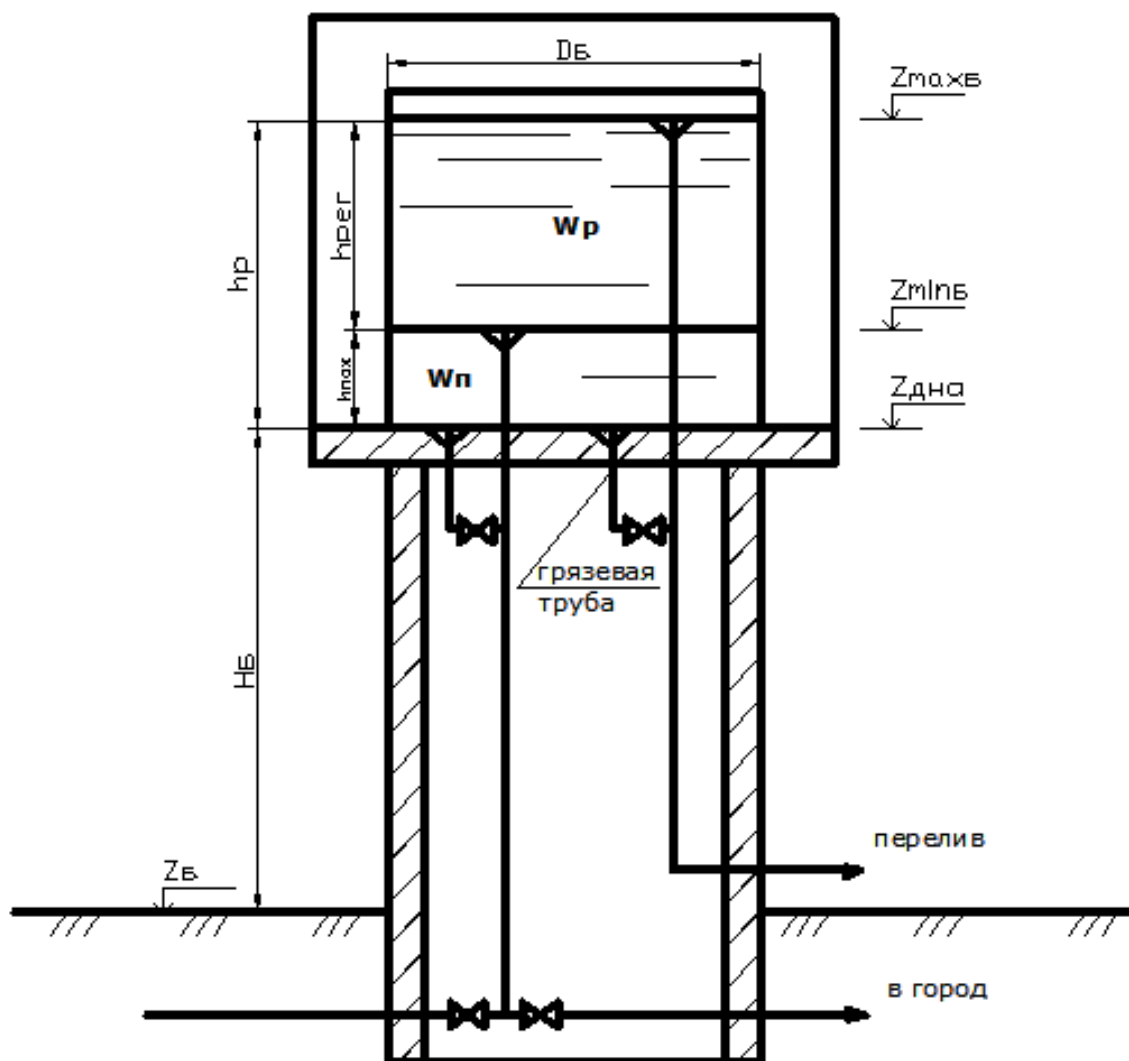


Рисунок. 2. Водонапорная башня

6. РАСЧЁТ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

6.1. Ориентировочное определение требуемого напора насосов

Величину требуемого напора насосов насосной станции второго подъёма с учётом конкретной вертикальной схемы сооружений определяем по формуле

$$H_p = H_{cm} + \sum h + h_k \text{ м,} \quad (15)$$

где H_{cm} - разность отметок максимального уровня воды в резервуаре башни $Z_{\text{макс.б}}$ (14) и минимального уровня воды в резервуаре чистой воды $Z_{\text{мин.р}}$ м (задание); $H_{cm} = Z_{\text{макс.б}} - Z_{\text{мин.р}} = 447,25 - 396 = 51,25 \text{ м}$;

$\sum h$ - сумма потерь напора во всасывающем и напорном трубопроводах, м;
 h_k - потери напора в коммуникациях насосной станции (1,5...2 м).

Методика ориентировочного определения величины требуемого напора заключается не в аналитическом расчёте суммы потерь, входящих в эту формулу, так как на данном этапе осуществить это практически невозможно, а в примерном их назначении. Так, потери напора на трение в трубопроводе можно принять в зависимости от его диаметра в пределах 2...5 м на 1 км трубы. Величина H_{cm} определяется разностью отметки максимального уровня воды в резервуаре башни и отметки минимального уровня воды в резервуаре чистой воды. Приняв соответствующее значение потерь напора в коммуникациях станции h_k , определяем ориентировочное значение требуемого напора H_p – расчётный напор.

$$H_p = 51,25 + (30 + 2000) \cdot 3 / 1000 + 2 = 59,34 \text{ м.}$$

6.2. Выбор типа и количества насосов и подбор их по каталогу

Выбор типа насосов и определение числа рабочих насосных агрегатов зависит от значений Q_p и H_p , см. формулы (8), (15). В нашем примере соответственно: $1633,5 \text{ м}^3/\text{ч} = 453,75 \text{ л/с}$ и $59,34 \text{ м}$. В настоящее время на водопроводных насосных станциях II подъёма проектируют к установке горизонтальные центробежные насосы типа К или Д или зарубежные аналоги.

При определении числа рабочих насосных агрегатов, устанавливаемых на станции, рекомендуют принимать минимальное количество насосов, отдавая предпочтение выбору более мощных агрегатов. В общем случае при выборе числа рабочих насосов следует придерживаться следующих рекомендаций:

- при суточной производительности станции до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ — 1-2 насоса;
- от $1000 \dots 25000 \text{ м}^3/\text{сут}$ - 2-3 насоса;
- более $25000 \text{ м}^3/\text{сут}$ - 3 и более насосов.

Окончательный выбор типа и определение числа параллельно или последовательно работающих насосных агрегатов следует осуществлять после подбора их по каталогу насосов. При этом подача рабочих насосов должна быть достаточной для обеспечения расчетных расхода и напора.

В приложении 2 приведены некоторые технические данные горизонтальных центробежных насосов типов Д и К.

Окончательный выбор типа и определение числа параллельно или последовательно работающих насосов следует осуществлять в результате анализа характеристики совместной работы системы.

6.3. Определение количества резервных насосных агрегатов

Для обеспечения надёжности в бесперебойной подаче воды на насосной станции проектируют установку резервных насосных агрегатов. Число резервных насосов устанавливают в соответствии с классом надёжности насосной станции, принимающимся в зависимости от назначения водопровода. Известно три класса надёжности насосной станции:

I класс - не допускается перерыв в работе,

II класс - допускается кратковременный перерыв в работе,

III класс - допускается перерыв в работе, но не более одних суток.

Количество резервных агрегатов следует принимать по табл. 5. С учетом данных этой таблицы необходимо отметить, что в любом случае целесообразно использовать не менее двух резервных насосных агрегатов.

Таблица 5

Количество рабочих агрегатов одной группы	Количество резервных агрегатов в насосной станции для категории		
	I	II	III
До 6	2	1	1
Св. 6 до 9	2	1	-
Больше 9	2	2	-

Принимаем к установке 2 рабочих и 2 резервных насоса.

6.4. Параллельная работа насосов

Не всегда удаётся по каталогу подобрать центробежный насос для подачи расчётного расхода Q_p или изначально число рабочих агрегатов больше одного. В этом случае прибегают к установке нескольких однотипных параллельно работающих насосов, суммарная подача которых удовлетворит величине Q_p . При выключении из параллельной работы одного из насосов подача оставшегося в работе насоса увеличивается, т. е. возникает, как известно, дефицит в подаче воды, величину которого можно определить из выражения:

$$\Delta Q = (Q_1 + Q_2) - (Q_{1+2}).$$

Величина этого дефицита значительно возрастает при параллельной работе трёх, четырёх и более насосов.

Для ориентировочного учета влияния работы нескольких насосов на их суммарную подачу, фактическую производительность каждого из них следует принимать с коэффициентом, величина которого зависит от числа параллельно работающих насосов и составляет:

при выключении из работы одного насоса - 1,11;

при выключении из работы двух насосов - 1,18;

при выключении из работы трёх насосов - 1,25.

Последовательную работу нескольких агрегатов принимают в случае, если не удастся подобрать один насос по величине требуемого напора H_p . В практике проектирования водопроводных насосных станций к такому соединению насосов не прибегают, и в настоящих методических указаниях этот вопрос не рассматривается.

6.5. Расположение насосных агрегатов

На компоновку насосных агрегатов в машинном зале насосных станций второго подъёма большое влияние оказывает форма здания станции. В большинстве своем насосные станции выполняют прямоугольными в плане. Поэтому в практике проектирования этих станций весьма часто встречаются три вида размещения насосов: однорядное параллельно продольной оси здания; однорядное перпендикулярно продольной оси здания; двухрядное в шахматном порядке. Первый вид размещения насосных агрегатов следует принимать при количестве насосов до трёх, второй и третий виды размещения насосов — при числе насосных агрегатов 4 и более. На рис. 3 представлена принципиальная схема размещения насосных агрегатов.

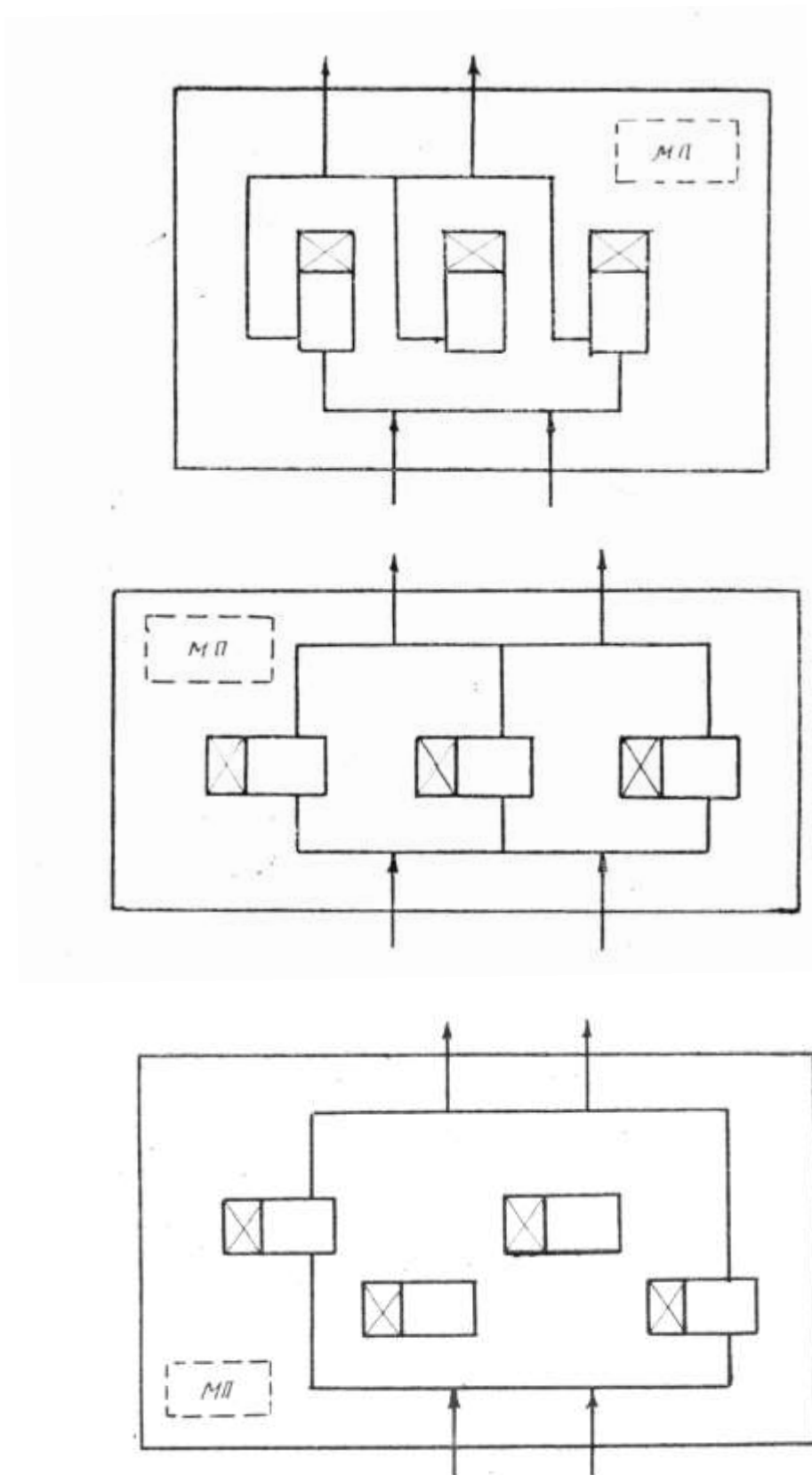


Рис. 3. Схема размещения насосных агрегатов

6.6. Подбор двигателей для привода насосов

В каталогах насосов, по которым осуществляют подбор насосов, как правило, приводятся технические данные и марка двигателя для привода выбранного насоса. Однако в практике проектирования по разным причинам часто приходится подбирать двигатель для принятого насоса. Ниже приводится порядок подбора электродвигателя.

Электродвигатель для привода насоса выбирают исходя из условий его работы и технологических требований. Основными техническими показателями, по которым осуществляют подбор электродвигателя, являются мощность насоса и число оборотов, на которое рассчитан насос.

Мощность двигателя для привода насоса определяют по формуле

$$N_{дв} = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot H_p \cdot k}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_n} \text{ кВт}, \quad (16)$$

где γ - удельный вес, 1000 кг/м³;

Q_p - подача воды одним насосом, м³/с;

H_p - расчётный напор, м. вод. ст.;

η_n - КПД насоса (принимают из характеристики насоса);

η_n - КПД передачи (для упругих и жёстких муфт принимают $\eta_n=1,0$);

k - коэффициент запаса, учитывающий возможные случайные перегрузки двигателя (принимается в зависимости от величины $N_в$ на валу насоса, см. табл. 6).

Таблица 6

Коэффициент запаса k

Мощность на валу насоса $N_в$, кВт	до 20	20-50	50-300	Более 300
Коэффициент запаса k	1,25	1,2	1,15	1,1

Мощность на валу насоса следует определять по формуле

$$N_в = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot H_p}{102 \cdot \eta_n} \text{ кВт}. \quad (17)$$

По найденному значению мощности двигателя и по известным частоте вращения и напряжению в электросети приступают к выбору типа электродвигателя.

Для привода насосов широко применяют электродвигатели трёхфазного переменного тока: асинхронные и синхронные. Если величина мощности (16) не превышает 400 кВт, то в качестве привода следует принимать асинхронный электродвигатель серии А.

Асинхронные электродвигатели выпускаются промышленностью с короткозамкнутым или фазным ротором. При выборе типа двигателя существенное значение оказывает также величина существующего напряжения в электросети,

потому что существующие конструкции электродвигателей подключают к сети напряжением, соответствующим рабочему напряжению самого двигателя. Так, электродвигатели мощностью до 130 кВт рассчитаны на возможность подключения их к электрической линии напряжением 220/380 В, электродвигатели мощностью 130...320 кВт - к линии напряжением 380/660 В, электродвигатели мощностью 320 кВт и более - к линии напряжением 6000 В. Наряду с асинхронными электродвигателями, для привода мощных насосов принимают синхронные двигатели серии «СД».

Эти двигатели применяют для привода насосов мощностью свыше 400 кВт и выпускаются промышленностью с учетом подключения их к электрической линии напряжением 6000 В. В приложении 3 приведены технические данные насосов типа Д и двигателей к ним.

6.7. Расчёт рабочих параметров насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса

Если в процессе подбора на сводном графике полей $Q-H$ отсутствует насос, удовлетворяющий расчётному напору, то, пользуясь законом динамического подобия:

$$\frac{n_p}{n} = \frac{Q_p}{Q} = \sqrt{\frac{H_p}{H}} = \sqrt[3]{\frac{N_p}{N}} \quad (18)$$

и варьируя при этом числом оборотов рабочего колеса насоса, максимально удовлетворяющего расчётному условию, можно изменить рабочую характеристику $Q-H$ этого насоса таким образом, чтобы она удовлетворяла расчётному напору H_p .

В связи с этим по принятой характеристике насоса с известной частотой вращения рабочего колеса (n) приходится определять искомую частоту вращения n_p , соответствующую заданным Q_p и H_p .

Ниже приводится методика определения искомого числа оборотов рабочего колеса (n_p), при котором характеристика насоса будет максимально соответствовать расчётным параметрам Q_p и H_p , а также последовательность пересчёта рабочей характеристики принятого насоса при изменении числа оборотов ($n \rightarrow n_p$):

- по сводному графику или каталогу насосов принимают насос, требующий незначительного увеличения или снижения существующего напора, и, используя зависимости (18), получим:

$$\frac{Q_p}{Q} = \sqrt{\frac{H_p}{H}} \quad \text{или} \quad Q = \frac{Q_p}{\sqrt{H_p}} \sqrt{H};$$

- обозначив значение $\frac{Q_p}{\sqrt{H_p}}$ за (a) , получают выражение для определения

подачи:

$$Q = a\sqrt{H} , \quad (19)$$

- задаваясь значениями расхода из выражения (19), определяют величину напора. Расчёт прилагают в табличной форме (табл. 7).

Таблица 7

Форма для заполнения данными

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	0				Q_p	
$H, \text{ м}$	0				H_p	

- по данным Q и H этой таблицы на характеристике принятого насоса в масштабе строят кривую пропорциональности, которая обязательно пересечёт точку с параметрами Q_p и H_p , а также характеристику принятого насоса в точке A , которой соответствует расход Q_A (см. рис. 4);

- искомое число оборотов двигателя вычисляют по формуле

$$n_p = \frac{n \cdot Q_p}{Q_A} \text{ об/мин};$$

- определив отношение $n_p/n=i$, по законам динамического подобия:

$$Q_p=Q \cdot i; H_p=H \cdot i^2; N_p=N \cdot i^3$$

осуществляют пересчёт рабочих параметров насоса Q, H, N . Величина КПД при этом остаётся неизменной. Пересчёт характеристики насоса с учётом вычисленного числа оборотов выполняют в табличной форме, образец которой представлен в табл. 8.

Таблица 8

Форма для заполнения данными

$\eta, \%$	n			n_p		
	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$H, \text{ м}$	$N, \text{ кВт}$	$Q_p=Q \cdot i$	$H_p=H \cdot i^2$	$N_p=N \cdot i^3$

Допускаемый кавитационный запас $\Delta h_{\text{кав}}^{\text{дон}}$ определим по формуле

$$\Delta h_{\text{кав}(p)}^{\text{дон}} = \Delta h_{\text{кав}}^{\text{дон}} \cdot i^2 \text{ м.}$$

Произведём необходимые вычисления для нашего случая. Для этого на рис. 4 приведены характеристики подобранного нами насоса Wilo-SCP 200/460 НА. Точка с требуемыми параметрами Q_p и H_p обозначена как B . Рассматриваем кривую, прочерченную сплошной линией, т.е. для диаметра рабочего колеса 444 мм, которая лежит выше точки с требуемыми параметрами.

Определяем показатель параболы пропорциональности

$$a = \frac{Q_p}{\sqrt{H_p}} = \frac{816,75}{\sqrt{59,34}} = 106,02673.$$

Таким образом, уравнение параболы пропорциональности приобретает вид

$$H = \frac{Q^2}{a^2} = \frac{Q^2}{106,02673^2} = \frac{Q^2}{11241,667}$$

Заполняем форму (табл. 7)

Q, м³/ч	0	200	400	600	816,75	900
H, м	0	3,56	14,23	32,02	59,34	72,05

Wilo-SCP 200/460 HA

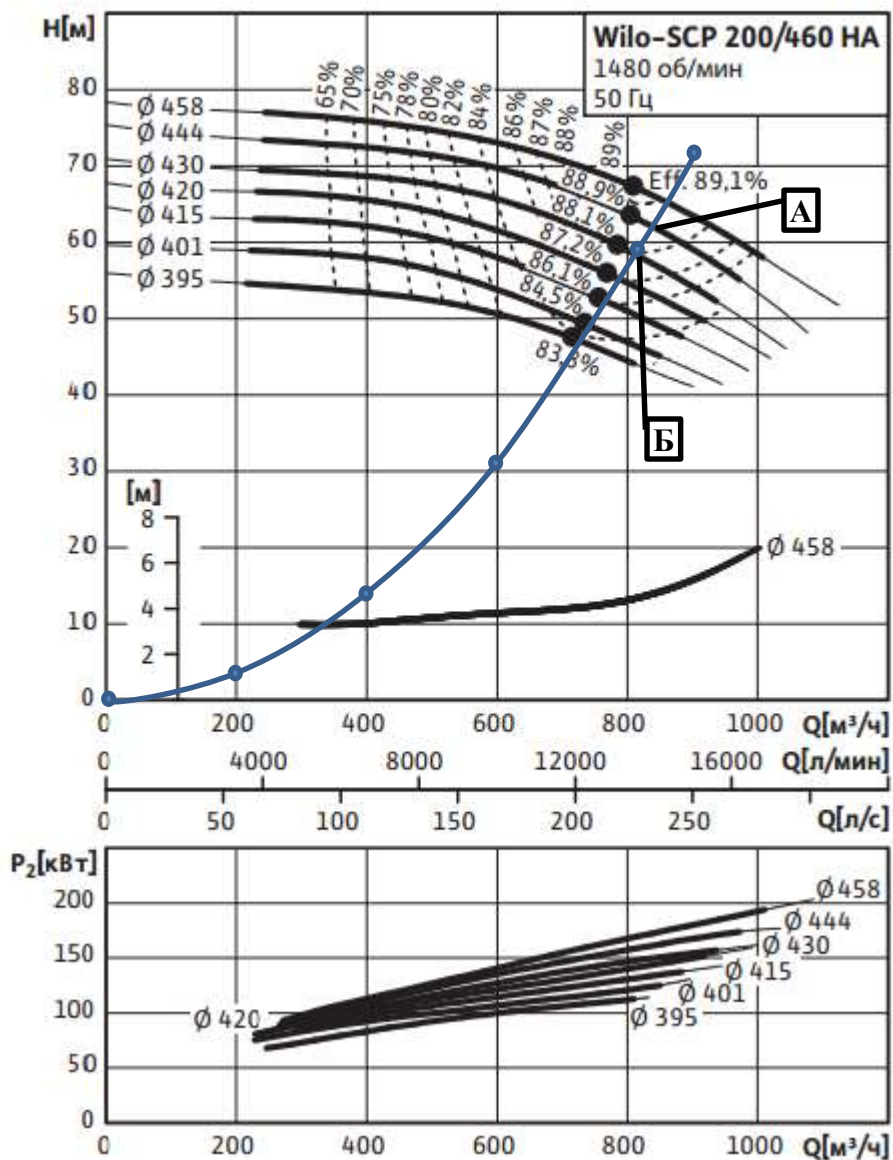


Рисунок. 4. Характеристика выбранного насоса

Строим график кривой пропорциональности.

По полученному графику $Q_A \approx 838 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Искомое число оборотов двигателя

$$n_p = \frac{n \cdot Q_p}{Q_A} = \frac{1480 \cdot 816,75}{838} = 1442 \text{ об/мин.}$$

Определяем отношение $i = 1442/1480 = 0,974$.

Заполняем форму (табл. 8)

$\eta, \%$	$n=1480$			$n_p=1442$		
	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$H, \text{ м}$	$N, \text{ кВт}$	$Q_p = Q \cdot i$	$H_p = H \cdot i^2$	$N_p = N \cdot i^3$
88	838	61,7	160	$838 \cdot 0,974 \approx \approx 816,2$	$61,7 \cdot 0,974^2 \approx \approx 58,53$	$160 \cdot 0,974^3 \approx \approx 147,8$

Обратим внимание, что расчётные параметры получились очень близкими к требуемым Q_p и H_p . Полного совпадения не произошло, так как мы применяли графический метод. Точность расчётов можно повысить, если использовать аналитическое решение, т.е. находить точку пересечения A решая систему уравнений, состоящую из уравнения кривой пропорциональности (мы строили её по точкам табл. 7) и уравнения $H-Q$. Это уравнение получают аппроксимацией экспериментальных точек кривой $H-Q$. Такая аппроксимация была выполнена в ряде прикладных программ разных авторов для широкого ряда насосов. Одна из таких программ выложена по адресу http://www.agrovodcom.ru/prog_appr.php. Имея уравнение кривой пропорциональности и аппроксимационное уравнение, можно решить их систему (найти точку пересечения A), используя, например, пакет MathCAD.

6.8. Расчёт характеристики насоса путём уменьшения диаметра рабочего колеса (обточка рабочего колеса)

Если в каталоге нет насоса, удовлетворяющего расчетным параметрам Q_p и H_p , и изменением числа оборотов двигателя подобрать насос не удастся, то прибегают к обточке рабочего колеса.

В отличие от подбора насоса изменением числа оборотов, позволяющего удовлетворить расчетной точке (Q_p, H_p) на характеристике трубопровода, располагающейся либо выше характеристики принятого насоса $Q-H$, либо ниже, вариант, основанный на обточке рабочего колеса, требует, чтобы эта точка (Q_p и H_p) всегда находилась ниже характеристики насоса.

Следовательно, в этом случае для обеспечения расчетных Q_p и H_p надо рассчитать величину необходимой обточки рабочего колеса. Рекомендуется следующий порядок расчёта величины обточки колеса.

Подобрать насос, максимально отвечающий расчётным параметрам Q_p и H_p . При этом линия напора H_p всегда должна располагаться ниже характеристики принятого насоса. Преобразуем зависимости

$$\frac{Q_{обт}}{Q} = \frac{D_{обт}}{D} = i; \quad \frac{H_{обт}}{H} = i^2; \quad \frac{N_{обт}}{N} = i^3; \quad (20)$$

и представим в виде:

$$\frac{H_{обт}}{H} = \frac{D_{обт}^2}{D^2}; \quad \text{или} \quad \frac{D_{обт}}{D} = \sqrt{\frac{H_{обт}}{H}}; \quad (21)$$

тогда с учётом выражения (21) величину подачи Q можно определить по методике, описанной в п. 3.1 (19). То есть ту же самую параболу $Q = a\sqrt{H}$ накладывают на график насоса. Она обязательно должна пересечь точку $B (Q_p, H_p)$ и характеристику насоса в т. A , которой соответствует расход Q_A .

Искомый диаметр колеса $D_{обт}$ определяют по формуле

$$D_{обт} = \frac{Q_p \cdot D}{Q_A} \text{ мм.} \quad (22)$$

Допустимость величины обточки рабочего колеса регламентируется коэффициентом быстроходности и возможна в следующих пределах:

для $n_s=60-120$ на 15...20 %;

для $n_s=120-200$ на 11...15 %;

для $n_s=200-300$ на 7...11 %.

Процент обточки рабочего колеса определяют из выражения

$$\% = \frac{D - D_{обт}}{D} \cdot 100. \quad (23)$$

Рабочую характеристику насоса, соответствующую рабочему колесу с диаметром $D_{обт}$, получают пересчётом рабочей характеристики принятого насоса по известным зависимостям: $Q_{обт} = iQ$; $H_{обт} = i^2H$; $N_{обт} = i^3N$; где $i = D_{обт}/D$.

Результаты пересчёта характеристики прилагают в табличной форме, образцом которой является табл. 9.

Таблица 9

Форма для заполнения данными

$D = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм}$			$D_{обт} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм}$		
Q , м ³ /ч	H , м	N , кВт	$Q_{обт} = Q \cdot i$, м ³ /ч	$H_{обт} = H \cdot i^2$, м	$N_{обт} = N \cdot i^3$, кВт

Вычисления для нашего случая выполним по рис. 4. Парабола пропорциональности построена. Обточку возможно выполнить для диаметра 444 мм, так как кривая $H-Q$ лежит выше точки B с требуемыми параметрами.

Определяем диаметр обточенного колеса:

$$D_{обт} = \frac{Q_p \cdot D}{Q_A} = \frac{816,75 \cdot 444}{838} = 432,74 \text{ мм.}$$

Рассчитываем коэффициент быстроходности по формуле

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}, \quad (24)$$

где n – частота вращения, мин^{-1} ; Q – подача при максимальном КПД (определяется по рис. 4), $\text{м}^3/\text{с}$. Для насосов двустороннего входа воды подача Q принимается равной половинной; H – напор при максимальном КПД (определяется по рис. 4), м.

$$n_s = 3,65 \frac{1480\sqrt{0,2236/2}}{68^{3/4}} = 76,28$$

Определяем процент обточки от максимально необточенного рабочего колеса:

$$\% = \frac{458 - 432,74}{458} \cdot 100 = 5,52.$$

Величина обточки не превышает допустимых пределов.

Находим величину $i = D_{обт}/D = 432,74/444 = 0,975$.

Заполняем форму (табл. 9)

$D=444 \text{ мм}$			$D_{обт}=432,74 \text{ мм}$		
Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	H , м	N , кВт	$Q_{обт}=Q \cdot i$, $\text{м}^3/\text{ч}$	$H_{обт}=H \cdot i^2$, м	$N_{обт}=N \cdot i^3$, кВт
838	61,7	160	$838 \cdot 0,975 \approx 817,05$	$61,7 \cdot 0,975^2 \approx 58,65$	$160 \cdot 0,975^3 \approx 148,3$

Мы видим, что расчётные значения в таблицах п. 3.2 и п. 3.1 почти совпадают, что говорит о правильности вычислений.

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ВСАСЫВАЮЩИХ И НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ВНУТРИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

7.1. Проектирование внешних всасывающих водоводов

Транспортирование воды из резервуаров чистой воды к насосной станции осуществляется по внешним всасывающим **стальным водоводам**. Соединение их производят сваркой, а в местах установки арматуры - посредством фланцев.

С целью снижения потерь напора всасывающий водовод проектируют, по возможности, коротким ($l \leq 30$ м) с минимальным количеством фасонных частей и арматуры.

Основными требованиями, предъявляемыми к всасывающим трубам, является их воздухонепроницаемость, а также отсутствие условий образования воздушных мешков. Это достигается монтажом всасывающих труб таким образом, чтобы верхняя образующая трубы по всей длине имела уклон от насоса не менее 0,005. А при изменении диаметра всасывающего трубопровода устраивают косые переходы с горизонтальной верхней образующей. Длину такого перехода можно определить из выражения

$$l = p(D-d) \text{ м,} \quad (25)$$

где p – принимают 5...6.

Число всасывающих линий рекомендуется принимать не менее двух, а диаметр каждой нитки трубопровода — с учётом экономичных скоростей движения воды (табл. 10) по (26).

Таблица 10

Экономичные скорости движения воды [2, 3]

Диаметр труб, мм	Скорость движения воды в трубопроводах насосных станций в м/с	
	всасывающем	напорном
До 250	0,6-1	0,8-2
300-800	0,8-1,5	1-3
Более 800	1,2-2	1,5-4

При выключении одной всасывающей линии оставшиеся трубы должны быть проверены на пропуск **полного** расчётного расхода Q_p .

Диаметр одной нитки всасывающего трубопровода можно определить по известной формуле

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \text{ м,} \quad (26)$$

где Q_p - расчётная максимальная часовая подача насосной станции, м³/с;
 v - скорость движения воды, м/с, (табл. 10).

Для нашего примера устанавливаем две всасывающие линии. Пусть скорость в них будет 0,8 м/с (табл. 10). Вычислим их диаметр:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 453,75 / 2 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 3,14}} = 0,601 \text{ м} \approx 600 \text{ мм}$$

В случае отключения одной ветки проверим допустимую скорость в оставшейся:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 453,75 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,6^2} = 1,6 \text{ м/с} .$$

Для диаметра трубы 600 мм максимально допустимая скорость составляет 1,5 м/с (табл. 10). Увеличиваем диаметр до **700 мм** и повторяем проверку.

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 453,75 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,7^2} = 1,18 \text{ м/с}$$

Проверка пройдена.

7.2. Проектирование внешних напорных водоводов

Подача чистой воды в распределительную сеть водопотребления осуществляется насосной станцией по напорным водоводам. При выборе их материала в первую очередь следует ориентироваться на неметаллические трубы: асбестоцементные, пластмассовые и железобетонные. Асбестоцементные предлагается применять при диаметрах до 500 мм включительно и напорах, не превышающих 120 м. При диаметрах свыше 500 мм и напорах до 90 м рекомендуется использовать железобетонные трубы. При больших напорах, в условиях предприятий и населенных мест со сложными подземными коммуникациями, а также в других случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании водоводы могут проектироваться стальными или чугунными.

Таблица 11

Коэффициенты в (28), зависящие от материала труб

Трубы	m	k	α	b	R
Стальные	5,1	0,00179	1,4	53	4,6
Чугунные	5,1	0,00179	1,6	107	3,3
Асбестоцементные	4,89	0,00118	1,95	78	7,3
Железобетонные	4,89	0,00169	1,3	100	3,3
Пластмассовые	4,77	0,00105	1,95	150	4,6

Диаметры водоводов выбираются с учётом стоимости труб, производства работ и эксплуатационных затрат на электроэнергию, определяемых гидравлическим сопротивлением в трубопроводах. Чем меньше диаметр труб, тем меньше их строительная стоимость, однако тем больше гидравлическое сопротивление и затраты на электроэнергию. Оптимальным считается вариант с наименьшими суммарными затратами.

Расчётный расход одного напорного водовода

$$Q_{н.в} = Q_p / n \text{ л/с,} \quad (27)$$

где Q_p - расчётная подача насосной станции; n - число напорных водоводов.

Число напорных водоводов от станций I и II категорий принимается не менее двух. Если при двух водоводах их диаметры оказываются более 1400 мм, то число водоводов увеличивают.

Для каждого диаметра при определенных условиях строительства и эксплуатации, характеризуемых так называемым экономическим фактором \mathcal{E} , существуют определенные расходы, при которых экономически оправдано применение именно этого диаметра.

Величину экономического фактора вычисляют по формуле

$$\mathcal{E} = 85900 \frac{mk\sigma}{ab(12,5 + R)}, \quad (28)$$

где m и k - показатель степени при диаметре и коэффициент в формуле для гидравлического уклона (табл. 11);

σ - стоимость электроэнергии, коп/(кВт·ч);

a и b - показатель степени при диаметре и коэффициент в формуле для определения строительной стоимости водоводов (табл. 11);

R - отчисления на амортизацию, % (табл. 11).

В табл. 12 для труб соответствующего материала и диаметра приводятся предельные наибольшие экономические расходы для условий, характеризуемых значением экономического фактора $\mathcal{E} = 1$.

Для выбора экономически выгодного диаметра по этой таблице вычисляют расход, приведённый к значению экономического фактора, равному единице:

$$Q_{np} = Q_{н.в} \sqrt[3]{\mathcal{E}} \quad (29)$$

Таблица 12

Предельные экономические расходы, л/с, для трубопроводов
из разных материалов при $\mathcal{E} = 1$

Условный проход, мм	Трубы				
	стальные	чугунные	асбесто-цементные	железо-бетонные	пластмассовые
100	10,6	8,4	9,2	-	9,2
150	19,8	22,4	19,9	-	19
200	42	40,6	40,7	-	32,6
250	65	65,3	65,3	-	61,5
300	93	96	95,6	-	81,5
350	128	132	133	-	121
400	167	175	201	-	162
450	213	227	-	-	222
500	286	313	361	329	294
600	402	461	-	380	491
700	537	642	-	541	-
800	705	857	-	731	-
900	897	1110	-	952	-
1000	1213	1532	-	1305	-

1200	1744	-	-	1714	-
1400	2231	-	-	2438	-
1500	2578	-	-	-	-
1600	2666	-	-	3052	-

Данная методика определения диаметров трубопроводов с учётом экономического фактора описана во многих учебниках и справочниках. Однако в настоящее время применение её затруднено в силу значительного роста цен на электроэнергию, использования материалов импортного производства. Поэтому для достаточной точности можно использовать таблицы Шевелёвых [5], в которых этот экономический фактор учтён. Экономически наиболее выгодные диаметры выделены рамочкой. Действительно, если сопоставить скорость движения воды в водоводе, полученную по таблицам [5], и сравнить со скоростями в табл. 10, то видно, что они попадают в рекомендуемый диапазон.

Для нашего примера $Q_{н.в} = Q_p/n = 453,75/2 = 226,88$ л/с. По таблицам [5] для **полиэтиленовых труб** и указанного расхода рамочкой выделен диаметр **450 мм**. Интерполируя значения скорости, получим значение $v = 1,82$ м/с, что попадает в рекомендуемый диапазон (табл. 10).

В дальнейшем, после подбора насосных агрегатов, одна нитка напорного водовода, в случае выхода из строя одного из водоводов, проверяется на пропуск расхода, равного $0,7Q_p$. И если водовод не выдерживает проверки на пропуск 70% расхода от Q_p , с учётом допустимых скоростей для данного диаметра трубы, следует предусмотреть между водоводами устройство переключения. В отдельных случаях может оказаться целесообразным увеличение диаметра водовода на сортамент.

Осуществим проверку для нашего случая. $Q_{н.в} = Q_p \cdot 0,7 = 453,75 \cdot 0,7 = 317,63$ л/с. По таблицам [5] для полиэтиленовых труб проверяемого нами диаметра **450 мм** и указанного расхода интерполируем значения скорости и получаем значение $v = 2,54$ м/с, что попадает в рекомендуемый диапазон (табл. 10). Дополнительных переключающих устройств или повышения диаметра не требуется.

Внешние напорные водоводы проектируют из неметаллических труб. Расстояние между водоводами должно быть не менее $0,7 \dots 1,5$ м. Глубина заложения низа труб принимается на $0,5$ м больше расчётной глубины промерзания в данном районе.

$$H_{низа} = H_{np} + 0,5 \text{ м.} \quad (30)$$

Для удобства эксплуатации на напорных водоводах проектируют камеры переключения, в которых размещается соответствующая арматура. Расстояние между переключениями должно быть не более 5 км.

7.3. Проектирование трубопроводов внутри насосной станции

Вода из внешних всасывающих водоводов поступает обычно во всасывающий коллектор, который либо располагают в здании насосной станции, либо устанавливают за ее пределами в специальной камере. К этому коллектору посредством врезки (сварки) подключают всасывающие трубы насосов. Диаметр всасывающего коллектора назначают из условия пропускания по нему 100% Q_p исходя из допустимых скоростей (табл. 10). Как правило, при наличии двух внешних всасывающих водоводов диаметр всасывающего коллектора получается равным диаметру внешнего всасывающего трубопровода. Далее вода подается насосами по внутренним напорным трубопроводам в напорный коллектор. Напорный коллектор, как и всасывающий, проектируют либо в помещении машинного зала, либо в специальной камере, примыкающей к зданию. Диаметр напорного коллектора определяют с учетом допустимых скоростей. Обычно диаметр напорного коллектора принимают из условия пропускания 100% Q_p , а диаметр внутреннего всасывающего и напорного трубопроводов рассчитывают исходя из максимальной часовой производительности подключаемого насоса с учетом значений скоростей, рекомендуемых нормами. Соединение насоса с этими трубопроводами осуществляют, как правило, посредством переходов. Длину такого перехода можно определить из выражения (25). Следует особо отметить, что на всасывающем трубопроводе переход должен быть косым с горизонтальной верхней образующей, а на напорном - конический равнобедренный переход. Трубопроводы внутри насосной станции проектируют стальными и соединяют сваркой. В местах расположения арматуры предусматривают фланцевые соединения.

8. ПОСТРОЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ-ВОДОНАПОРНАЯ БАШНЯ-ДИКТУЮЩАЯ ТОЧКА И УТОЧНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТРЕБУЕМОГО НАПОРА. АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭТОЙ СИСТЕМЫ

8.1. Построение вертикальной схемы системы насосная станция – башня - диктующая точка

Уточнение требуемого пьезометрического напора насосной станции и напора у всех элементов в данной системе водоснабжения производят по вертикальной схеме, которая строится по данным задания на курсовое проектирование. Пример изображения такой схемы приведен на рис. 5. Данная схема позволяет не только наглядно представить взаимосвязь существующих элементов в системе водоснабжения, но и осуществить ряд расчетов по уточнению требуемого пьезометрического напора у элементов водопровода.

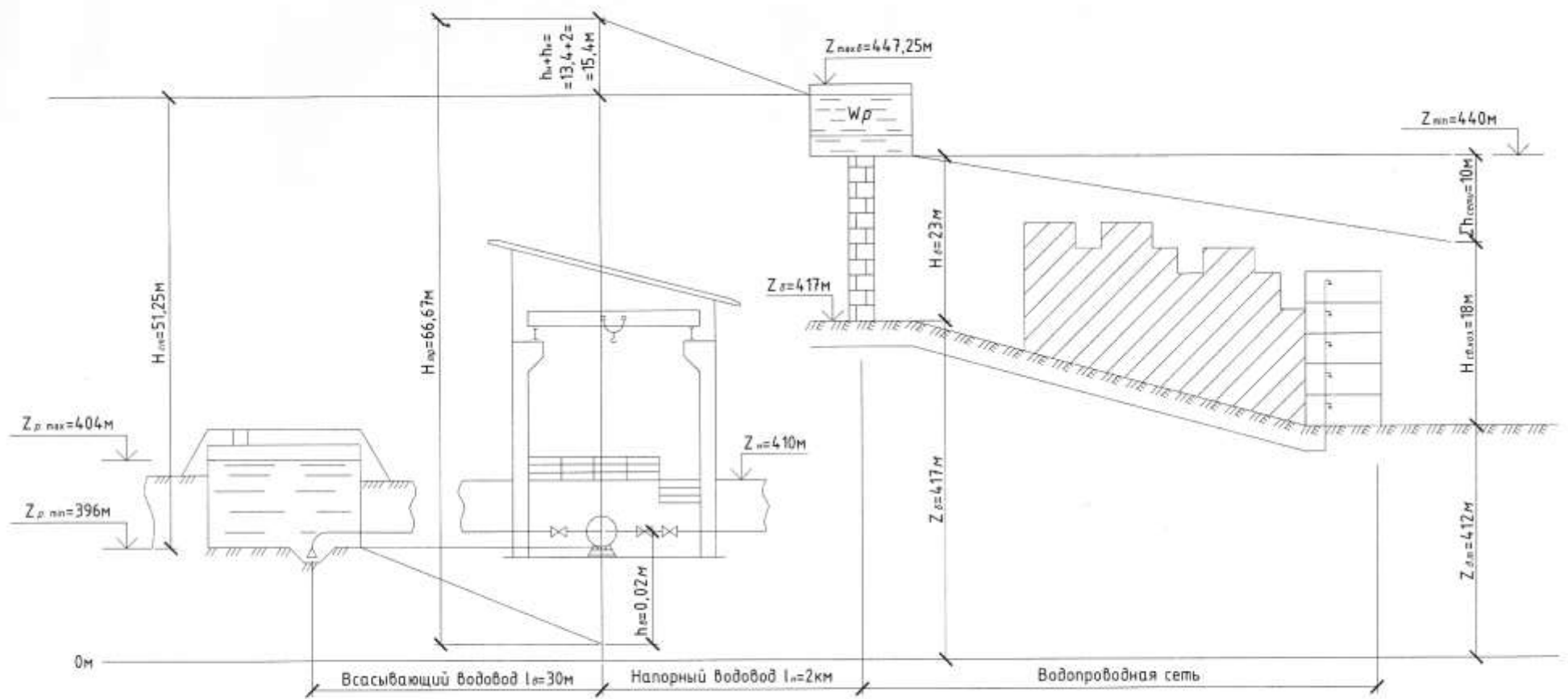


Рисунок. 5. Схема высотной планировки системы насосная станция – башня - диктующая точка

8.2. Расчёт необходимого свободного пьезометрического напора у диктующей точки

Насосная станция должна обеспечивать подачу воды ко всем точкам населенного пункта не только в достаточном количестве, но и под необходимым свободным напором, особенно в самой удаленной, так называемой диктующей точке. Величину свободного необходимого пьезометрического напора в диктующей точке $H^{xoz}_{св}$ определяют в зависимости от этажности здания: при одноэтажной застройке $H^{xoz}_{св}$ составляет 10 м, а при большей этажности на каждый этаж добавляют по 4 м.

Следовательно, свободный пьезометрический напор для здания любой этажности можно определить из выражения:

$$H^{xoz}_{св} = 4(n-1) + 10, \text{ м}, \quad (31)$$

где n - количество этажей.

В нашем примере: $H^{xoz}_{св} = 4(3-1) + 10 = 18$ м.

8.3. Определение отметки положения низа регулирующего объёма в резервуаре водонапорной башни

При расположении башни в начале сети, напор воды в ней должен быть достаточен для обеспечения необходимого минимального свободного напора $H^{xoz}_{св}$ (рис. 5) при полной сработке регулирующего объёма. Для этого, начиная от диктующей точки, на всех элементах высотной схемы (рис. 5) следует определить потребные пьезометрические напоры с учетом потерь напора на соответствующем участке. Тогда геодезическая отметка низа регулирующего объёма в резервуаре с учётом потерь напора при пропуске расчётного расхода от башни до диктующей точки составит

$$Z_{min} = H^{xoz}_{св} + \Sigma h_{сему} + Z_{д.м}, \quad (32)$$

где $\Sigma h_{сему}$ - алгебраическая сумма потерь напора на участке от башни до диктующей точки при пропуске максимального часового расхода (принимают по заданию);

$Z_{д.м}$ - отметка земли у диктующей точки, м.

В нашем примере: $Z_{min} = 18 + 10 + 412 = 440$ м.

8.4. Уточнение величины расчётного напора насосной станции

Требуемый напор насоса H_p определяют по формуле (15). Однако при уточнении требуемого напора величина Σh не принимается как ранее, ориентировочно, а рассчитывается с учётом принятой схемы обвязки насосов и известных диаметров трубопроводов. В конкретном случае сумма потерь напора Σh складывается из потерь напора во всасывающем и напорном трубопроводах:

$$\Sigma h = h_в + h_н, \text{ м}, \quad (33)$$

где $h_в$ - потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

$h_н$ - потери напора в напорном трубопроводе, м.

В общем случае потери напора в трубопроводах обуславливаются потерями по длине и потерями на местные сопротивления и определяются следующим образом:

$$h_в, h_н = h_{дл} + h_м \text{ м,} \quad (34)$$

где $h_{дл}$ - потери напора по длине, м;

$h_м$ - местные потери, м.

При вычислении потерь напора по длине следует пользоваться формулой

$$h_{дл} = 1000i \cdot l / 1000, \text{ м,} \quad (35)$$

где $1000i$ - гидравлический уклон, мм/м (определяют по таблице Ф.А. Шелёва);

l - длина трубопровода, м.

Потери напора в местных сопротивлениях вычисляют по формуле

$$h_м = \sum \xi \frac{V^2}{2g} \text{ м,} \quad (36)$$

где ξ - коэффициент местных сопротивлений на трубопроводе (принимают по приложению 4);

V - скорость движения жидкости по трубопроводу, м/с;

g - ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с².

С учётом изложенного потери напора во всасывающем трубопроводе составят:

$$h_в = 1000i \cdot l_в / 1000 + \sum \xi \frac{V_в^2}{2g} \text{ м;} \quad (37)$$

потери напора в напорном водоводе

$$h_н = 1000i \cdot l_н / 1000 + \sum \xi \frac{V_н^2}{2g} \text{ м.} \quad (38)$$

При вычислении потерь напора в напорном и всасывающих водоводах $h_н$, $h_в$ потери напора в местных сопротивлениях могут быть приняты равными соответственно 10 и 15% потерь напора по длине. В этой связи формулы (37) и (38) несколько упрощаются и имеют вид:

$$h_н = 1000i \cdot l_н \cdot 1,1 / 1000 \text{ м;} \quad (39)$$

$$h_в = 1000i \cdot l_в \cdot 1,15 / 1000 \text{ м.} \quad (40)$$

Для нашего примера:

$$h_н = 1000i \cdot l_н \cdot 1,1 / 1000 = 6,09 \cdot 2000 \cdot 1,1 / 1000 = 13,4 \text{ м (полиэтилен);}$$

$$h_в = 1000i \cdot l_в \cdot 1,15 / 1000 = 0,635 \cdot 30 \cdot 1,15 / 1000 = 0,02 \text{ м (стальные).}$$

8.5. Характеристика системы напорных водоводов

Характеристика напорного водовода представляет собой графическую зависимость требуемого напора от расхода воды по водоводам. При построении данной характеристики необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

Требуемый напор для пропуска соответствующего расхода определяется из известного выражения (15):

$$H_{mp} = H_{cm} + h_g + h_n + h_k \text{ м.}$$

При этом потери напора h_g , h_k можно принимать постоянными. Тогда, обозначив сумму $H_{cm} + h_g + h_k = H_{cm,np}$, формула определения требуемого напора примет вид:

$$H_{mp} = H_{cm,np} + h_n \text{ м,} \quad (41)$$

где $H_{cm,np}$ - напор статический, приведённый, м.

Для нашего примера: $H_{cm,np} = 51,25 + 0,02 + 2 = 53,27$ м.

Потери напора по длине в напорном водоводе могут быть определены по формуле (39) с использованием таблицы Ф.А. Шевелёва. Расчёт величины требуемого напора прилагают в табличной форме (табл. 13). В табл. 13 столбец значений Q обычно принимают как $0,2Q_{p/2}$, $0,4Q_{p/2}$, $0,6Q_{p/2}$, $0,8Q_{p/2}$, $Q_{p/2}$, $1,2Q_{p/2}$.

Таблица 13

Расчёт величины требуемого напора

$Q_{p/2}$, л/с	$1000i$, мм/м	h_n по (39), м	H_{tr} (1 и 2) по (41), м
0	0	0,00	53,27
45,38	0,35	0,77	54,04
90,75	1,2	2,64	55,91
136,13	2,46	5,41	58,68
181,50	4,09	9,00	62,27
226,88	6,09	13,40	66,67
272,26	8,4	18,48	71,75

По данным этой таблицы в координатах $H-Q$ строят вначале характеристику одного напорного трубопровода $Q-h_{1,2}$, а затем характеристику двух водоводов $Q-h_{1+2}$ (рис. 6).

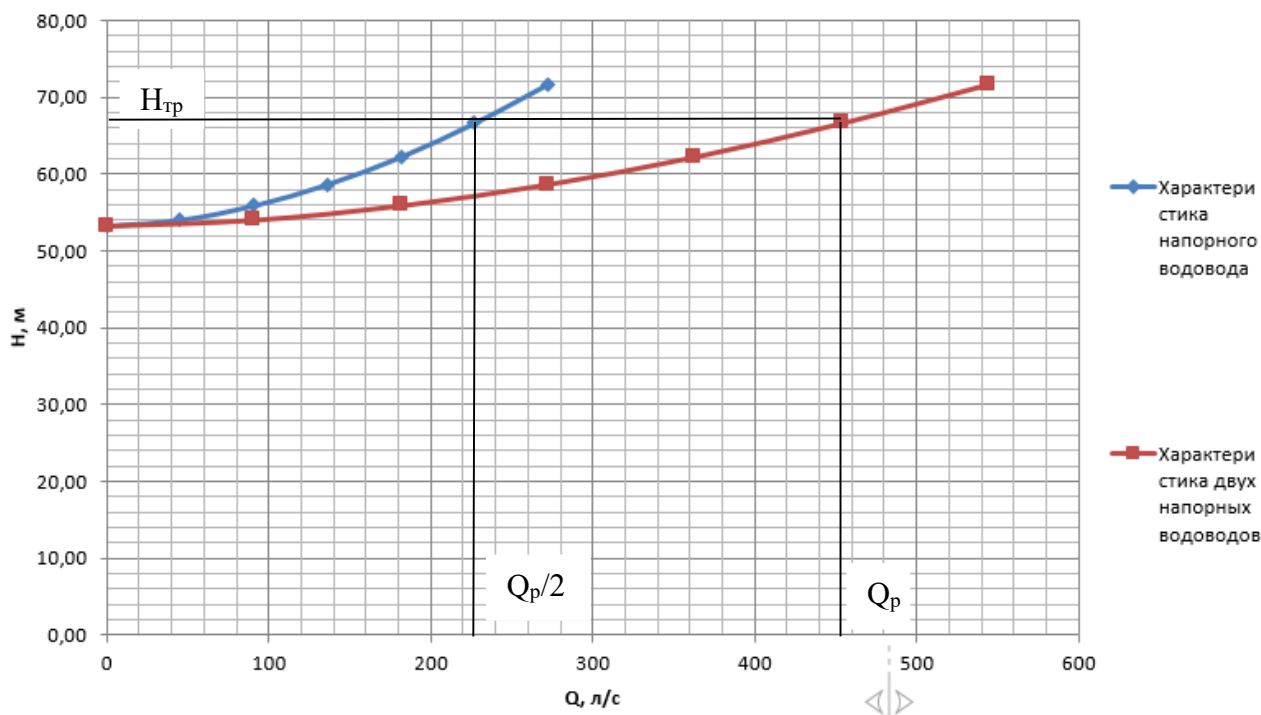


Рисунок. 6. Характеристика напорного водовода

8.6. Эксплуатационная характеристика совместной работы насосов и водоводов

Для определения фактической подачи принятых к установке насосов и анализа режима работы насосной станции строят характеристику совместной работы насосов и напорных водоводов. Тогда фактические подача и напор определяются путем наложения рабочей характеристики насоса $Q-H$ (рис. 4) на характеристику напорных водоводов (рис. 6). Следует отметить, что при таком совмещении характеристик (рис. 7) фактическая подача может значительно отличаться от первоначально намеченной. Если фактическая подача окажется больше намеченной (8), это приведет к снижению регулирующей ёмкости. И, наоборот, снижение фактической подачи по сравнению с намеченной повлечет увеличение регулирующей емкости, что нежелательно. Очевидно, что значение фактической подачи не должно быть меньше $Q_{ч.сп} = Q_{сум.м}/24$.

После уточнения типа насоса в записке следует привести его характеристику с указанием зависимостей $Q-H$, $Q-N$ и $Q-\eta$, а также габаритные размеры насоса и параметры его всасывающего и напорного патрубков.

После уточнения типа насоса для нашего примера его замены не требуется. Подходит прежний насос. При работе такого насоса на напорный водовод без выполнения обточки рабочего колеса (диаметр 458 мм) или снижения частоты вращения наблюдается хорошее совпадение рабочей характеристики с требуемыми параметрами. Характеристика насоса прошла точно через точку с $Q_p=453$

л/с и $H_{mp}=67$ м. Если такого совпадения не наблюдается, то это требует дальнейшего анализа по принятию решения относительно выбора марки насоса или корректировки его параметров методом обточки рабочего колеса или снижения частоты вращения.

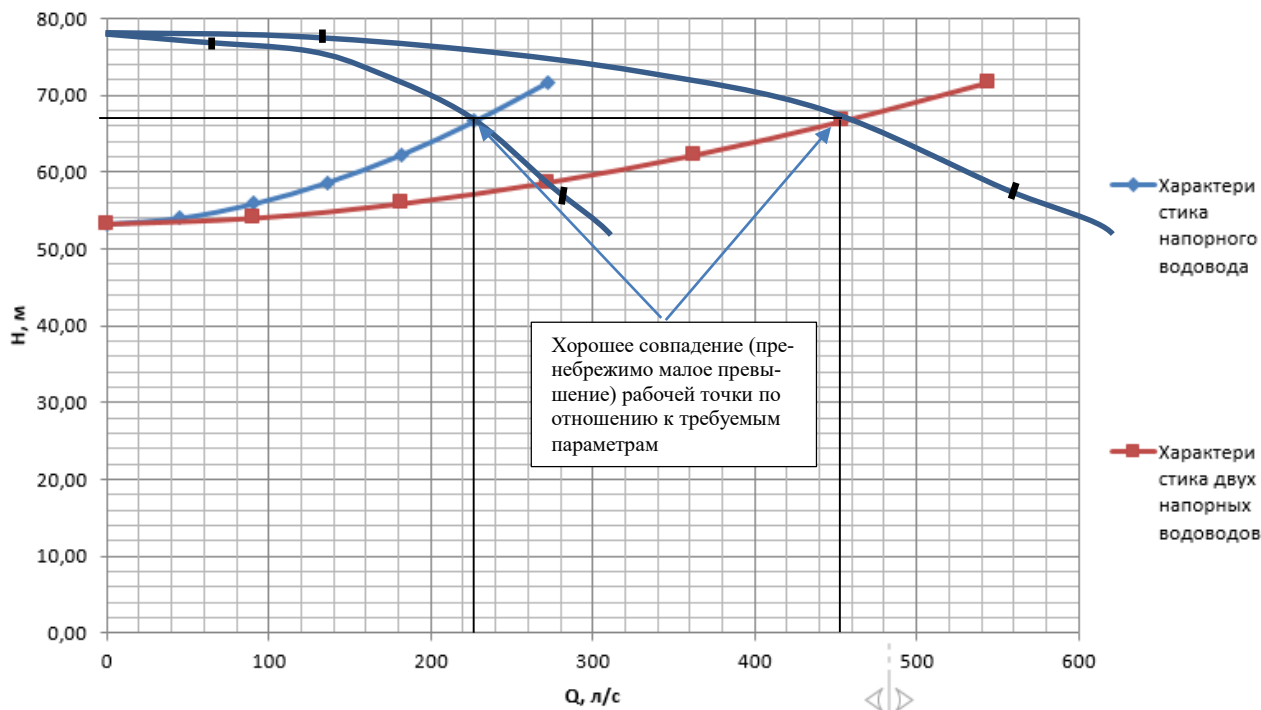


Рисунок. 7. Определение рабочего режима насосной установки

9. АНАЛИЗ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАСОСОВ И ВОДОВОДОВ

9.1. Установление режима работы насосной станции при изменении уровня воды в источнике и резервуаре башни

На режим совместной работы насосов и напорных водоводов значительное влияние оказывает колебание уровней воды в источнике и напорном резервуаре башни.

Из рис. 8 следует, что наиболее неблагоприятный режим в работе насосов и водоводов отмечается, когда уровень воды в источнике минимальный, а в резервуаре водонапорной башни — максимальный, а также когда уровень в источнике максимальный, а в напорном резервуаре — минимальный. В указанных вариантах величина колебания статического напора изменяется от максимального значения $H_{ст}^{макс}$ в первом случае, до минимального значения $H_{ст}^{мин}$ во втором. Колебания $H_{ст}$ приведут к изменению положения характеристики водовода, которая при этом пересечёт характеристику насоса в двух крайних точках A и B (рис. 8). В связи с этим основная задача проектировщика — «удержать» точки A

и B в пределах допустимой экономической работы принятого насоса, т. е. с высоким КПД.

Для нашего примера:

$$H_{ст}^{макс} = Z_{макс.б} - Z_p^{мин} = 447,25 - 396 = 51,25 \text{ м,}$$

где $Z_{макс.б}$ - отметка максимального уровня воды в резервуаре башни (14);

$Z_p^{мин}$ - отметка минимального уровня воды в резервуаре чистой воды (из задания).

$$H_{ст}^{мин} = Z_{мин} - Z_p^{макс} = 441,36 - 404 = 37,36 \text{ м,}$$

где $Z_{мин}$ - отметка минимального уровня воды в резервуаре башни, которую можно вычислить по геометрическим размерам бака, а именно:

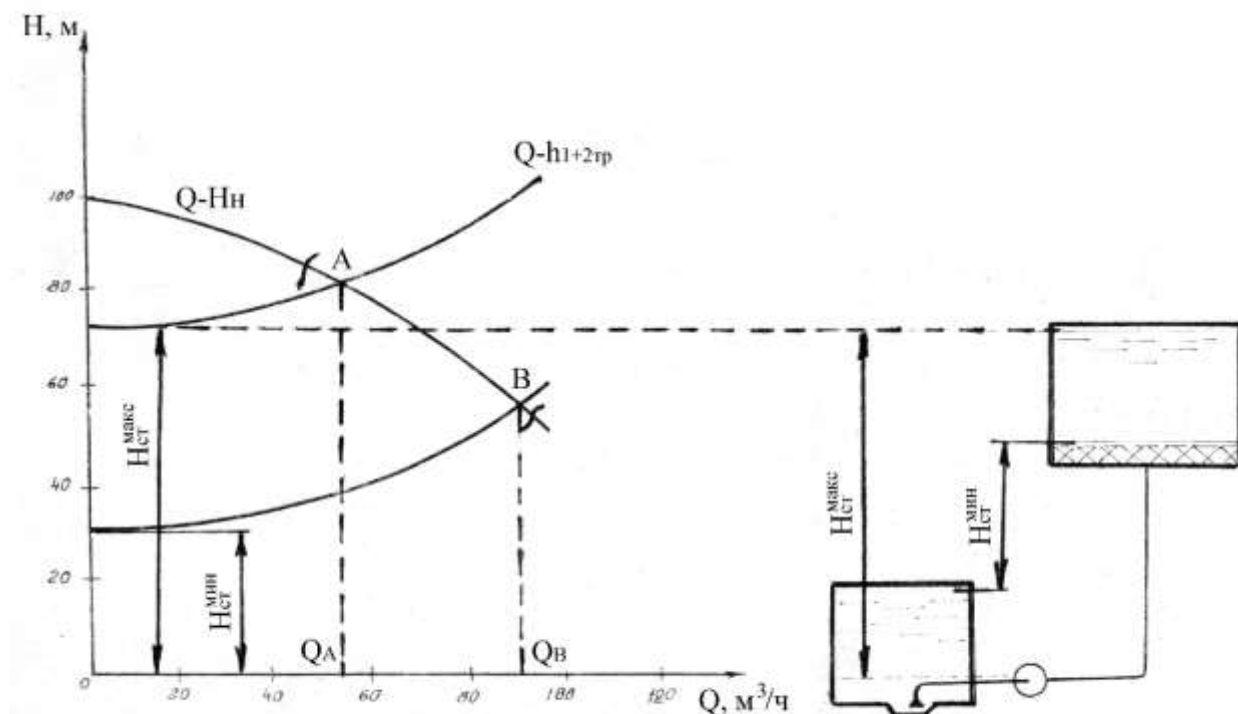
$$Z_{мин} = Z_{макс.б} - h_p = Z_{макс.б} - 4 \cdot W_p / (\pi \cdot D_p^2) = 447,25 - 4 \cdot 462 / (3,14 \cdot 10^2) = 441,36 \text{ м;}$$

h_p - высота слоя воды регулирующего объёма в баке башни, м;

W_p, D_p - регулирующий объём (12), м^3 , и диаметр бака башни (табл. 4), м, соответственно.

$Z_p^{макс}$ - отметка максимального уровня воды в резервуаре чистой воды (из задания).

а)



б)

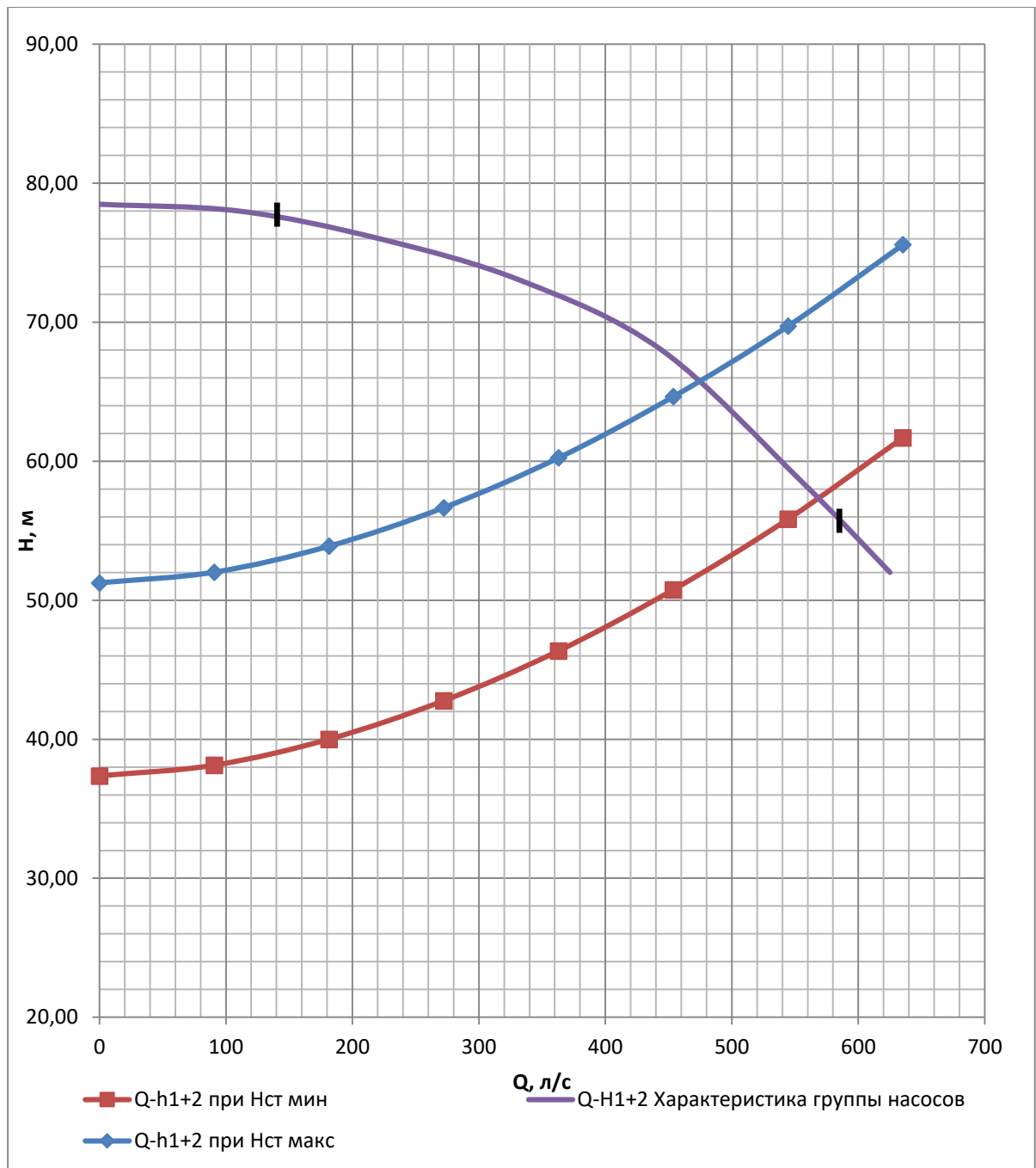


Рисунок. 8. Характеристика системы насосы-водоводы при изменении уровня воды в резервуаре: *а)* теоретическая схема; *б)* схема к приведенному расчету

Анализируя график на рис. 8б можно сделать вывод, что работа насоса Wilo-SCP 200/460 НА на напорный водовод будет осуществляться в зоне оптимального КПД. Часто может наблюдаться выход за зону оптимального КПД. В этом случае может быть предложена замена марки насоса.

9.2. Работа насосной станции и водонапорной башни при пожаротушении

Подачу расчётного расхода воды на тушение пожара $Q_{пож}$ следует предусматривать в час максимального водопотребления по табл. 3 и формуле (10).

При тушении пожара свободный напор в диктующей точке сети может снижаться до 10 м. В то же время пропуск увеличенного при пожаре расхода сопровождается ростом гидравлических сопротивлений в сети. При схеме с водонапорной башней в начале сети, если пьезометрическая линия у башни окажется выше дна башни, при опорожнённом баке часть пожарного расхода может поступать во время пожара в башню, а не к месту пожара. Во избежание этого башню приходится отключать.

Подача насосной станции при пожаре с отключенной водонапорной башней определяется по формуле

$$Q_{нс}^n = q_{ч.маx} + Q_{пож} , \quad (42)$$

где $q_{ч.маx}$ - максимальный часовой расход из табл. 2 (1815/3,6=504,17 л/с);

$Q_{пож}$ - пожарный расход, определяемый по формуле (10) (75 л/с).

$$Q_{нс}^n = 504,17 + 75 = 579,17 \text{ л/с.}$$

Без отключения башни:

$$Q_{нс}^n = Q_p + Q_{пож} , \quad (43)$$

$$Q_{нс}^n = 453,75 + 75 = 528,75 \text{ л/с.}$$

Башня в начале сети должна отключаться при условии

$$Z^n + h_c^n > Z_{маx.б} - h_p , \quad (44)$$

где Z^n - пьезометрическая отметка в диктующей точке сети при пожаре;
 $Z^n = Z_{д.м} + 10 = 412$ (из задания) $+ 10 = 422$ м;

h_c^n - гидравлические потери в городской водопроводной сети при пожаре (из задания 15 м);

$Z_{маx.б}$ - отметка максимального уровня воды в башне, определяемая по (14) и составляющая для нашего примера 447,25 м;

h_p - высота резервуара башни, принимаемая по табл. 4, в нашем случае – 7 м;
 $422 + 15 < 447,25 - 7$

В нашем примере в случае возникновения пожара башню не следует отключать. Следовательно, расход насосной станции при возникновении пожара $Q_{нс}^n$ составит **528,75 л/с** (43).

Требуемый напор насосов при пожаре определяют по формуле

$$H^n = H_{см}^n + h_в^n + h_к^n + h_н^n + h_c^n , \quad (45)$$

где

$$H_{см}^n = Z^n - Z_{p.min} , \quad (46)$$

здесь $Z_{p.min}$ - минимальный уровень воды в резервуаре чистой воды (задание), м;

Z^n – см. формулу (44);

H_{cm}^n – статический напор при пожаре, м;
 h_{ϵ}^n – потери во всасывающей линии при пожаре, м;
 h_n^n – потери в напорной линии при пожаре, м;
 h_k^n – потери в коммуникациях насосной станции (трубопроводы, водомер и т.д.) при пожаре, м;
 h_c^n – потери в сети при пожаре (задание), м.

Выполним расчёт для нашего примера.

$$H_{cm}^n = 422 - 396 = 26 \text{ м.}$$

При диаметре стального всасывающего трубопровода 700 мм (п. 4.1), состоящего из двух линий, длина которых 30 м (задание), потери h_{ϵ}^n определяются по (40). Значение $1000i$ принимаем по таблицам Шевелёвых для $Q_{nc}^n/2 = 528,75/2 = 264,38 \text{ л/с}$ (две параллельные линии).

$$h_{\epsilon}^n = 1000i \cdot l_{\epsilon} \cdot 1,15/1000 = 0,842 \cdot 30 \cdot 1,15/1000 = 0,03 \text{ м.}$$

При диаметре полиэтиленового напорного трубопровода 450 мм (п. 4.2), состоящего из двух линий, длина которых 2000 м (задание), потери h_n^n определяются по (39). Значение $1000i$ принимаем по таблицам Шевелёвых для $Q_{nc}^n/2 = 264,38 \text{ л/с}$ (две параллельные линии).

$$h_n^n = 1000i_n \cdot l_n \cdot 1,1/1000 = 7,98 \cdot 2000 \cdot 1,1/1000 = 17,56 \text{ м.}$$

Потери напора в коммуникациях насосной станции h_k в (41) были приняты 2 м. Увеличение потерь напора при повышении расхода от Q_p до Q_{nc}^n можно принять пропорционально квадрату увеличения расхода.

$$h_k^n = (Q_{nc}^n/Q_p)^2 \cdot h_k = (528,75/453,75)^2 \cdot 2 = 2,72 \text{ м.}$$

Подставляем полученные компоненты в (45):

$$H^n = 26 + 0,03 + 2,72 + 17,56 + 15 = \mathbf{61,31 \text{ м.}}$$

Режим работы насосной станции при пожаротушении следует устанавливать по графику совместной работы насосов и трубопроводов. Характеристика трубопроводов строится путем определения требуемых напоров по формуле (41).

Возможны три варианта режимов работы насосной станции при подаче воды на пожаротушение:

1. Необходимый расход Q_{nc}^n подается основными рабочими насосами за счёт снижения напоров в сети (рис. 9, а). Снижение статического напора в диктующей точке сети при пожаре ΔH определяют параллельным переносом характеристики трубопроводов.

В нашем примере точка с заданными параметрами составляет $Q_{nc}^n = 528,75 \text{ л/с}$ и $H^n = 61,31 \text{ м}$, что крайне незначительно (около 1 м) превышает возможности по напору подобранных нами хозяйственно-питьевых насосов Wilo-SCP 200/460 НА с диаметром рабочего колеса 458 мм. Возможно в данной ситуации обойтись хозяйственно-питьевыми насосами. Можно предложить снизить потери напора в водоводах на 1 м путём увеличения их диаметра на сортament. Второй вариант

– незначительно увеличить частоту вращения рабочего колеса насосов при пожаре до необходимой величины.

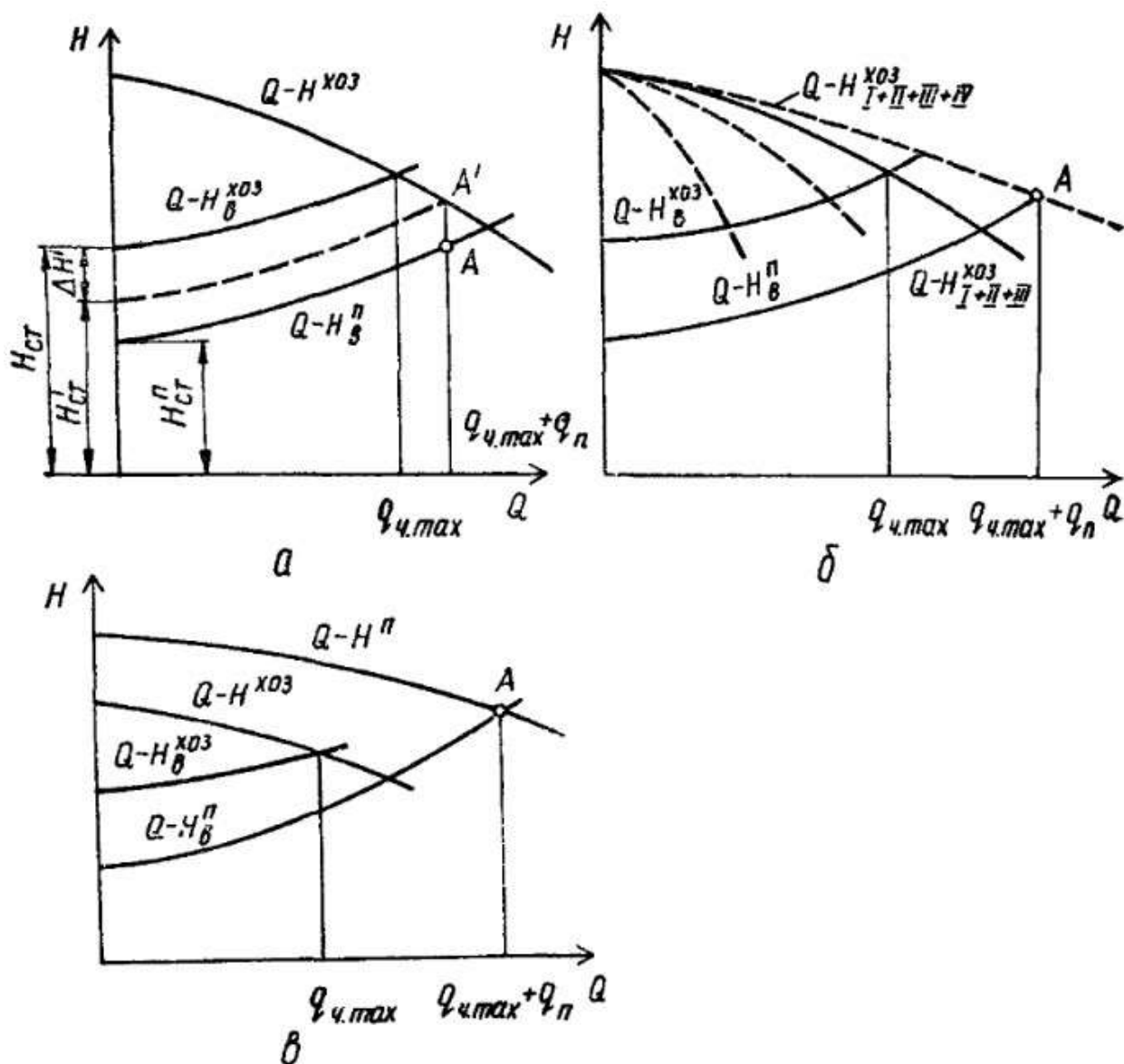


Рисунок 9. Характеристика работы насосной станции при тушении пожара: а – основными рабочими насосами, б – основными и дополнительными насосами, в – специальными противопожарными насосами.

2. Расход $Q_{нс}^n$ подается включением одного-двух дополнительных насосов того же типоразмера, что и хозяйственные (рис. 9б). При этом соответственно увеличивается число насосов в насосной станции. Число резервных насосов принимается в соответствии с нормами.

Для нашего примера этот вариант тоже подходит (рис. 10). В виду того, что недостаток напора для целей пожаротушения очень мал – около 1 м – то установка дополнительного насоса может быть менее целесообразна, чем мероприятия предложенные выше.

3. Если необходимый напор для пожаротушения больше напора, развиваемого хозяйственными насосами, и невозможно решить задачу включением дополнительных насосов, следует устанавливать пожарные насосы требуемого напора H^n с суммарной подачей $Q^n_{нс}$ с (рис. 9в). При работе пожарных насосов хозяйственные отключают. Для группы пожарных насосов предусматривается один резервный.

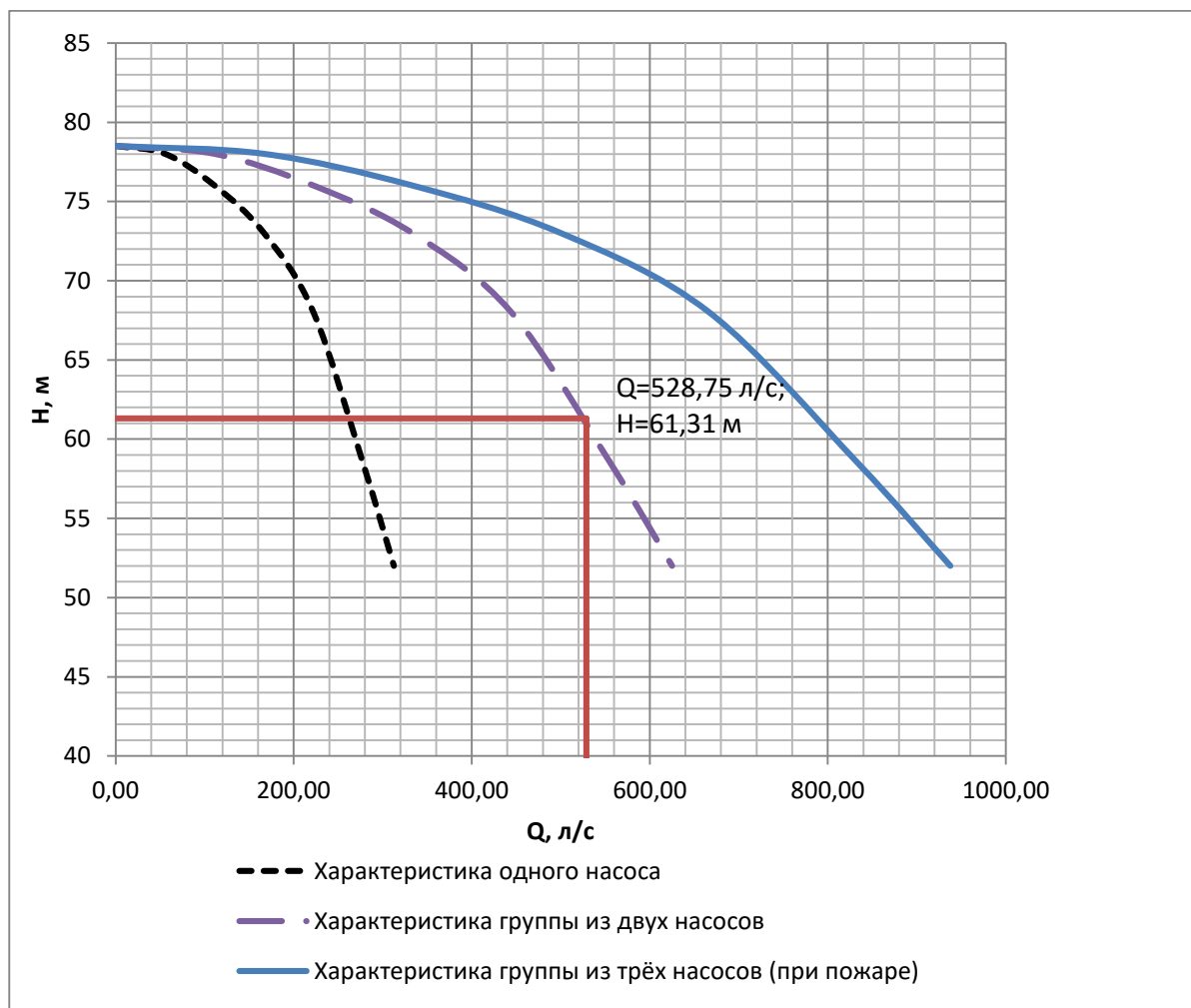


Рисунок 10. Характеристика работы насосной станции при пожаре с одним дополнительным (третьим) насосом Wilo-SCP 200/460 НА.

Вполне возможно обойтись хозяйственными насосами.

10. ОПИСАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ, КРИТЕРИИ И НОРМЫ ОЦЕНКИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100 – балльную/процентную систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (табл. 14).

Система и критерии оценивания

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100%
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2 Работа с информацией	Не в состоянии найти необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи

Система оценок	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100%
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Курсовая работа оценивается по шкале: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» по результатам защиты. К защите допускается работа после проверки преподавателем, устранения всех замечаний. Защита производится в виде устных ответов на вопросы по выполненной работе. Объем и содержание работы определен данным пособием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 31.13330.2021 (СНиП 2.04.02-84). Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
2. Карасёв, Б.В. Насосные и воздухоудные станции: учебник для вузов / Б.В. Карасёв. – Мн.: Выш. шк., 1990.-326 с.
3. Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. - 2-е изд, перераб. и доп.: учеб. пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. - М.: Изд-во АСВ, 2003. - 288 с.
4. Залуцкий, Э.В. Насосные станции. Курсовое проектирование / Э.В. Залуцкий, А.И. Петрухно. – К.: Вища шк., Головное изд-во, 1987. – 167 с.
5. Шевелёв, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчёта водопроводных труб: справ. пособие. – 7-е изд., перераб. и доп. / Ф.А. Шевелёв, А.Ф. Шевелёв.– М.: Стройиздат, 1995. – 176 с.
6. Захлевный, К.К. Проектирование водопроводной насосной станции второго подъёма: методические указания / К.К. Захлевный, Ф.М. Дюсметов, Ф.Ш. Прокурат. – Алма-Ата: Изд-во НМК, 1984. - 66 с.
7. Балыгин, В.В. Насосы: каталог-справочник / В.В. Балыгин, А.Н. Крыжановский. – Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 1999. - 97 с.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дячек, П. И. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. пособие / П. И. Дячек. - Москва: АСВ, 2011. - 432 с. – ISBN 978-5-93093-784-8.
2. Поляков В. В. Насосы и вентиляторы: учеб. / В. В. Поляков; соавт. Скворцов Л.С. - Москва: Стройиздат, 1990. – 335 с.
3. Калинушкин М. П. Насосы и вентиляторы: учеб. пособие / М. П. Калинушкин, 6-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 1987. – 176 с.
4. Выскребцов В. Г. Гидромеханика в новом изложении / В. Г. Выскребцов. Москва: Компания Спутник+, 2001. - 262 с. – ISBN 5-93406-126-7.
5. Гидромеханика и водные ресурсы: сб. науч. трудов / Калинингр. гос. техн. ун-т; [редкол.: В. А. Наумов (отв. ред.) [и др.]]. - Калининград: КГТУ, 2001.- 85 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

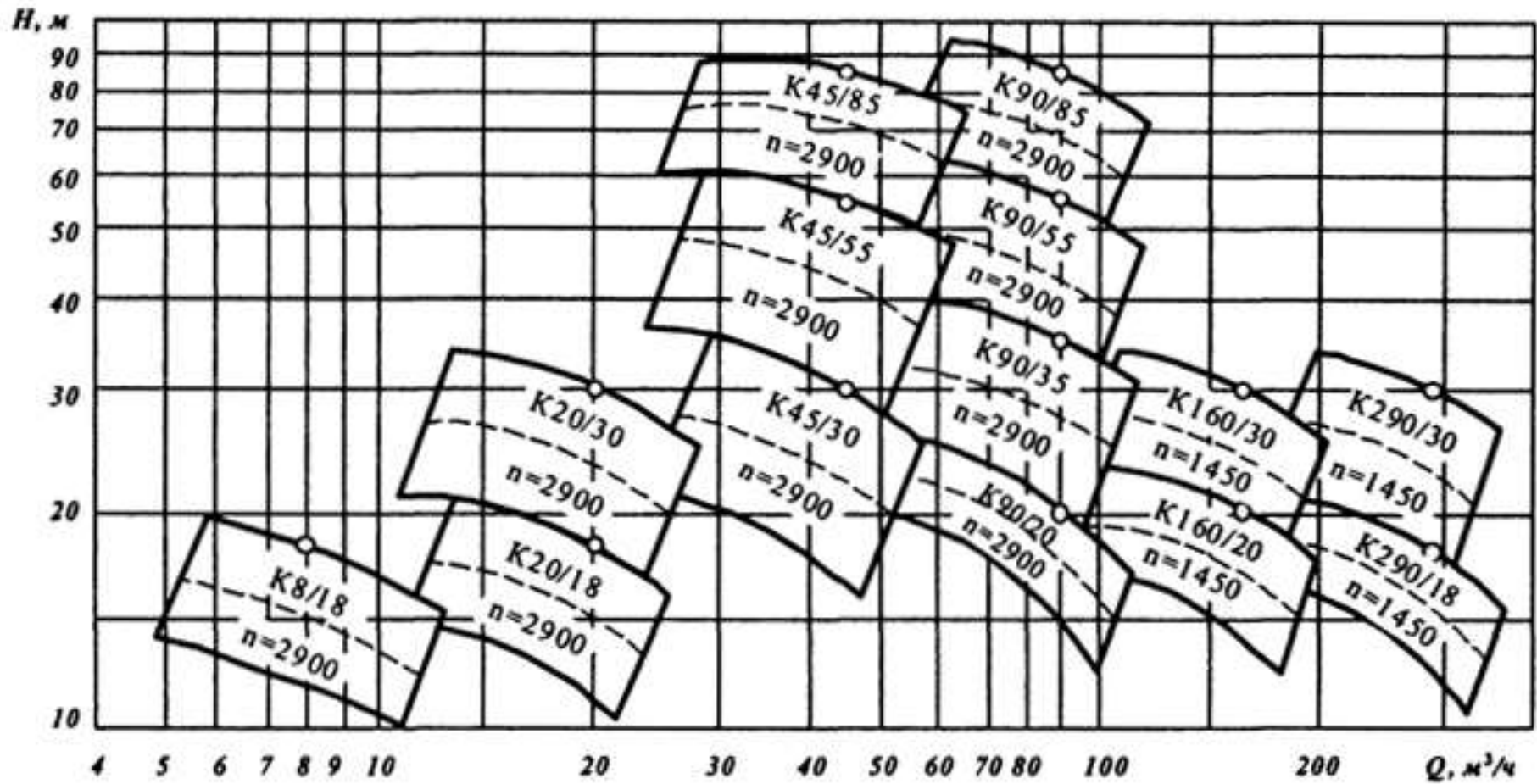
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

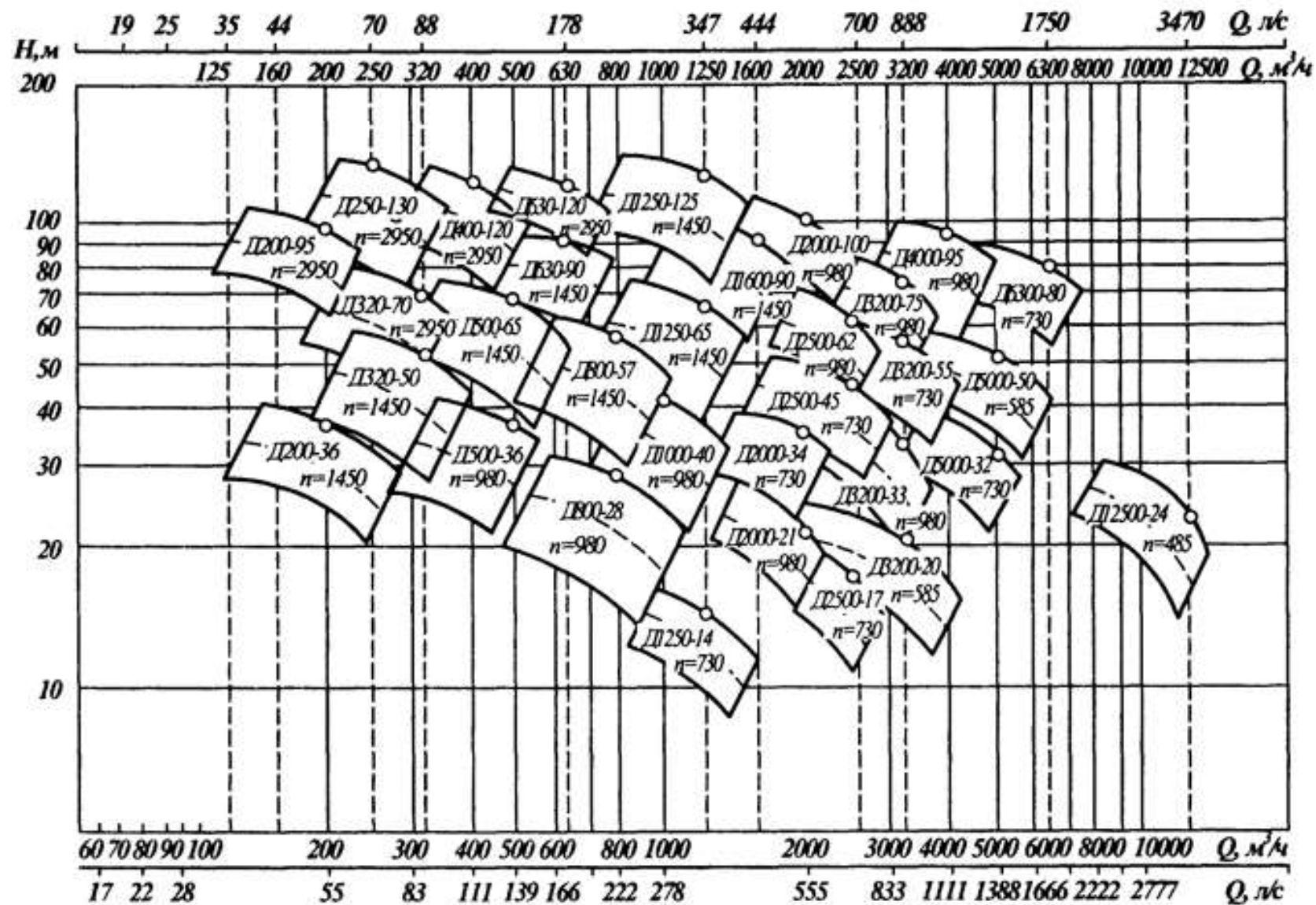
Распределение суточного расхода воды по часам суток, %

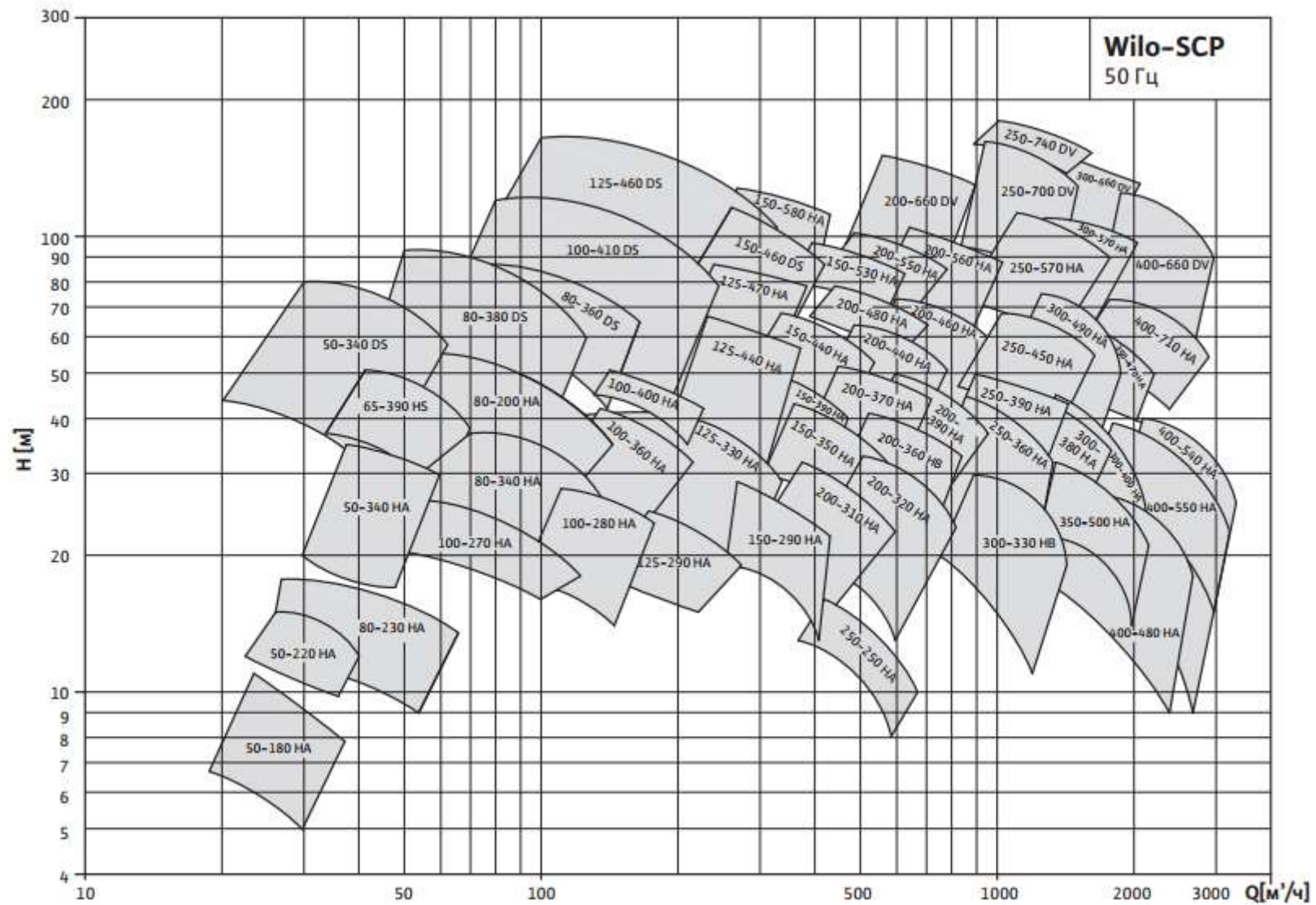
Часы су- ток	Расходы по населённым пунктам при коэффициенте часовой неравномерности водопотребления											
	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,7	1,8	1,9	2	2,5
0-1	3,5	3,35	3,2	3	2,5	2	1,5	1	0,9	0,85	0,75	0,6
1-2	3,45	3,25	3,1	3,2	2,65	2,1	1,5	1	0,9	0,85	0,75	0,6
2-3	3,45	3,30	3,2	2,5	2,2	1,85	1,5	1	0,9	0,85	1	1,2
3-4	3,4	3,20	3,2	2,6	2,25	1,9	1,5	1	1	1	1	2
4-5	3,4	3,25	3,2	3,5	3,2	2,85	2,5	2	2,35	2,7	3	3,5
5-6	3,55	3,4	3,4	4,1	3,9	3,7	3,5	3	3,85	4,7	5,5	3,5
6-7	4	3,85	3,8	4,5	4,5	4,5	4,5	5	5,2	5,35	5,5	4,5
7-8	4,4	4,45	4,6	4,9	5,1	5,3	5,5	6,5	6,2	5,85	5,5	10,2
8-9	5	5,2	5,4	4,9	5,35	5,8	6,25	6,5	5,5	4,5	3,5	8,8
9-10	4,8	5,05	5	5,6	5,85	6,05	6,25	5,5	4,85	4,2	3,5	6,5
10-11	4,7	4,85	4,8	4,9	5,35	5,8	6,25	4,5	5	5,5	6	4,1
11-12	4,55	4,6	4,6	4,7	5,25	5,7	6,25	5,5	6,5	7,5	8,5	4,1
12-13	4,55	4,6	4,5	4,4	4,6	4,8	5	7	7,5	7,9	8,5	3,5
13-14	4,45	4,55	4,4	4,1	4,4	4,7	5	7	6,7	6,35	6	3,5
14-15	4,6	4,75	4,6	4,1	4,6	5,05	5,5	5,5	5,35	5,2	5	4,7
15-16	4,6	4,7	4,6	4,4	4,6	5,3	6	4,5	4,65	4,8	5	6,2
16-17	4,6	4,65	4,4	4,3	4,9	5,45	6	5	4,5	4	3,5	10,4
17-18	4,3	4,35	4,3	4,1	4,6	5,05	5,5	6,5	5,5	4,5	3,5	9,4
18-19	4,35	4,4	4,4	4,5	4,7	4,85	5	6,5	6,3	6,2	6	7,3
19-20	4,25	4,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5	5,35	5,7	6	1,6
20-21	4,25	4,3	4,5	4,5	4,4	4,2	4	4,5	5	5,5	6	1,6
21-22	4,15	4,2	4,8	4,8	4,2	3,6	3	3	3	3	3	1
22-23	3,9	3,75	3,8	4,6	3,7	2,85	2	2	2	2	2	0,6
23-24	3,80	3,7	3,7	3,3	2,7	2,1	1,5	1	1	1	1	0,6
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Сводные графики полей насосов







ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Пример оформления титульного листа

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра строительства

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Насосные и воздухоудвнные станции»

Тема «Расчёт технологической часть насосной станции второго подъёма»

КР 08.03.01.ХХ¹ВВ.ХХ²

Работу выполнил
Ф.И.О. студента полностью
Работу проверил
Ф.И.О. преподавателя

Калининград 20__

¹ Номер группы

² Номер варианта

Учебное издание

Андрей Юрьевич Плавич
Игорь Станиславович Александров

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

Редактор Г.А. Смирнова

Подписано в печать 22.06.2022 г. Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 3,4.
Печ. л. 3,4. Тираж 26 экз. Заказ № 48.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1