

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт (филиал) Институт дистанционного образования
Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине
«Насосы и насосные станции»

Тема:
«Водопроводная насосная станция 2-го подъема»

Выполнил обучающийся

_____ (институт (филиал), курс, группа, Фамилия И.О.)

Руководитель курсового проекта

_____ (ученое звание, ученая степень, должность, Фамилия И.О.)

К защите

_____ (дата, подпись руководителя)

Курсовой проект защищен
с оценкой

_____ (оценка цифрой и прописью)

Руководитель курсового проекта

_____ (дата, подпись руководителя)

Председатель аттестационной
комиссии

_____ (должность, Фамилия И.О.)

Члены комиссии:

_____ (дата, подписи членов комиссии)

г. Москва
20__ г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт (филиал) Институт дистанционного образования

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

Дисциплина «Насосы и насосные станции»

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

ФИО обучающегося _____

Курс, группа _____

1. Тема курсового проекта «Водопроводная насосная станция 2-го подъема»

2. Исходные данные к курсовому проекту:

1. Название и назначение насосной станции: насосная станция 2-го подъема городского водопровода.

2. Тип станции: полуавтоматическая с собственным диспетчерским пунктом.

3. Среднесуточная подача станции:

- проектная 36000 м³/сут;

- на первую очередь 27000 м³/сут.

4. Расход воды на наружное пожаротушение: 3 пожара по 55 л/с.

5. Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $K_{ч}$ _____

6. Тип системы водоснабжения: с водонапорной башней в начале сети.

7. Вода забирается: из резервуара чистой воды.

8. Длина всасывающих линий – 50 м.

9. Длина напорных водоводов – 3000 м.

10. Число напорных водоводов – 2

11. Количество часов работы насосной станции в сутки – 24 ч.

12. Отметки:

• дна РВЧ – 110 м

• уровня противопожарного запаса в РЧВ – 112 м

• максимального уровня воды в РЧВ – 115 м;

• земли в месте расположения насосной станции – 114 м;

• земли в месте расположения водонапорной башни – 125 м;

13. Высота водонапорной башни – 23 м.

14. Этажность застройки – 5 этажей.

15. Необходимый свободный напор в точке примыкания водоводов к распределительной сети при пожаротушении – 12 м.

16. Глубина промерзания – 1,4 м.

17. Глубина заложения грунтовых вод – 6 м.

18. Виды грунтов на месте строительства станции – суглинки.

19. Напряжение подводимой электроэнергии – 3 кВ.

3. Содержание текстовой части (перечень подлежащих решению задач)

1. Исходные данные для проектирования объекта
2. Расчетные расходы воды водопотребления / водоотведения.
3. Подача и количество насосов насосной станции. Объем регулирующей емкости водонапорной башни.
4. Расчетный напор насосной станции.
5. Предварительный подбор насосов и электродвигателей.
6. Оценки энергетических параметров насосов, водоводов и графические построения их характеристик при расчетных режимах работы.
7. Оценка обеспечения подачи воды при аварии на водоводах.
8. Уточнения режима работы насосной станции при выбранных марках насосов.
9. Подбор трансформаторов.
10. Техничко-экономические показатели работы насосной станции.
11. Выбор подъемно-транспортного оборудования насосной станции.
12. Вспомогательные системы насосной станции.
13. Выбор водомеров.
14. Внутренние санитарно-технические системы.
15. Конструкции и стандартные размеры частей здания и помещений.

4. Перечень графического материала (с указанием обязательных материалов)

Графическая часть – один лист формата А1.

Лист 1. План и разрезы здания насосной станции (масштаб 1:100). Экспликация. Схема подачи воды (ситуационный план местности с указанием расположения насосной станции, резервуаров чистой воды, камер расходомеров, очистных сооружений и соединяющих трубопроводов (М 1:500)).

График выполнения курсового проекта:

№	Наименование этапа выполнения курсового проекта	Срок выполнения	Процент выполнения курсового проекта, %
1	Выполнение разделов 1-5 пояснительной записки		40
2	Выполнение разделов 6-15 пояснительной записки		80
3	Оформление графической части и пояснительной записки.		99
4	Загрузка файлов(а) КП в ЛКС		100

Дата выдачи задания _____

Срок представления КП руководителю – последняя неделя периода теоретического обучения семестра.

Обучающийся

(подпись)

Руководитель

(подпись)

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Анализ исходных данных по объекту проектирования	3
2. Расчетные расходы водопотребления	4
3. Подача и количество насосов насосной станции, объем регулирующей емкости водонапорной башни.....	5
4. Расчетный напор насосной станции.....	9
5. Предварительный подбор насосов и электрических двигателей	13
6. Оценки энергетических параметров насосов, водоводов и графические построения их характеристик при расчетных режимах работы	16
7. Оценка обеспечения подачи воды потребителям на 1-ю очередь строительства системы водоснабжения и при аварии на водоводах.....	21
8. Уточнение режима работы насосной станции при выбранных марках насосов.	22
9. Подбор трансформаторов.....	23
10. Техничко-экономические показатели работы насосной станции	25
11. Выбор подъемно-транспортного оборудования.....	26
12. Вспомогательные системы насосной станции	27
13. Выбор водомеров	27
14. Внутренние санитарно-технические системы.....	28
15. Конструкции и стандартные размеры частей зданий и помещений	28
Библиографический список.....	29

1. Анализ исходных данных по объекту проектирования

Объектом проектирования является насосная станция 2-го подъема системы водоснабжения, которая забирает воду из резервуара чистой воды и подает ее по водоводам в городскую распределительную сеть. Схема подачи воды представлена на рис. 1.

1.

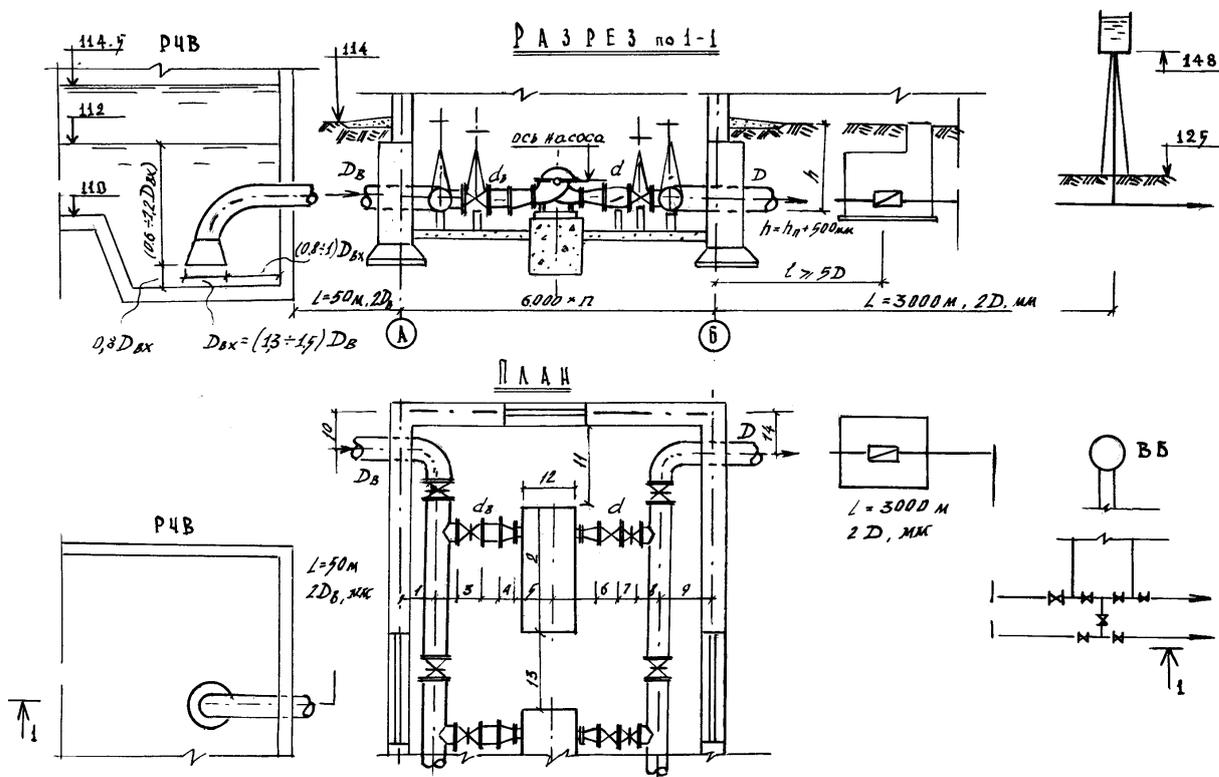


Рис. 1. Схема подачи воды в распределительную сеть: 1, 2, 3 ... 14 – размеры, привязки

Городская распределительная сеть системы водоснабжения имеет регулируемую емкость – водонапорную башню, расположенную в начале распределительной сети. Система водоснабжения предусматривается для обеспечения потребителей города водой на хозяйственно-питьевые и противопожарные нужды. Число жителей в городе 300 тыс. чел.

Застройка – 5-этажные здания. Предполагается возможность трех пожаров в городе одновременно.

Расход воды на тушение каждого пожара $q_{\text{пож}} = 55 \text{ л/с}$.

Средний расход воды в городе на I очередь развития $Q_1 = 27000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Проектный (средний за год) расход воды в городе (на II очередь) $Q_2 = 36000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Длина напорных водоводов $L_{\text{н}} = 3000 \text{ м}$, всасывающих – $L_{\text{в}} = 50 \text{ м}$.

Отметка дна резервуара чистой воды (РЧВ) – 110 м.

Отметка уровня противопожарного запаса воды в РЧВ – 112 м.

Отметка дна бака водонапорной башни составляет 148 м.

Отметка земли в точке подключения водоводов к сети – 125 м.

Свободный напор в точке подключения водоводов к сети при пожаротушении – 12 м.

Согласно СП 31.13330-2012 насосная станция 2-го подъема относится к 1-й категории надежности (п.10.1 СП 31.13330-2012).

Место строительства – центральная часть России. Глубина промерзания – 1,4 м. Грунтовые воды – не агрессивные и наблюдаются на глубине 6 м от поверхности земли. Грунты – суглинки. Напряжение в системе энергоснабжения – $U=3000$ В.

На основании анализа исходных данных и требований СП 31.13330-2012 предусматривается типовая незаглубленная насосная станция. Размеры проектируемой станции уточняются в зависимости от количества, марок и размеров применяемого на ней оборудования.

2. Расчетные расходы водопотребления

Подача воды насосной станцией принимается в зависимости от расчетных расходов воды потребителя (города) в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления (СП 31.13330-2012). При анализе исходных данных и нормативных требований установлено, что коэффициенты суточной неравномерности водопотребления: $K_{сут}^{max} = 1,2$ и $K_{сут}^{min} = 0,7$.

Для I очереди развития водопровода:

$$Q_{сут}^{max} 1 = 27000 \cdot 1,2 = 32400 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q_{сут}^{min} 1 = 27000 \cdot 0,7 = 18900 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Для II очереди развития водопровода (на расчетный период):

$$Q_{сут}^{max} = 36000 \cdot 1,2 = 43200 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q_{сут}^{min} = 36000 \cdot 0,7 = 25200 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

На этапе учебного проектирования насосной станции рассматривается случай только максимального хозяйственного водопотребления в городе.

Расчетные часовые расходы воды определяются с учетом коэффициентов часовой неравномерности.

Расчетный расход воды потребителями в максимальный час определяется по формуле

$$q_q^{max} = k_q^{max} \frac{Q_{сут}^{max}}{24} .$$

Анализируя исходные данные и нормативные требования (см. п. 5.2 СП 31.13330-

2012), определим $k_{\text{час}}^{\text{max}} = 1,25$. Соответственно расчетные расходы воды в городе на хозяйственно-питьевые нужды составляют:

для I очереди строительства:

$$q_{\text{час I}}^{\text{max}} = 1,25 \cdot 32400 / 24 = 1687,5 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } q_{\text{хозI}}^{\text{max}} = 1687,5 / 3,6 = 469 \text{ л/с};$$

для II очереди строительства:

$$q_{\text{час II}}^{\text{max}} = 1,25 \cdot 43200 / 24 = 2250 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } q_{\text{хозII}}^{\text{max}} = 2250 / 3,6 = 625 \text{ л/с}.$$

Все дальнейшие расчеты приводятся ниже для II очереди развития города и строительства водопроводной системы.

При пожаротушении в городе насосная станция (см. СП) должна подавать:

$$Q_{\text{н. ст. х.п. + пож}} = q_{\text{х.п.}}^{\text{max}} + q_{\text{пож}},$$

т.е. расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды и на тушение пожаров (по заданию, в жилых 5 этажных домах пожарные краны не устанавливаются).

$$\text{По заданию: } q_{\text{пож}} = 55 \cdot 3 = 165 \text{ л/с}.$$

Подача воды насосной станцией на хозяйственно-питьевые нужды и тушение пожаров составляет

$$Q_{\text{н. ст. х.п.+пож}} = q_{\text{х.п.}}^{\text{max}} + q_{\text{пож}} = 625 + 165 = 790 \text{ л/с}.$$

3. Подача и количество насосов насосной станции, объем регулирующей емкости водонапорной башни.

В целях обеспечения условий взаимозаменяемости оборудования на насосной станции устанавливаются однотипные насосные агрегаты. Подача каждым насосом и количество агрегатов на насосной станции назначаются в зависимости от режимов водопотребления, условий совместной работы насосов и регулирующих емкостей, категории надежности насосной станции (см. пп. 10.1- 10.3. СП).

Минимальное количество насосных агрегатов на насосной станции должно быть

$$m + n \geq 2 + n,$$

где m - количество рабочих агрегатов;

n - количество резервных агрегатов.

Учитывая, что максимальная регулирующая емкость водонапорной башни обычно не превышает емкости стандартной водонапорной башни $W_{\text{р.баш}} \leq 800 \dots 1400 \text{ м}^3$, максимальная подача насосной станции назначается в пределах

$$Q_{\text{н.ст.}}^{\text{max}} \geq (q^{\text{max}} - q_{\text{в.баш.}}),$$

где $q_{\text{в.башни}}$ - поступление воды в сеть из бака водонапорной башни, л/с;

q^{max} - максимальный расход воды в городе, л/с.

Если за 100% принять суточный расход воды в городе, т.е.

$$Q_{сут}^{max} = 43200 \text{ м}^3/\text{сут}, \text{ а емкость регулирующего бака водонапорной}$$

башни принять равной $W_{р.баш} = 800 \text{ м}^3$, то, составив пропорцию

$$43200 - 100\%, \quad 800 - x\%, \quad \text{найдем: } x = 800 \cdot 100 / 43200 = 1,85\%.$$

Из этого расчета следует, что регулирующий объем бака водонапорной башни не должен превышать 1,85 %.

Анализируя график режима водопотребления (рис. 2), составленный по данным табл. 1 приложения, представим режим работы насосной станции с тремя однотипными рабочими насосами по часам суток в табличном виде (табл. 1).

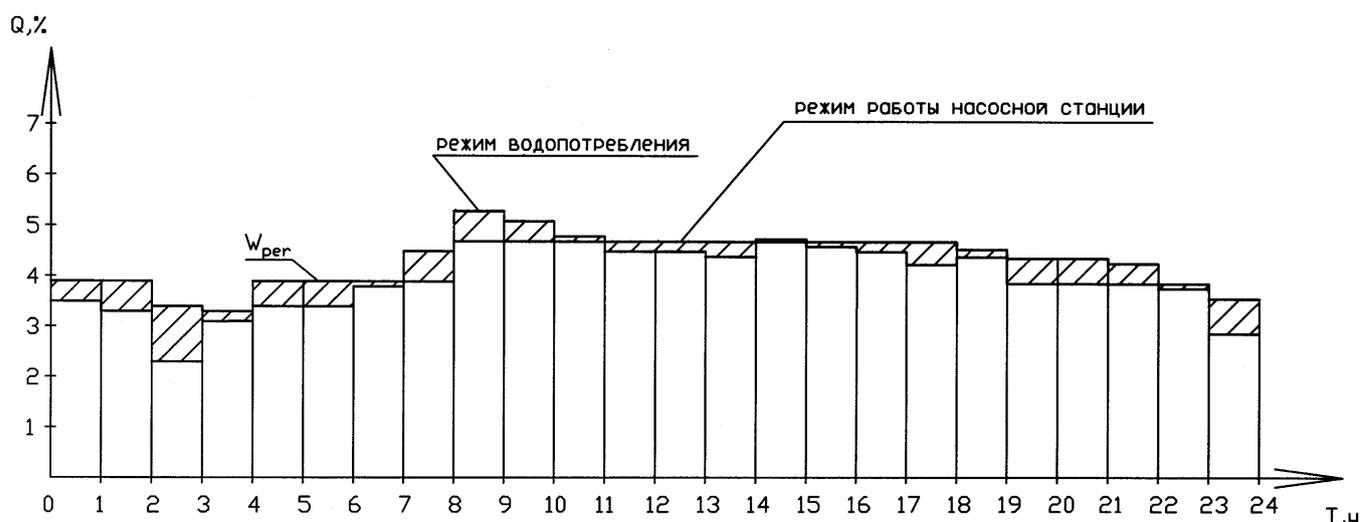


Рис. 2. График совместных режимов водопотребления и подачи воды насосной станцией 2-го подъема

Таблица 1

Суточный баланс воды, % от $Q_{сут}$

Часы суток	Водопотребление, % от $Q_{сут}$	Подача, $Q_{нас. ст.}$, %	Поступление, %		Остаток воды в баке $W_{рег.}$, %	Режим работы насосов
			в бак	из бака		
0-1	3,35	3,4	0,05	-	0,05	2 насоса
1-2	3,25	3,4	0,15	-	0,2	То же
2-3	3,3	3,4	0,1	-	0,3	“
3-4	3,2	3,4	0,2	-	0,5	“
4-5	3,25	3,4	0,15	-	0,65	“
5-6	3,4	3,4	-	-	0,65	“
6-7	3,85	3,55	-	0,3	0,35	2 нас. – 54мин, 3 нас. – 6 мин
7-8	4,45	4,8	0,35	-	0,7	3 насоса
8-9	5,2	4,8	-	0,4	0,3	То же
9-10	5,05	4,8	-	0,25	0,05	“
10-11	4,85	4,8	-	0,05	0	“
11-12	4,6	4,8	0,2	-	0,2	“
12-13	4,6	4,8	0,2	-	0,4	“
13-14	4,55	4,8	0,25	-	0,65	“
14-15	4,75	4,8	0,05	-	0,7	“
15-16	4,7	4,8	0,1	-	0,8	“
16-17	4,65	4,8	0,15	-	0,95	“

17-18	4,35	4,8	0,45	-	1,4	“
18-19	4,4	3,8	-	0,6	0,8	2 нас. – 43 мин, 3 нас. – 17 мин
19-20	4,3	4,3	-	-	0,8	2 нас. – 21 мин, 3 нас. – 39 мин
20-21	4,3	4,8	0,5	-	1,3	3 насоса
21-22	4,2	3,4	-	0,8	0,5	2 насоса
22-23	3,75	3,4	-	0,35	0,15	“
23-24	3,7	3,55	-	0,15	0	2 нас. – 54 мин, 3 нас. – 6 мин
Итого:	100%	100%	2,9%	2,9%	-	-

Примечания.

1. В период с 6 до 7 часов работают два и три насоса по минутам.
2. Цветом выделены максимальный час водопотребления и максимальный регулирующий объем бака.

Допустим, что три параллельно работающих насоса подают в час 4,8 % от $Q_{\text{сут}}^{\text{max}}$, а превышения расхода воды в сети города или избыточные подачи воды насосной станцией в течение суток компенсируются регулирующей емкостью водонапорной башни.

Определим подачи насосов при их совместной работе: Q_1, Q_{1+2}, Q_{1+2+3} .

Если $Q_{\text{н. ст}} = 4,8 \%$, т.е. $Q_{1+2+3} = 4,8 \%$, то подача одного насоса составит

$$Q_1 = \frac{Q_{\text{н. ст}}}{m} k_p = \frac{4,8\%}{3} \cdot 1,18 = 1,9\%,$$

где k_p - коэффициент, учитывающий увеличение подачи насосной станции при отключении из работы двух насосов (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты, учитывающие увеличение подачи насосной станции при отключении из параллельной работы насосов

Количество насосов, отключаемых из работы m	1	2	3
k_p	1,11	1,18	1,25

Подача двух параллельно работающих насосов:

$$Q_{1+2} = 1,9\% \cdot 2 \cdot 0,9 = 3,4 \%,$$

$$\text{где } 0,9 = \frac{1}{k_{p1}} = \frac{1}{1,11}.$$

Из табл. 1 видно, что при совместной работе насосной станции и водонапорной башни потребители обеспечиваются водой по часам суток (регулирующая емкость бака на башне не превысит 1,85%).

Расчет времени работы насосов по минутам в течение часа выполняется по следующей методике.

Допустим, что “ x ” долю часа работают 2 насоса с $Q_{1+2} = 3,4\%$, а в остальное время, т.е. $(1-x)$ часа – работают 3 насоса с $Q_{1+2+3} = 4,8\%$:

$$3,55 = 3,4 \cdot x + 4,8 (1 - x);$$

$x = 54$ мин, а в остальное время часа, т.е. 6 мин, работают 3 насоса.

Аналогично: с 18-19 часов: 2 насоса работают 43 минуты, а 3 насоса – 17 минут;
с 19-20 часов: 2 насоса работают 21 минуту, а 3 насоса – 39 минут;
с 23-24 часов: 2 насоса работают 54 минуты, а 3 насоса – 6 минут.

Определим подачу насосной станции при расчетных режимах водопотребления для случая максимального хозяйственного водопотребления.

Проектная подача насосной станции

$$Q_{\text{н.ст}}^{\text{max}} = 43200 \cdot 4,8 / 100 = 2073,6 \text{ м}^3/\text{ч} = 2073,6 : 3,6 = 576 \text{ л/с} < 625 \text{ л/с}$$

Определим подачу насосной станции при расчетных режимах водопотребления для случая максимального хозяйственного водопотребления.

Проектная подача насосной станции

$$Q_{\text{н.ст}}^{\text{max}} = 43200 \cdot 4,8 / 100 = 2073,6 \text{ м}^3/\text{ч} = 2073,6 : 3,6 = 576 \text{ л/с} < 625 \text{ л/с},$$

т.е. в час максимального хозяйственного водопотребления часть воды подается в сеть из водонапорной башни.

Подача воды в сеть каждым насосом, при совместной работе насосов и водоводов:

$$Q_{1+2} = 192 \cdot 2 \cdot 0,9 = 345,6 \approx 346 \text{ л/с}.$$

Согласно СП 31.13330-2012, в баке водонапорной башни необходимо дополнительно с регулирующим объемом хранить 10-минутный противопожарный запас воды на тушение одного внутреннего и одного наружного пожара (на время включения противопожарных насосов в работу)

$$W_{\text{пож}} = (55 + 5) \cdot 60 \cdot 10 / 1000 = 36 \text{ м}^3.$$

Общая емкость бака $W_{\text{б}} = W_{\text{рег}} + W_{\text{пож}}$;

$$W_{\text{рег}} = 1,4 \% \cdot 43200 / 100 = 604,8 \text{ м}^3,$$

где 1,4% - максимальный остаток в баке, определяемый по табл. 1,

$$W_{\text{б}} = 604,8 + 36 = 640,8 \text{ м}^3.$$

Габариты цилиндрического бака (рис. 3) принимаются из соотношения:

$$H / D = 0,6 \div 0,7,$$

где H , D – высота и диаметр бака, м;

S – площадь бака;

$$W_{\text{рег}} = S / H = (\pi D^2) / 4 \cdot H;$$

$$640,8 = (\pi D^2) / 4 \cdot 0,6 D;$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{640,8 \cdot 4}{0,6 \cdot 3,14}} = 11 \text{ м}; H = 0,6 \cdot 11 = 6,6 \text{ м}$$

т.е. максимальный уровень воды в баке может достигать 6,6 м.

Принимается: $D = 11 \text{ м}$, $H = 7 \text{ м}$

($\Delta H = 7 - 6,6 = 0,4 \text{ м}$ – запас на циркуляцию воздуха),

$$W_{\text{пер}} = (3,14 \cdot 11^2 \cdot 7) / 4 \approx 665 \text{ м}^3.$$

К часу максимального хозяйственного водопотребления в городе, т.е. к 8-9 часам утра, объем воды в баке составит (см. табл. 1) 0,7 % от суточного расхода воды по городу, т.е. $W_{\text{пер}} = 0,7 \% \cdot 43\,200 / 100 = 302,4 \text{ м}^3$. С учетом противопожарного запаса воды общий объем воды в баке составит: $W_{\text{пер}} = 302,4 + 36 = 338,4 \text{ м}^3$. В данный час вода в город поступает от насосной станции и водонапорной башни.

При $D = 11 \text{ м}$ уровень воды в баке водонапорной башни к этому часу будет занимать отметку (от дна бака) :

$$H_{\text{о}} = \frac{W}{S} = \frac{338,4 \cdot 4}{3,14 \cdot 11^2} = 3,56 \approx 3,6 \text{ м}.$$

Потерями напора в водоводах от водонапорной башни пренебрегаем.

4. РАСЧЕТНЫЙ НАПОР НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Полный расчетный напор насосов определяется для режима максимального хозяйственного водопотребления в городе, когда подача насосной станции $Q_{\text{нас.ст}} = 576 \text{ л/с}$.

Согласно СП 31.13330-2012, для насосной станции 1-й категории необходимо принимать как минимум два всасывающих и два напорных водовода, что и делается в проекте.

Подача воды по каждому водоводу $Q_{\text{вод}} = 288 \text{ л/с}$.

$$H = H_{\Gamma} + \sum h + h_{\text{зап}},$$

где H - расчетный напор насосов, м;

$\sum h$ - потери напора в трубопроводах по длине и на местные сопротивления, м;

$h_{\text{зап}}$ - запас на потери напора в коммуникациях насосной станции, м; $h_{\text{зап}} = 2 \div 3,5$;

H_{Γ} - геометрическая высота подъема воды, м;

$$H_{\Gamma} = Z_{\text{б}} - Z_{\text{р.ч.в}} + H_{\text{б}} + H_{\text{св}}.$$

Здесь $H_{\text{б}}$ - высота уровня воды в баке, м;

$H_{\text{св}}$ - свободный напор на излив воды, м; $H_{\text{св}} = 1 \text{ м}$;

$Z_{\text{б}}$ - отметка дна бака водонапорной башни, м;

$Z_{\text{р.ч.в}}$ - отметка расчетного уровня воды в резервуаре чистой воды*, м;

$$H_{\Gamma} = 148 - 112 + 3,6 + 1 = 40,6 \text{ м}.$$

* Отметка расчетного уровня воды в резервуаре чистой воды принимается на 1-2 м выше дна, с учетом того, что ниже данной отметки хранится аварийный запас воды на хозяйственно-бытовые и противопожарные нужды.

При пожаротушении $H_r^{\text{пож}} = 125 - 110 + 12 = 27$ м,

где 125 – отметка поверхности земли в точке подключения водоводов к распределительной сети (диктующей точке), м;

110 – отметка дна резервуара чистой воды, м;

12 – свободный напор, м.

Потери напора в трубопроводах определяются по формулам

$$\Sigma h = h_{\text{вс}} + h_{\text{нап}} + h_{\text{нас.ст}};$$

$$h_{\text{вс}} = 1,2 \cdot i \cdot L + 1,5;$$

$$h_{\text{нап}} = 1,1 \cdot i \cdot L + 2 \div 5,$$

где $h_{\text{вс}}$, $h_{\text{нап}}$, $h_{\text{нас.ст}}$ – потери напора во всасывающей, напорной линиях и в коммуникациях насосной станции (1,5; 2...5 м);

$i = A \cdot Q^2 \cdot k$ – гидравлический уклон, здесь i – принимаются по таблицам для гидравлического расчета водопроводных труб с внутренним цементно-песчаным покрытием [2], либо A и k по табл. ПЗ, П4 приложения настоящего методического указания;

Q – расход воды по трубопроводу, м³/с;

L – длина водовода, м.

Для определения потерь напора при движении воды от резервуаров чистой воды до точки подачи необходимо составить схему всасывающих и напорных трубопроводов, выбрать материал труб и соединительных деталей.

В проекте принимается:

- трубопроводы всасывающие и внутри насосной станции стальные с внутренним цементно-песчаным покрытием;
- напорные водоводы (могут монтироваться из различных труб) принимаются из стальных труб с внутренним цементно-песчаным покрытием;
- запорно-регулирующая арматура принимается с учетом сортамента труб и рабочего давления в трубопроводах.

Трубы и оборудование насосной станции принимаются по справочнику монтажника [1].

Потери напора в трубопроводах определяются по таблицам гидравлического расчета водопроводных труб [2] либо по табл. ПЗ, П4 приложения настоящего методического указания.

Диаметры трубопроводов назначаются с учетом экономии затрат на их строительство и оплату электроэнергии, которая затрачивается на подачу по ним воды, т.

е. с учетом экономического фактора Э.

Для средней полосы России экономический фактор $\text{Э} = 0,75$ (для южной $\text{Э} = 1$; районов Сибири и Урала $\text{Э} = 0,5$) – см. табл. 2 приложения.

Подача насосной станции составляет $Q_{\text{нас.ст}} = 576 \text{ л/с}$. Подача по одному водоводу: $Q_{\text{в}} = 576 / 2 = 288 \text{ л/с}$.

По таблицам для гидравлического расчета труб (см. табл. 2 – 4 приложения) определим:

при $\text{Э} = 0,75$; $q_{\text{1водов}} = 288 \text{ л/с}$; $d_{\text{вод. нап}} = 500 \text{ мм}$;

$i = A \cdot Q^2 \cdot k$, где $Q - \text{м}^3/\text{с}$, $A = 0,04939$, $k = 0,955$ при $\vartheta = 1,38 \text{ м/с}$, $Q = 288 \text{ л/с}$;

$$i = 0,04939 \cdot 0,288^2 \cdot 0,955 = 0,00391.$$

Тогда для напорного водовода длиной $L_{\text{н}} = 3000 \text{ м}$ потери напора по длине составят

$$\Sigma h = 3000 \cdot 0,00391 \cdot 1,1 + 2 = 14,9 \text{ м}.$$

При пожаротушении $Q = 790 \text{ л/с}$, $Q_{\text{вод}} = 395 \text{ л/с}$, $\vartheta = 1,88 \text{ м/с}$, $k = 0,92$;

$$i = 0,04939 \cdot 0,395^2 \cdot 0,92 = 0,007089; \Sigma h = 3000 \cdot 0,007089 \cdot 1,1 + 2,5 = 25,89 \approx 26 \text{ м},$$

здесь 1,1 - коэффициент, учитывающий местные сопротивления в напорном водоводе;

2 – 2,5 - потери напора в коммуникациях станции (напорной части).

Количество всасывающих водоводов принимается равным двум, поскольку длина каждого из них $L_{\text{в}} = 50 \text{ м}$, т.е. находится в пределах $L_{\text{в}} \geq 50 \text{ м}$ (по каждому водоводу обеспечивается 100%-ная подача воды при выходе из строя другого водовода).

Принимать для каждого насоса свою всасывающую линию в данном случае не экономично.

Если подача насосной станции $Q_{\text{нас.ст}} = 576 \text{ л/с}$, то подача воды по одному всасывающему водоводу составит $Q_{\text{водов}} = 288 \text{ л/с}$. Во всасывающих трубопроводах скорости движения воды принимаются с учетом данных табл. 3.

Т а б л и ц а 3

**Рекомендуемые скорости движения воды
в трубопроводах насосной станции**

$D_{\text{у}}, \text{мм}$	$\vartheta, \text{м/с}$, в трубопроводах	
	всасывающем	напорном
≤ 250	0,6 - 1	0,8 - 2
300÷800	0,8 - 1,5	1 - 3
≥ 800	1,2 - 2	1,5 - 4

Для $Q_{\text{вод}} = 288 \text{ л/с}$, $d_{\text{вод. всас.}} = 600 \text{ мм}$, $\vartheta = 0,97 \text{ м/с}$, $A = 0,01951$, $k = 1$,

$$i = A \cdot Q^2 \cdot k = 0,01951 \cdot 0,288^2 \cdot 1 = 0,001618;$$

$$h_{\text{всас}} = 0,001618 \cdot 1,2 \cdot 50 + 1,5 = 1,597 \text{ м.}$$

При пожаротушении $Q = 395 \text{ л/с}$, $\vartheta = 1,32 \text{ м/с}$, $k = 0,96$;

$$i = A \cdot Q^2 \cdot k = 0,01951 \cdot 0,395^2 \cdot 0,96 = 0,00292;$$

$$h_{\text{всас. пож}} = 0,00292 \cdot 1,2 \cdot 50 + 2 = 2,17 \approx 2 \text{ м,}$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий местные сопротивления во всасывающем трубопроводе;

1,5÷2 – потери напора в коммуникациях насосной станции (всас. часть), м.

При подаче всего расхода по одному водоводу (при аварии):

$$Q = 576 \text{ л/с}, \quad \vartheta = 1,91 \text{ м/с}, \quad k = 0,915;$$

$$i = A \cdot Q^2 \cdot k = 0,01951 \cdot 0,576^2 \cdot 0,915 = 0,005922;$$

$$h_{\text{всас}} = 0,005922 \cdot 1,2 \cdot 50 + 2 = 2,355 \approx 2 \text{ м.}$$

Полный напор насосной станции

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{всас}} + h_{\text{нап}};$$

при максимальном хозяйственном водопотреблении

$$H_{\text{max}} = 40,6 + 14,9 + 1,597 = 57,097 \text{ м} \approx 57 \text{ м;}$$

при пожаротушении

$$H_{\text{пож}} = 27 + 2 + 26 = 55 \text{ м;}$$

при аварии на всасывающем водоводе

$$H_{\text{ав}} = 40,6 + 2 + 14,9 = 57,5 \approx 57 \text{ м.}$$

Принимается $H_{\text{нас. ст}} = 57 \text{ м}$ (с учетом пределов запаса по напору).

Все трубопроводы в пределах насосной станции проектируются стальными, со сварными соединениями. На фланцах соединяются только трубы с технологическим оборудованием (насосами, запорно-регулирующей арматурой и т.д.).

Диаметр всасывающего коллектора $d_{\text{всас.кол.}} = 600 \text{ мм}$ (принимается по диаметру всасывающего водовода).

Диаметр напорного коллектора $d_{\text{нап.кол.}} = 500 \text{ мм}$ (принимается по диаметру напорного водовода).

Трубопроводы насосных агрегатов

Диаметры труб и запорно-регулирующей арматуры для напорных и всасывающих линий насосных агрегатов назначаются аналогично, как и для водоводов насосной станции, т.е. в зависимости от расхода, допустимой скорости движения воды в трубопроводе и наличия соответствующего сортамента труб или запорно-регулирующей арматуры (проверка осуществляется по таблицам гидравлического расчета труб,

справочникам проектировщика).

Каждый насос при совместной работе подает

$$Q_{н.с.} = \frac{576}{3} = 192 \text{ л/с}.$$

По трубопроводу от каждого насоса поступает расход $q=192 \text{ л/с}$.

Для каждого насосного агрегата проектируется:

всасывающий трубопровод: $d_{всас.агр.} = 500 \text{ мм}$, $\vartheta = 0,92 \text{ м/с}$;

напорный трубопровод: $d_{нап.агр.} = 400 \text{ мм}$, $\vartheta = 1,43 \text{ м/с}$.

5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПОДБОР НАСОСОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В час максимального хозяйственного водопотребления подача насосной станции должна составлять $Q_{нас.ст} = 576 \text{ л/с}$ и напор не ниже $H=57 \text{ м}$. Соответственно, подача каждого насоса $Q_1=Q_{нас.ст}/3 = 192 \text{ л/с}$, а напор $H = 57 \text{ м}$ (насосные агрегаты однотипные).

По сводному графику полей $H-Q$ каталога насосов определим марку насоса, энергетические параметры которого с максимальной точностью соответствуют расчетным Q_1 и H . Предварительно выбирается насос марки Д800-57 с параметрами: $D_{кол} = 432 \text{ мм}$,

$$d_{всас. патр} = 300 \text{ мм}, d_{нап. патр} = 230 \text{ мм}, n = 1450 \text{ об/мин}, \eta = 0,82, \text{ вес} - 880 \text{ кг}.$$

Марка электродвигателя подбирается с учетом параметров и мощности насоса.

Мощность насоса

$$N_{нас} = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{102 \cdot \eta_n \cdot \eta_{пр}} = \frac{0,192 \cdot 57 \cdot 1000}{102 \cdot 0,82} = 130,8 \text{ кВт},$$

где Q – подача воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – напор, м ;

γ - объемный вес воды, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\gamma=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$\eta_{пр} = 1$ – КПД привода.

Мощность электродвигателя:

$$N_{дв} = N_{нас} \cdot k = 130,8 \cdot 1,15 = 150,5 \text{ кВт},$$

где k - коэффициент запаса; принимается по табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Коэффициенты запаса для электродвигателей

Мощность N , кВт	<20	20-50	50-300	>300
$k_{зап}$	1,25	1,2	1,15	1,1

По каталогу насосов подбирается марка электродвигателя 4АОЗ-315М-А с номинальными параметрами: $N_{дв} = 200 \text{ кВт}$ (несколько больше расчетной $N_{дв} = 150,5 \text{ кВт}$), $n = 1450 \text{ об/мин}$, $U = 660 \text{ В}$, $\cos \varphi = 0,9$, $\eta_{дв} = 0,95$, вес - 1195 кг. Вес насосного агрегата

составляет 2075 кг. Рабочая характеристика насоса приведена на рис. 4 и 5.

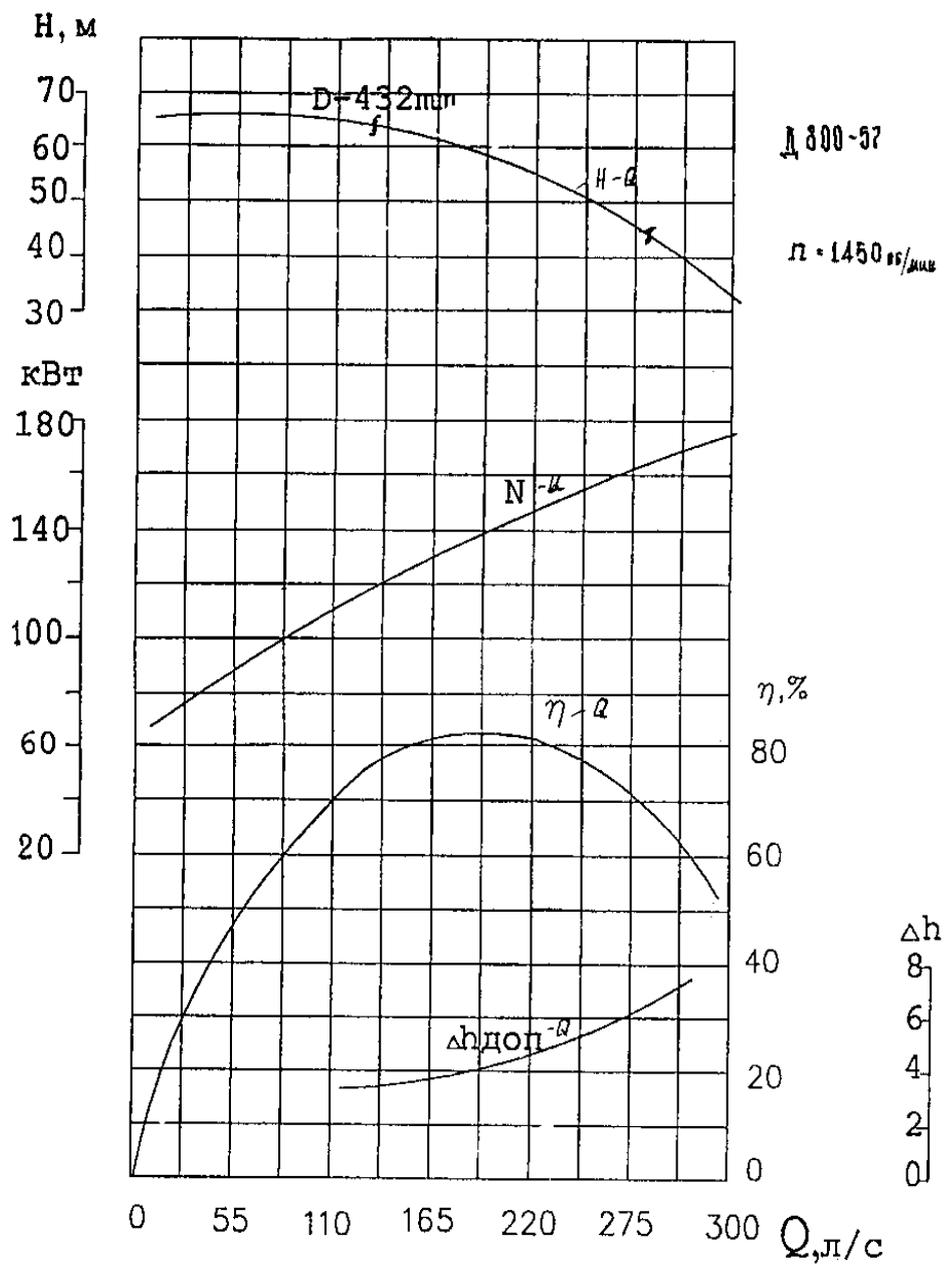


Рис. 4. Рабочая характеристика насоса Д800-57

$D_{всас. патрубка} = 300$ мм ; $D_{напорного патрубка} = 250$ мм

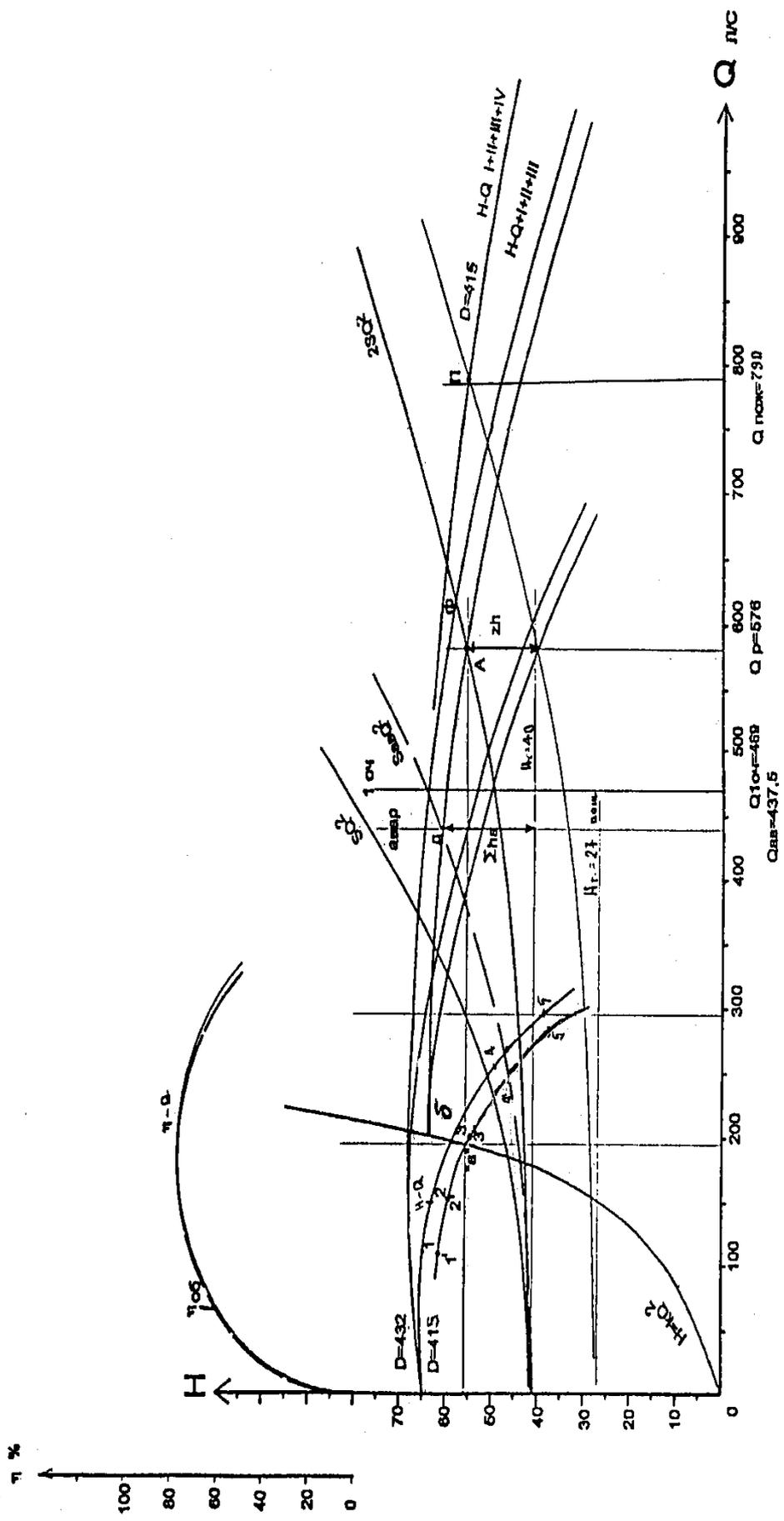


Рис. 5. График характеристик насосов и водоводов при их совместной работе:

$Q_{нас.см} = 576$ л/с; $H_{нас.см} = 57$ м; $H_2 = 40,6$ м; $Q_{хоз.п} + \text{пож} = 790$ л/с; $H_{х.п} + \text{пож} = 55$ м;

$Q_{ав} = 437,5$ л/с; $Q_{10ч} = 469$ л/с

Окончательный выбор марки электродвигателя, так же как и определение

количества насосов, осуществляется после проверки работы насосной станции при подачах воды:

- в час максимального хозяйственного водопотребления;
- в час максимального хозяйственного водопотребления и пожаротушения;
- в период возникновения аварии на водоводах (сети) при максимальном хозяйственном водопотреблении;
- в час максимального хозяйственного водопотребления на 1-ю очередь развития системы водоснабжения.

Проверка работы насосов на перечисленные выше случаи осуществляется графическим методом, т.е. методом построения характеристик насосов и водоводов при их совместной работе.

6. ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАСОСОВ, ВОДОВОДОВ И ГРАФИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАСЧЕТНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Построение характеристик $H-Q$ однотипных насосов при их совместной работе выполняется графически методом сложения рабочих характеристик насосов (выбранных по каталогу насосов), т.е. сложением Q_i подач при равных напорах H_i насосов (случай параллельной работы) – см. рис. 5.

Построение характеристик водоводов при их совместной работе выполняется аналогично. При этом учитываются:

- геометрическая высота подъема воды при хозяйственно-питьевом водопотреблении $H_r = 40,6$ м, при хозяйственно-питьевом водопотреблении и пожаре $H_{r, \text{пож}} = 27$ м;

- потери напора во всасывающей линии насосной станции:

$$h_v = 1,597 \text{ м}, h_{v, \text{пож}} = 2 \text{ м};$$

- потери напора в напорном водоводе и коммуникации насосной станции: $h_n = 14,9$ м, $h_{n, \text{пож}} = 26$ м.

В целях соблюдения единства функциональных зависимостей $H-Q$ насосов и водоводов графические построения характеристик водоводов выполняются с учетом следующих преобразований:

$$H_i = H_c + \sum h = H_c + S Q_i^2,$$

где H_i - полный напор насосной станции, м;

Q_i - подача по водоводу, $\text{м}^3/\text{с}$;

$i = 1, 2, 3 \dots$ - номер итерации;

S - приведенное сопротивление трубопровода; $S = \sum h / Q^2 = \text{const}$;

$\sum h$ - потери напора в трубопроводе, м.

При построении характеристик $H - Q$ насосов и SQ^2 водоводов на общем графике приводятся и характеристики $\eta - Q$ и $N - Q$ однотипного насоса. Графические построения отражают энергетические возможности насосной станции обеспечивать требуемую подачу воды потребителям в случаях, перечисленных выше.

При проверке достаточности энергетических параметров системы “насосная станция – водоводы” на случай подачи воды потребителю

в час “максимального хозяйственного водопотребления и пожара”

вводится допущение, что напор в диктующей точке сети может быть снижен.

Поскольку в данном примере весь гидравлический расчет системы подачи и распределения воды не рассматривается, делается ссылка на исходные данные, что в точке подключения водоводов к сети $H_{\text{своб.пож}} = 12$ м, а $H_{\text{г.пож}} = 125 - 110 + 12 = 27$ м.

Всасывающие водоводы подобны друг другу и имеют равные геометрические размеры. Расход воды по каждому водоводу $Q_{\text{нас.ст}} / 2 = 288$ л/с.

Приведенное сопротивление каждого всасывающего водовода $S_{\text{вс}} = h_{\text{вс}} / Q^2 = 1,597 / 0,288^2 = 19,3$.

Потери напора во всасывающем водоводе $h_{\text{вс}}$ оцениваются на основе произвольно заданных значений Q_i . Значения $h_{\text{вс}i}$ приводятся в табл. 5.

Принимая во внимание сравнительно малые потери напора во всасывающем трубопроводе и ограниченность исходных данных по проектируемому объекту, “приведенная” характеристика (т.е. $H' - Q'$ - с учетом $h_{\text{вс}i} = S_{\text{вс}} \cdot Q_i^2$) для каждого насоса не строится. В целях упрощения дальнейших графических построений допускается, что $\sum h = h_{\text{вс}} + h_{\text{н}} = SQ^2$. По графику проверяется подача воды насосной станции при аварии на одном из всасывающих водоводов, смещение режимных точек подач воды на характеристиках $H - Q$ насосов. По табл. 3 и таблицам для гидравлического расчета водопроводных труб оценивается допустимость изменения скорости движения воды во всасывающем водоводе.

Т а б л и ц а 5

Расчетные параметры для построения характеристик всасывающего водовода при подаче воды в час максимального хозяйственного водопотребления

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q^2, \text{ м}^6/\text{с}^2$	$S_{\text{вс}}$	$h_{\text{вс}}, \text{ м}$
0,05	0,0025	19,3	0,048
0,1	0,01	19,3	0,193
0,2	0,04	19,3	0,772
0,3	0,09	19,3	1,737
0,4	0,16	19,3	3,088

Примечание. $h_{вс} = S_{вс} \cdot Q^2$.

Аналогично выполняются оценки для напорных водоводов. Напорные водоводы – подобны. Расход по каждому водоводу $Q/2 = 288 \text{ л/с}$.

Гидравлическое сопротивление напорного водовода $S_{н} = h_{н} / Q_{в}^2$;

$$S_{н} = 14,9 / 0,288^2 = 179,6.$$

Аналогично, как и для всасывающего водовода, оцениваются изменения $h_{нi}$ в напорном водоводе. Для обобщения потерь энергии во всасывающем и напорном водоводах необходимо в дальнейших расчетах переменные величины $h_{вi}$ и $h_{нi}$ складывать:

$$\sum h_{\text{пож } i} = 26 + 2 = 28 \text{ м}, \quad S_{\text{пож}} = 28 / 0,395^2 = 179,46.$$

В практике графических построений характеристик SQ^2 водоводов допускается принимать приведенное сопротивление трубопровода $S = \text{const}$. Оценки $\sum h_i$ и $H_i = H_c + \sum h_i$ приводятся в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

**Расчетные параметры напорного и всасывающего водоводов
для случая максимального хозяйственного водопотребления**

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q^2, \text{ м}^6/\text{с}^2$	S	$h_{н i}, \text{ м}$	$\sum h_i, \text{ м}$	$H_{г}, \text{ м}$	$H_i, \text{ м}$
0,05	0,0025	179,6	0,449	0,497	40,6	41,097
0,1	0,01	179,6	1,796	1,989	40,6	42,589
0,2	0,04	179,6	7,184	7,956	40,6	48,556
0,3	0,09	179,6	16,164	17,901	40,6	58,501
0,4	0,16	179,6	28,736	31,824	40,6	72,424

Анализируя характеристики насосов и водоводов (см. рис. 4), можно убедиться, что расчетная точка A находится несколько ниже фактической точки Φ пересечения характеристик трех насосов (имеющих диаметры рабочих колес $D = 432 \text{ мм}$ у каждого) и двух водоводов, т. е. подача и напор насосной станции превышают соответствующие расчетные параметры $Q_{\text{нас.ст.}}$, $H_{\text{нас.ст.}}$. Следовательно, работу насосов необходимо регулировать в целях экономии энергии на подачу воды. Методы регулирования энергетических параметров насосов разнообразны: дросселированием, изменением частоты вращения ротора насоса, применением входных направляющих аппаратов и т.д. Характеристику насоса можно изменить и при обточке его колеса.

На этапе учебного проектирования насосной станции для изменения энергетических параметров насосов применяется метод срезки (обточки) рабочих колес. При расчетах срезки рабочих колес центробежных насосов (при коэффициенте быстроходности $n_s \leq 150$) обычно пользуются формулами

$$Q_1/Q_{об} = D_1/D_{об};$$

$$H_1/H_{об} = D_1^2/D_{об}^2;$$

$$H_{об} = k \cdot Q_{об}^2.$$

Воспользовавшись вышеприведенными зависимостями, получим $k = H_{об}/Q_{об}^2 = 57/0,192^2 = 1546,2$, где $H_{об} = 57$ м, $Q_{об} = 192$ л/с – расчетные параметры однотипного насоса. Для графического построения кривой $H_{об} = 1546,2 \cdot Q_{об}^2$ нужны промежуточные точки с координатами $[H_{об i}, Q_{об i}]$. Координатные значения этих точек, выбранных с произвольным шагом ΔQ , приводятся в табл. 7.

Таблица 7

Расчетные параметры для построения кривой подобия режимов работы насоса

№ точки	1	2	3	4	5
$Q_{об i}, м^3/с$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$H_{об i}, м$	15,46	34,79	61,85	96,63	139,2

Далее, после построения кривой $H_{об} = 1546,2 \cdot Q_{об}^2$ (линии режимных точек), проходящей через начало координат и точку “а”, с координатами $[H = 57$ м, $Q = 192$ л/с], на исходной характеристике насоса $H-Q$ (при $D = 432$ мм) получим новую точку пересечения “б” (см. рис. 4). Координаты точки “б”: $[H = 60$ м, $Q = 200$ л/с]. Координаты точек “а” и “б” пропорционально взаимосвязаны:

$$k_a = \frac{H_b}{H_a} = \frac{60}{57} = 1,05; k_q = \frac{Q_b}{Q_a} = \frac{200}{192} = 1,04.$$

. Подобная пропорциональность сохраняется для всех точек кривой ($H-Q$) и кривой ($H'' - Q''$). Поэтому параметры для графических построений отмеченных кривых можно рассчитать по аналогичной методике (табл. 8).

Таблица 8

Расчетные параметры насоса

№ п/п	Энергетические параметры насоса					
	до срезки колеса при $D=432$ мм			после срезки колеса при $D_{об}=415$ мм		
	$Q, м^3/с$	$H, м$	$\eta, \%$	$Q_{об}, м^3/с$	$H_{об}, м$	$\eta_{об}, \%$
1	0,1	65	68	0,096	61,9	67,4
2	0,15	63	76	0,144	60	75,5
3	0,2	57	78	0,192	54,3	77,6
4	0,25	47	75	0,240	44,7	73,5
5	0,3	40	64	0,288	38,1	63,3

Примечание. $k_q = Q/Q_{об} = 200/192 = 1,04$; $k_h = H/H_{об} = 60/57 = 1,05$.

Диаметр обточенного колеса насоса рассчитывается по формуле

$$D_{об} = \frac{Q_{об} \cdot D}{Q} = \frac{0,192 \cdot 432}{0,2} = 415 \text{ мм}.$$

После срезки колеса к.п.д. ($\eta_{об}$) насоса изменяется (см. на графике рис. 5

характеристику $\eta_{об-Q}$). Для определения к.п.д. насоса со срезанным колесом можно воспользоваться формулой Moody:

$$\eta_n = 1 - [(1 - \eta_m) (D_m / D_n)^{0,25} (n_m / n_n)^{0,1}] ,$$

$$\eta_n = 1 - [(1 - \eta_m) (D_m / D_n)^{0,25}] \text{ при } n_m / n_n = 1 ,$$

где D_m / D_n – диаметры колес насоса модели и натуры (если регулирование обеспечивается за счет изменения числа оборотов колеса насоса, то $D_m / D_n = 1$).

“Срезка” колеса насоса широко применяется в практике проектирования насосных станций. В зависимости от коэффициента быстроходности n_s пределы обточки колес ограничиваются интервалами, значения которых приводятся в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Области допустимой обточки рабочего колеса насоса

Классификация насосов по коэффициенту n_s	$60 < n_s < 120$	$120 < n_s < 200$	$200 < n_s < 300$
Допустимые пределы обточки колес	15-20%	11-15%	11-15%

Примечание. КПД насоса уменьшается на 1% на каждые 10% обточки рабочего колеса

Предусмотренная проектом обточка колеса одноступенчатого насоса составляет

$$\frac{432 - 415}{432} 100\% = 3,9\% , \text{снижение КПД насоса не превышает } 0,3 \div 0,5\% .$$

Дальнейшие графические построения характеристик насосов и водоводов выполняются по правилам, оговоренным выше:

- строится исправленная характеристика насосной станции $H''-Q''_{1+2+3}$, имеющей одноступенчатые параллельно работающие насосы с обточенными колесами и характеристиками $H''-Q''$, способом сложения подач насосов при равных напорах, т.е. при равных значениях H_i , где $i=1,2,3,\dots$, характеристика водоводов $2SQ^2$ не меняется;

- строится исправленная характеристика $\eta_{об-Q}$ (по данным табл. 8);

- наносятся на график расчетные точки (с координатами $[H,Q]$)

для каждого случая водопотребления (“мак.хоз.”, “мак.хоз. + пожар”, “мак.хоз. + авария”, “мак.хоз. на 1-ю очередь”);

- анализируется работа насосной станции.

Правильность выполненных графических построений оценивается по точке “А”, точке пересечения характеристик $H''-Q''_{1+2+3}$ и $2SQ^2$. Координаты этой точки должны соответствовать расчетным энергетическим параметрам насосной станции в час максимального хозяйственного водопотребления.

Анализируя работу насосной станции и водоводов по их характеристикам, можно убедиться, что в час максимального хозяйственного водопотребления и пожаротушения

три насоса не обеспечат требуемую подачу воды потребителям.

Следовательно:

- необходима установка дополнительного четвертого насоса, аналогичного первым трем рабочим насосам;

- на насосной станции устанавливаются четыре рабочих однотипных насоса.

При работе четырех насосов режимная точка “П” смещается вправо от точки с координатами, соответствующими расчетным значениям при $Q_{х.п. + \text{пож}}$, что указывает на выполнение нормативных условий подачи воды насосной станцией.

7. ОЦЕНКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДАЧИ ВОДЫ ПОТРЕБИТЕЛЯМ НА 1-ю ОЧЕРЕДЬ СТРОИТЕЛЬСТВА СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ПРИ АВАРИИ НА ВОДОВОДАХ

На 1-й очереди строительства системы водоснабжения $q_{\text{хоз}}^{\text{max}} = 469 \text{ л/с}$ подача воды в город может обеспечиваться двумя насосами насосной станции по двум водоводам (см. рис. 5). Два других рабочих насосных агрегата могут устанавливаться на насосной станции в соответствии с планом развития системы либо храниться на складе.

При аварийной ситуации в системе водоснабжения подача воды потребителям может составлять $Q_{\text{ав}} = 0,7 q_{\text{хоз}}^{\text{max}} = 0,7 \cdot 625 = 437,5 \text{ л/с}$ (см. п.5.4 СП 31.13330-2012).

Вероятность возникновения одновременно двух аварий на водоводах чрезвычайно мала.

При аварии на одном из водоводов, не имеющих переключений, подача воды $Q_{\text{ав}} = 437,5 \text{ л/с}$ не обеспечивается даже всеми насосами насосной станции (см. рис. 5). Если же предусмотреть переключения на водоводах между ремонтными участками, то требуемую подачу воды насосами можно обеспечить.

Достаточное количество ремонтных участков на водоводах рассчитывается графо-аналитически. По рис. 5 определим величину допустимых потерь напора Σh_a в системе при аварии на водоводах. Если допустить, что

$$\Sigma h_a = S_a \cdot Q_{\text{н.ст.}}^2, \quad \Sigma h = S \cdot Q_{\text{н.ст.}}^2, \quad S_a = \alpha \cdot S, \\ \alpha = \frac{Z+3}{Z},$$

где Z - число ремонтных участков,

то $\Sigma h_{\text{ав}} = 20 \text{ м}$ при $Q_{\text{ав}} = 437,5 \text{ л/с}$, $S_{\text{ав}} = 20 / 0,4375^2 = 104,49$;

$\Sigma h = 14,9 \text{ м}$ при $Q = 576 \text{ л/с}$, $S = 14,9 / 0,576^2 = 44,9$,

$$\alpha = \frac{S}{S_a} = \frac{104,49}{44,9} = 2,33, \quad 2,33 = \frac{z+3}{z}, \quad z = 2,27 \approx 3.$$

Принимаем $Z \approx 3$, что соответствует трем ремонтным участкам на каждом водоводе. Характеристика водоводов при аварии строится по данным табл. 10.

Таблица 10

Расчетные параметры водоводов при аварийной ситуации

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,1	0,2	0,3	0,5
$h, \text{ м}$	1,0449	4,18	9,40	26,12
$H = h + 40,6$	41,6449	44,78	50,00	66,72

Примечание. В случае аварии на водоводе ремонтный участок отключается задвижками.

На графике рис. 5 видно, что в аварийной ситуации, при наличии переключений на водоводах, точка пересечения “D” характеристик насосов и водоводов будет находиться справа от расчетной точки с координатами $[Q_{ав}, H_{ав}]$.

Следовательно, энергетические параметры предварительно подобранных марок насосов и электродвигателей соответствуют расчетным параметрам насосной станции.

8. УТОЧНЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ВЫБРАННЫХ МАРКАХ НАСОСОВ

После того как насосные агрегаты подобраны, необходимо уточнить режим работы насосной станции и графически оценить подачи и напоры насосной станции.

Вода подается по двум водоводам. По графику рис. 5 принимается:

при работе одного насоса его подача составляет $Q_1 = 280 \text{ л/с}$;

при работе двух насосов $Q_{1+2} = 470 \text{ л/с}$;

при работе трех насосов $Q_{1+2+3} = 576 \text{ л/с}$ (точка А на рис. 5).

В % от $Q_{сут}$:

$$Q_1 = 0,280 \cdot 3600 \cdot 100 / 43200 = 2,3 \text{ \%};$$

$$Q_{1+2} = 0,470 \cdot 3600 \cdot 100 / 43200 = 3,9 \text{ \%};$$

$$Q_{1+2+3} = 4,8 \text{ \%}.$$

С учетом выполненных оценок составляется табл. 11 баланса воды.

$$W_{пер} = 43200 \cdot 1,7 : 100 = 734 \text{ м}^3, \quad W = 734 + 36 = 770 \text{ м}^3.$$

Средний уровень воды в баке к часу максимального хозяйственного водопотребления $H_{y.б}$ можно рассчитать: $W_{пер} = (0,7+0,3):2 = 0,5\% = 216 \text{ м}^3$, $W = 216 + 36 = 252 \text{ м}^3$, $H_{y.б} = 2,65 \text{ м} < 3 \text{ м}$.

Ввиду незначительных расхождений высот воды в баке ($\Delta H_{y.б} = 0,35 \text{ м}$) при предварительном расчете и графо-аналитических построениях расчетные напоры насосной станции оставляем неизменными. Следовательно, энергетические параметры

подобранных марок насосных агрегатов соответствуют расчетным параметрам насосной станции.

Таблица 11

Суточный баланс воды и режим работы насосов

Часы суток	Водопотребление, % от $Q_{сут}$	Подача $Q_{н.ст.}$, %	Поступление, %		Остаток воды в баке $W_{рег.}$, %	Режим работы насосов
			в бак	из бака		
0-1	3,35	3,9	0,55	-	0,55	2 насоса
1-2	3,25	3,9	0,65	-	1,2	То же
2-3	3,3	2,3	-	1	0,2	1 нас. на 2 водовода
3-4	3,2	3,05	-	0,15	0,05	2 нас. – 28 мин; 1 нас. – 32 мин
4-5	3,25	3,9	0,65	-	0,7	2 насоса
5-6	3,4	3,9	0,5	-	1,2	То же
6-7	3,85	3,9	0,05	-	1,25	“
7-8	4,45	3,9	-	0,55	0,7	“
8-9	5,2	4,8	-	0,4	0,3	3 насоса
9-10	5,05	4,8	-	0,25	0,05	То же
10-11	4,85	4,8	-	0,05	0	“
11-12	4,6	4,8	0,2	-	0,2	“
12-13	4,6	4,8	0,2	-	0,4	“
13-14	4,55	4,8	0,25	-	0,65	“
14-15	4,75	4,8	0,05	-	0,7	“
15-16	4,7	4,8	0,1	-	0,8	“
16-17	4,65	4,8	0,15	-	0,95	“
17-18	4,35	4,8	0,45	-	1,4	“
18-19	4,4	4,7	0,3	-	1,7	2 нас. – 7 мин; 3 нас. – 53 мин
19-20	4,3	3,9	-	0,4	1,3	2 насоса
20-21	4,3	3,9	-	0,4	0,9	То же
21-22	4,2	3,9	-	0,3	0,6	“
22-23	3,75	3,9	0,15	-	0,75	“
23-24	3,7	2,95	-	0,75	0	2 нас. – 24 мин; 1 нас. – 36 мин
Итого:	100%	100%	4,25%	4,25%		

Примечания. 1. Время работы насосов в сутки: один насос работает 2,6 ч; два насоса – 10,6 ч; три насоса – 10,8 ч.

2. Цветом выделены максимальный час водопотребления и максимальный регулирующий объем бака.

9. ПОДБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ

Выбранные для привода насосов электрические двигатели рассчитаны на работу при напряжении $U = 660$ В (в зависимости от марки электродвигателя), а напряжение в сети энергоснабжения $U = 3000$ В. Следовательно, на насосной станции необходимо предусматривать установку понижающих трансформаторов.

Необходимая для работы электрического оборудования насосной станции мощность силовых трансформаторов S , кВт, определяется суммарной мощностью

электродвигателей основной группы насосов, задвижек, подъемного оборудования, вспомогательных насосов и др., мощностью электроосветительных и электроотопительных устройств:

$$S_{кВА} = \frac{k_c \sum P}{\eta_{овi} \cdot \cos \alpha} + (10 \div 50) \quad ,$$

где k_c – коэффициент загрузки двигателя, равный отношению мощности, потребляемой в данный момент, к номинальной мощности двигателя; коэффициент спроса по мощности, зависит, от числа работающих электродвигателей: при двух двигателях $k_c = 1$, при трех $k_c = 0,9$, при четырех $k_c = 0,8$, при пяти $k_c = 0,7$;

$\sum P_{ni}$ - номинальная (паспортная) мощность электродвигателей всех основных насосов (без резервных агрегатов)

$\eta_{овi} = 0,9 - 0,94$ - к.п.д. i -го двигателя;

η_{ni} – к.п.д. насоса;

$\cos \alpha = 0,92$ -коэффициент мощности электродвигателя;

10-50 кВт - нагрузка от вспомогательного оборудования.

На насосной станции устанавливается четыре рабочих насосных агрегата (четыре электрических двигателя) и два таких же резервных (4 + 2 электрических двигателя).

Номинальная мощность каждого электродвигателя насосного агрегата $P_n = 200$ кВт, тогда:

$$S = \frac{0,8 \cdot 4 \cdot 200}{0,95 \cdot 0,92} + 50 = 782 \text{кВА}.$$

При прямом пуске электрического двигателя величина пускового тока I возрастает в 5 – 7 раз. Очевидно, при пуске двигателя пропорционально I увеличивается и потребляемая мощность P , так как $P = (U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}) / 1000$. Поэтому при выборе мощности силового трансформатора насосной станции необходимо учитывать не только номинальные, но и пусковые нагрузки по P .

Как следует из паспортных данных выбранного насосного агрегата (см. рис. 4), мощность холостого хода его электродвигателя составляет $N_o \approx 60$ кВт, тогда $N_{пуск} = N_o \cdot 6 = 60 \cdot 6 = 360$ кВт.

Отечественной промышленностью выпускаются трансформаторы мощностью: 100, 180, 320, 420, 560, 750, 1000, 1800 кВА и т.д. На насосной станции необходимо установить трансформаторы с оптимальным использованием их мощности. Недогруженные трансформаторы снижают $\cos \varphi$. Режим работы насосной станции не равномерный, поэтому и мощность трансформаторов в течение суток будет востребована не одинаково. С учетом этой особенности и имеющегося ряда трансформаторов на насосной станции

предусматривается установка трех трансформаторов мощностью $320 \cdot 3 = 960$ кВА. Данный выбор обосновывается расчетами, которые приводятся ниже (табл. 12, 13). При максимальной нагрузке, т.е. при пуске одного двигателя и работе двух агрегатов: $\Sigma N = 360 + 2 \cdot 200 = 760$ кВт, т.е. $760 < 960 \Rightarrow$ условие запаса мощности трансформатора при запуске электрического двигателя выполняется. Кратковременная перегрузка трансформаторов не должна превышать 40%.

Т а б л и ц а 12

Расчетные параметры насосной станции

Число рабочих насосов	Режим работы	Подача, л/с	Напор, м	Мощность $N = Q \cdot H \cdot \gamma / (102 \cdot \eta_n \cdot \eta_{дв})$	η_n	$\eta_{дв}$
1	Норм.	280	45	201,3	0,66	0,93
2	То же	470	51	337,8	0,74	0,94
3	“	576	57	413,2	0,82	0,95
4	Пожар	745	54	512,6	0,81	0,95

Т а б л и ц а 13

Расчетные параметры мощности насосной станции

Число рабочих двигателей	Режим работы	Продолжительность работы, ч	Мощность включенных трансф., кВА	Необходимая мощность, кВА	% недогрузки, перегрузки
1	Норм.	2,6	320 (320 · 2)	201,3+50=251,3 (360+50)	недогр. 21% (недогр.36%)
2	То же	10,6	320 · 2 (320 · 3)	337,8+50=387,8 (360+251,3)	недогр. 39% (недог. 4,4%)
3	“	10,8	320 · 2 (320 · 3)	413,2+50=463,2 (360+387,8)	недогр. 27% (недо.16,8%)
4	Пожар	3	320 · 2 (320 · 3)	512,6+50=562,6 (360+463,2)	недогр. 12% (недогр. 14%)

Установленные на насосной станции трансформаторы имеют суммарную мощность несколько большую расчетной, $960 \text{ кВА} > 782,2 \text{ кВА}$, поскольку предварительные оценки выполнялись для рабочих режимов работы насосной станции и не учитывались нагрузки трансформаторов при запуске электрических двигателей.

Принятые проектные решения позволяют гарантировать, что при выходе из строя одного из трансформаторов нагрузка других не превысит номинальных пределов:

$$562,6 \text{ кВА} < 640 \text{ кВА (допускается перегрузка до 40\%)}$$

10. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

КПД станции определяется по формуле

$$\eta_{н.ст} = \frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1}{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1} + \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2}{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2} + \dots + \frac{Q_m \cdot H_m \cdot T_m}{Q_m \cdot H_m \cdot T_m}$$

$$\eta_{н1} \cdot \eta_{дв1} \quad \eta_{н2} \cdot \eta_{дв2} \quad \eta_{нm} \cdot \eta_{двm}$$

После подстановки известных величин в формулу (см. рис. 5, табл. 12, 13) получим

$$\eta_{нас.ст} = \frac{(280 \cdot 45 \cdot 2,6) + (470 \cdot 51 \cdot 10,6) + (576 \cdot 57 \cdot 10,8)}{\frac{(280 \cdot 45 \cdot 2,6)}{0,66 \cdot 0,93} + \frac{(470 \cdot 51 \cdot 10,6)}{0,74 \cdot 0,94} + \frac{(576 \cdot 57 \cdot 10,8)}{0,82 \cdot 0,95}} = 0,73$$

Расход энергии рабочими насосами в сутки составляет

$$A_{фак} = \frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1}{102 \cdot \eta_{н1} \cdot \eta_{о61}} + \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2}{102 \cdot \eta_{н2} \cdot \eta_{о62}} + \frac{Q_3 \cdot H_3 \cdot T_3}{102 \cdot \eta_{н3} \cdot \eta_{о63}} = 8566,9 \text{ кВт}$$

Если бы все установленные насосы работали в оптимальном режиме в течение всех 24 часов в сутки, то было бы израсходовано энергии

$$A_{опт} = \frac{24 \cdot m \cdot Q_{опт} \cdot \eta_{опт}}{102 \cdot \eta_{max} \cdot \eta_{о6}} = \frac{24 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 57}{102 \cdot 0,8 \cdot 0,94} = 14267,8 \text{ кВт}$$

где m - число установленных рабочих насосов;

$Q_{опт}$ - подача каждого насоса при оптимальной работе, т.е. при максимальном значении к.п.д., л/с,

$$Q_{опт} = 200 \text{ л/с}; \quad H_{опт} = 57 \text{ м}; \quad \eta_{max} = 0,8 \text{ – по графику рис. 4.}$$

Коэффициент полезного использования установленной мощности

$$\eta_{исп} = \frac{A_{фак}}{A_{опт}} = \frac{8566,9}{1467,8} = 0,6.$$

Удельная норма затрат энергии, отнесенная к 1000 тм полезной работы, определяется по формуле:

$$У_{1000} = 2,72 / \eta_{исп} = 2,72 / 0,6 = 4,53 \text{ кВт}$$

11. ВЫБОР ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Вид подъемно-транспортного оборудования принимается в зависимости от массы монтируемых агрегатов и габаритов здания насосной станции с учетом удобств эксплуатации: балки неподвижные (монорельсы) с кошками и талями при массе груза до 1000 кг, краны подвесные (кран-балки) - при массе груза до 5000 кг, краны мостовые при массе груза более 5000 кг.

На проектируемой насосной станции максимальный перемещаемый груз имеет массу 2075 кг. По этой причине на насосной станции предусматривается кран подвесной грузоподъемностью до 5 т для монтажа и ремонта ее насосных агрегатов и оборудования. Погрузка на автотранспорт, ремонт оборудования осуществляются на монтажной площадке. Въездные ворота на станцию принимаются стандартные, размером 3х3,6 м, с учетом габаритов автотранспорта и перемещаемого груза.

12. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

К вспомогательным системам насосной станции относятся: система технического водоснабжения, дренажная система, система маслоснабжения.

Система технического водоснабжения на насосной станции проектируется для целей санитарной очистки оборудования и помещений, а также для охлаждения узлов насосных и воздуходувных агрегатов. Вода на насосную станцию подводится из системы городского водоснабжения в бак с разрывом струи, а из бака вихревыми насосами марки ВК 1/16 вода подается на технологические нужды. Предусматриваются два насоса: один рабочий и один резервный. Вода, поступающая на охлаждение, должна быть с жесткостью менее 3,56 мг-экв/л, рН = 6-9, с содержанием взвешенных веществ до 50 мг/л и температурой до 30°C.

Для отвода дренажных и промывных вод предусматривается уклон пола и лотков к приемку не менее $i = 0,005$. Вода отводится по дренажным лоткам в колодец, который устраивается под монтажной площадкой. Объем колодца принимается равным 15-минутной производительности одного насоса марки ГНОМ 10/10: $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 10 \text{ м}$, $N = 1,1 \text{ кВт}$.

На случай разрыва трубопровода в насосной станции отвод воды из машинного зала будет осуществляться по аварийному трубопроводу $D = 500 \text{ мм}$.

Постоянное количество масла под давлением подается к подшипникам, редукторам, соединительным муфтам насосов и воздушных нагнетателей. Масло охлаждается в маслоохладителе водой, подаваемой от системы технического водоснабжения. Для периодического удаления отработанного масла из баков маслоустановок и подачи чистого масла на насосной станции предусматривается вспомогательная маслосистема. Для подачи масла устанавливаются два шестеренных насоса марки НМШ-32-10-1-18/6,3-1.

13. ВЫБОР ВОДОМЕРОВ

Подача воды насосной станцией контролируется водомерами ультразвукового типа, которые устанавливаются на каждом напорном водоводе в водомерных камерах на прямолинейных участках (длины участков до водомера $L \geq 6 - 18D$ и после водомера $L \geq 3 - 5D$ назначаются заводом-изготовителем прибора).

14. ВНУТРЕННИЕ САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

На насосной станции предусматриваются: система хозяйственно-питьевая, объединенная с противопожарной, система вентиляции, система отопления, система бытовой канализации.

15. КОНСТРУКЦИИ И СТАНДАРНЫЕ РАЗМЕРЫ ЧАСТЕЙ ЗДАНИЯ И ПОМЕЩЕНИЙ

Надземная часть насосной станции. Тип насосной станции по расположению оборудования относительно поверхности земли: углубленная

Высота надземной части здания обычно назначается отдельно для машинного зала и вспомогательных помещений. Высоту верхнего строения в помещении монтажной площадки определяется (см. справочник монтажника под ред. А.С. Москвитина) по формулам:

$$H_{\text{верх}} \geq h_{\text{тр}} + 0,5 + h_{\Gamma} + h_{\text{с}} + H + 0,1,$$

или $H_{\text{верх}} \geq h_{\text{тр}}^1 + 0,5 + h_{\Gamma} + h_{\text{с}} + h_1 + H + H_{\text{Н}}$

где $h_{\text{тр}}$ – погрузочная высота платформы автомобиля, м;

$h_{\text{тр}}^1$ – высота инвентарной тележки, равная 0,15-0,3 м;

Высоты верхнего строения $H_{\text{верх}}$ назначены в пределах стандартных величин: 3; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6 и 7,2; 8,4; 9,6; 12,6 м, с учетом условий возможности погрузки и выгрузки оборудования (см. рис. 7)

Пролеты здания назначаются равными: 12 х м при шаге колонн 6 м.

Размеры оконных проемов можно принимать:

- в машинном зале 3х1,2 м,

- во вспомогательных помещениях 0,9х1,2 м,

Размеры ворот для въезда в здание: 3х3 м,

Типовые проемы под двери: 1,5х2,4 м, 2х2,4 м.

а)

б)

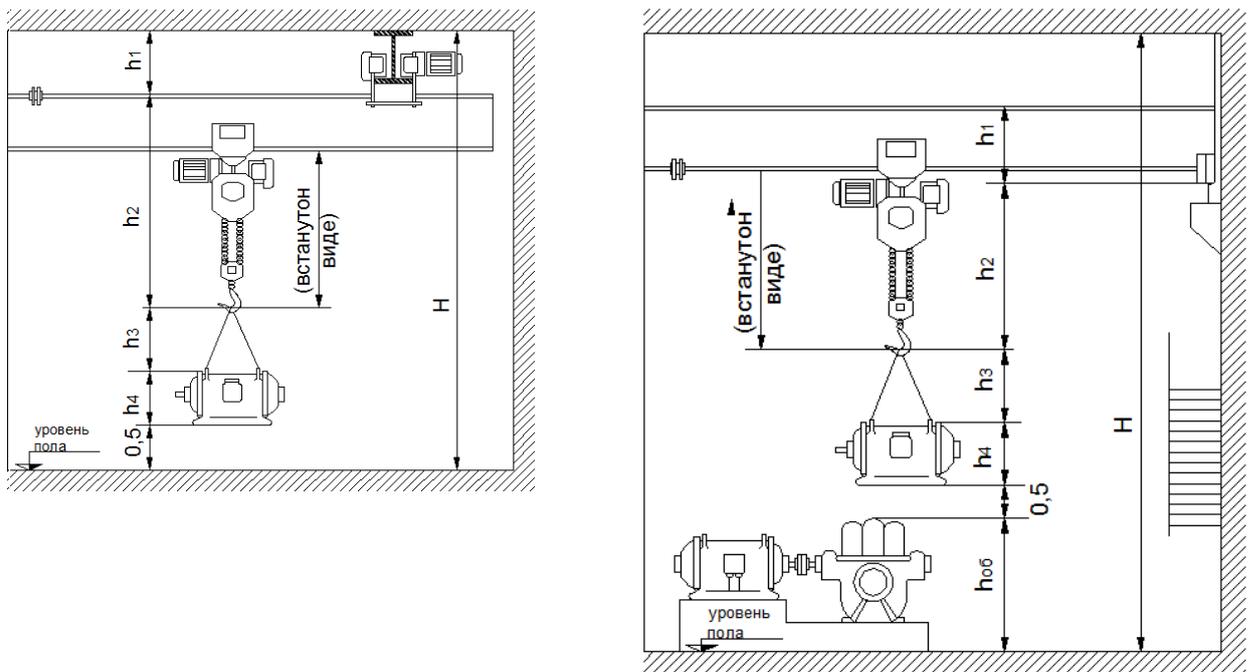


Рис. 7. Схемы размещения грузоподъемного оборудования внутри помещения *Подземная часть насосной станции.* Подземная часть здания выполняется из фундаментных блоков из гидротехнического бетона, поскольку грунтовые воды находятся ниже отметки пола машинного зала. Наружную поверхность стен подземной части насосной станции покрывают битумной гидроизоляцией. Глубина подземной части назначается с учетом уровня воды в резервуаре чистой, допустимой высоты всасывания насосов, состава оборудования и рекомендаций, изложенных в справочнике монтажника (под ред. А.С. Москвитина). При строительстве станций применяют сборные конструкции. Высота балок, ригелей принимается порядка 0,1 от их пролета, а толщина плит перекрытий – 0,1-0,2 м.

Заглубленные помещения сообщаются с надземными частями здания лестницами шириной не менее 0,9 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карелин А.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. - М.: Дом «БАСТЕТ» 2010.
2. Дячек П.И. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебное пособие.- М.: Издательство АСВ, 2012.

Дополнительная литература.

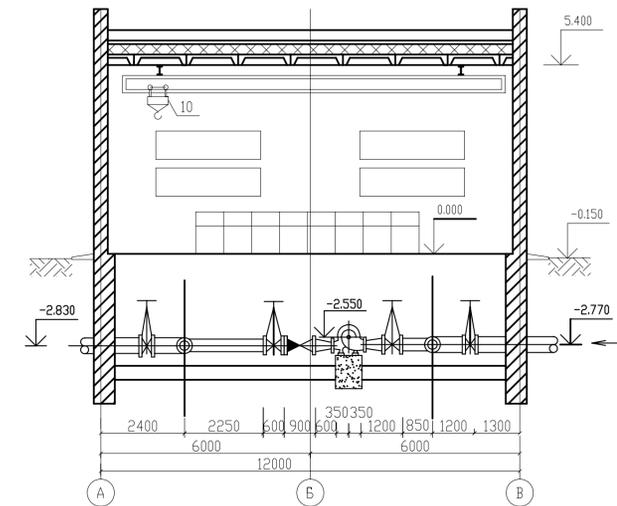
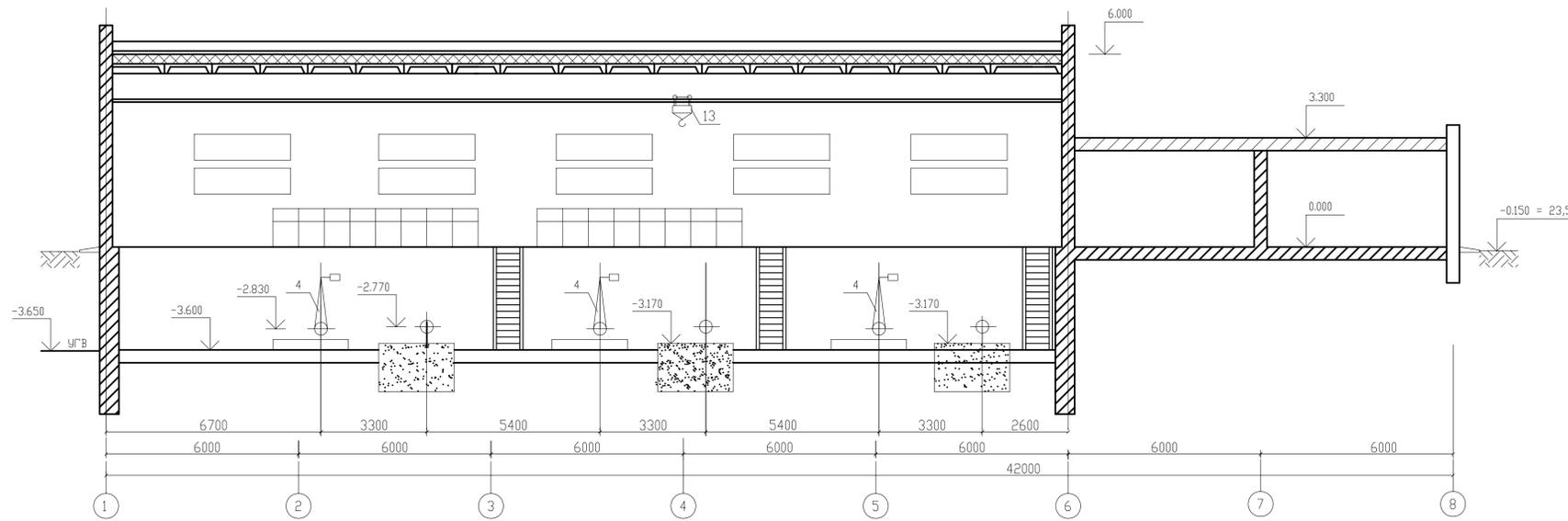
1. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. М., 2013.

2. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. М., 2013.
3. Дерюшев Л.Г. Воздуходувные станции и установки. Учебное пособие. М.,
Издательство «Вестник МГСУ», 2015 г. (электронная версия).
4. Москвитин Б.А., Мирончик Г.М., Москвитин А.С., Дерюшев Л.Г. Оборудование
водопроводно-канализационных сооружений .М.: ООО «БАСТЕТ», 2011.
- 5.. Шевелев Ф.А. Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета
водопроводных труб. М., Издательство «БАСТЕТ», 2016 г.
6. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета
канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского М., Издательство
«БАСТЕТ», 2012 г .

Насосная станция II подъема

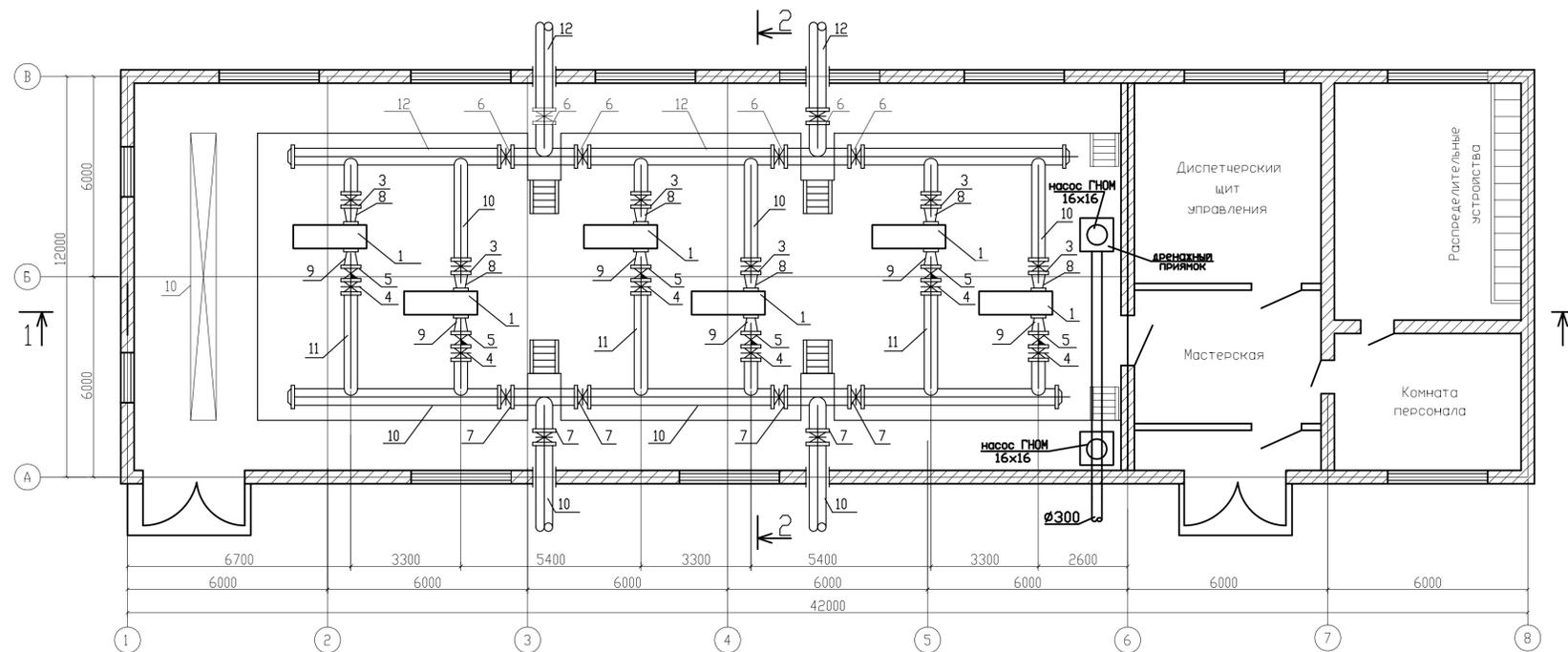
РАЗРЕЗ 1-1 М 1:100

РАЗРЕЗ 2-2 М 1:100



ПЛАН М 1:100

СПЕЦИФИКАЦИЯ



NN п.п.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, кг	Примечание
1	1Д800-57	Насос с параметрами: Q=800 м ³ /час, H=57 м, n=1450 об/мин.	6	880	шт
2	4А03-315М-А	Эл. двигатель: N=200кВт, 380/660В.	6	1195	шт
3	30ч 927Ьр	Задвижка, Ø500	6	690	шт
4	30ч 927Ьр	Задвижка, Ø400	6	590	шт
5	19ч 16р	Клапан обратный поворотный однодисковый, Ø400	6	379	шт
6	30ч 927Ьр	Задвижка, Ø600	6	950	шт
7	30ч 927Ьр	Задвижка, Ø500	6	690	шт
8	МН 2383-62	Переход эксцентрический, 500 × 300	6		шт
9	МН 2383-62	Переход концентрический, 400 × 200	6		шт
10	ГОСТ 10704-76	Трубопроводы электросварные, Ø500	40		ПМ
11	ГОСТ 10704-76	Трубопроводы электросварные, Ø400	15		ПМ
12	ГОСТ 10704-76	Трубопроводы электросварные, Ø600	25		ПМ
13	ГОСТ 5457-53	Кран подвесной электрический однобалочный, L=12 м	1	1126	шт