

НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

**Методические указания
для студентов специальности 2908
“Водоснабжение и водоотведение”**

Составитель

доц., канд. техн. наук **Л.Г. Дерюшев**

Рецензент

доц., канд. техн. наук **В.И. Баженов**
(Моск. ин-т коммунального хозяйства и строительства)

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение курсовых проектов по дисциплине “Насосные и воздухоудные станции” связано с решением комплекса задач по обоснованию выбора технологического, энергетического, грузо-подъемного оборудования, размеров сооружений и помещений насосных и воздухоудных станций.

Настоящие методические указания дают возможность правильно подойти к решению перечисленных выше задач на стадии учебного проектирования насосных станций систем водоотведения.

При выполнении графической части курсового проекта целесообразно пользоваться типовыми проектами, учебной и справочной литературой.

Размеры сооружений и помещений следует назначать в соответствии с действующими правилами по унификации производственных зданий и сооружений.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОБЪЕКТУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Объектом проектирования является *главная насосная станция* системы водоотведения населенного пункта. Насосная станция забирает воду из приемного резервуара и подает ее по водоводам на очистные сооружения. Схема подачи воды представлена на рис. 1. Система водоотведения выбирается полной раздельной, предусматривается для отвода и очистки бытовых сточных вод населенного пункта. Число жителей в городе 300 тыс. чел.

Сточные воды поступают на насосную станцию по сборному железобетонному коллектору. На подводящем коллекторе предусматривается аварийный выпуск и запорное устройство с приводом, управляемым с поверхности земли.

Отметка поверхности земли у насосной станции — $\sqrt{95}$ м.

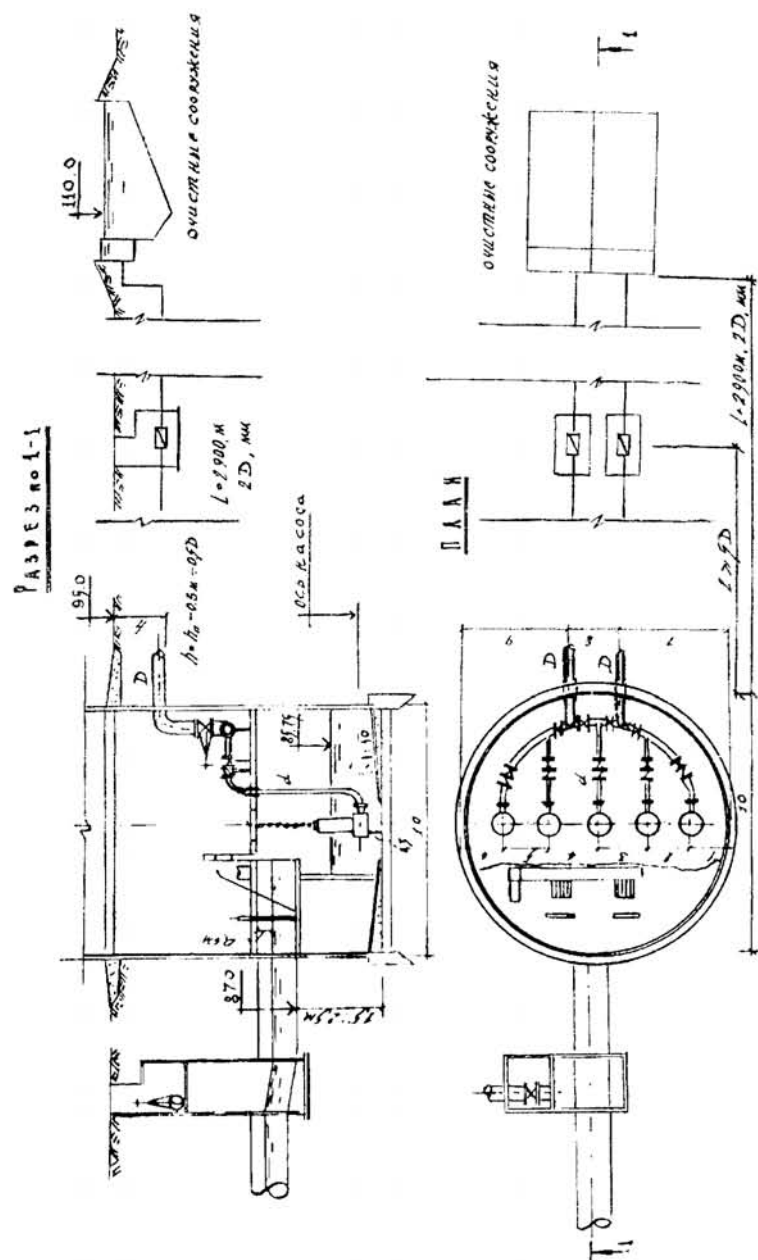


Рис. 1. Схема подачи сточных вод на очистные сооружения: 1, 2, 3 ... 10 — размеры, привязки

Отметка лотка железобетонного коллектора — $\sqrt{87}$ м (располагается на 8 м ниже поверхности земли).

Отметка уровня воды в камере решеток на очистных сооружениях — $\sqrt{110}$ м.

Длина напорных водоводов — 2900 м. Трубы чугунные ЧШГ с внутренним цементно-песчаным покрытием.

Насосная станция относится к 1-й категории надежности системы водоотведения.

Система водоотведения увеличивается по мере роста населенного пункта, в связи с чем насосную станцию целесообразно проектировать с учетом развития системы в две очереди. Проектной принимается II очередь строительства насосной станции. I очередь — промежуточный этап строительства. Средний приток сточных вод на I очередь составляет $Q_{\text{ср.сут I}} = 18000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Проектное (среднее за год) суточное поступление сточных вод на насосную станцию (на II очередь) составляет $Q_{\text{II}} = 33417,3 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Грунтовые воды не агрессивные и наблюдаются на глубине 3,7 м от поверхности земли. В месте расположения насосной станции залегают преимущественно суглинки.

Место строительства — центральная часть России.

Глубина промерзания — 1,5 м.

Напряжение тока в сети энергоснабжения $U = 3000 \text{ В}$.

Схема и конструктивные решения здания насосной станции (круглая или прямоугольная в плане, совмещенная с приемным резервуаром или отдельная и т.д.) выбираются в зависимости от условий строительства, глубины заложения и вида насосных агрегатов. Размеры станции, состав технологического оборудования уточняются по расчетным и справочным данным о количестве, марках насосов, запорно-регулирующей арматуры, трубопроводов и другого технологического оборудования.

В районе строительства проектируемого объекта грунтовые воды залегают на глубине менее чем 5 м, сточные воды не содержат горючих и взрывоопасных веществ (с опасной концентрацией для воспламенения), поэтому насосная станция проектируется совмещенной с приемным резервуаром. Подземная часть станции (круглая в плане) монтируется методом опускного колодца.

2. РАСЧЕТНЫЕ ПРИТОКИ СТОЧНЫХ ВОД

Подача воды насосной станцией назначается в зависимости от расчетных максимальных и минимальных притоков сточных вод в ее приемный резервуар (п.2.7 СНиП 2.04.03-85).

Расчетный максимальный приток сточных вод определяется по формуле

$$Q_{\text{сут}}^{\text{max}} = \frac{1}{24} \cdot Q_{\text{сут}}^{\text{ср}} \cdot K_{\text{ген max}},$$

расчетный минимальный приток сточных вод определяется по формуле

$$Q_{\text{сут}}^{\text{min}} = \frac{1}{24} \cdot Q_{\text{сут}}^{\text{ср}} \cdot K_{\text{ген min}},$$

где $Q_{\text{сут}}^{\text{ср}}$ - среднесуточный (за год) приток сточных вод;

$K_{\text{ген max}}, K_{\text{ген min}}$ - максимальный и минимальный общие коэффициенты неравномерности притока сточных вод (п.2.7 СНиП 2.04.03-85).

При анализе исходных данных и нормативных требований установлено, что общие коэффициенты неравномерности притока сточных вод равны: $K_{\text{ген max}} = 1,55$ и $K_{\text{ген min}} = 0,62$, а расчетные притоки сточных вод составляют:

Для I очереди развития системы водоотведения

$$Q_{\text{час I}}^{\text{max}} = \frac{1}{24} \cdot 16254,3 \cdot 1,55 = 1050 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{\text{час I}}^{\text{min}} = \frac{1}{24} \cdot 16254,3 \cdot 0,62 = 420 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для II очереди развития системы водоотведения (на расчетный период)

$$Q_{\text{час II}}^{\text{max}} = \frac{1}{24} \cdot 33417,3 \cdot 1,55 = 2158,2 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{\text{час II}}^{\text{min}} = \frac{1}{24} \cdot 33417,3 \cdot 0,62 = 836,2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

На этапе учебного проектирования насосной станции рассматривается случай только максимального притока сточных вод.

Все дальнейшие расчеты приводятся ниже для II очереди развития системы водоотведения. Работа насосной станции для I очереди развития проверяется.

3. КОЛИЧЕСТВО НАСОСОВ, РАСЧЕТНЫЕ ПОДАЧИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ, ЕМКОСТЬ ПРИЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА

Подача и количество насосов на насосной станции назначаются в зависимости от режимов поступления сточных вод, условий совместной работы насосов, водоводов, регулирующих емкостей и очередности ввода в действие объекта. В целях обеспечения взаимозаменяемости и упрощения эксплуатации оборудования на станциях чаще устанавливают однотипные насосы.

Расчетная подача насосной станции назначается по величине максимального притока сточных вод, т.е.:

- на I очередь

$$Q_{\text{нас.ст. рас I}} = 1050 / 3,6 = 291,6 \text{ л/с};$$

- на II очередь

$$Q_{\text{нас.ст. рас II}} = 2158,2 / 3,6 = 599,5 \text{ л/с}.$$

Насосная станция I-й категории при авариях на водоводах должна обеспечить 100%-ную подачу воды от Q притока сточных вод, т.е.

$$Q_{\text{нас.ст. ав}} = 599,5 \text{ л/с}.$$

Это условие может выполняться за счет дополнительного включения в работу резервных насосов, применения аварийных емкостей и мероприятий по уменьшению потерь напора по длине водоводов.

Количество насосных агрегатов на насосной станции должно приниматься с учетом неравномерности режима поступления сточных вод в приемный резервуар, условий обеспечения оптимальной работы насосной станции и достаточности для откачки поступающих сточных вод. Чем меньше насосов, двигателей, трубопроводов, запорной и регуливающей арматуры, тем меньше габариты и стоимость насосной станции.

Минимальное количество насосных агрегатов на насосной станции водоотведения должно приниматься по условию

$$m + n \geq 1 + n,$$

где m - количество рабочих агрегатов;

n - количество резервных агрегатов.

Количество рабочих насосных агрегатов назначается в результате анализа графика притока сточных вод и режима работы насосной станции по часам суток. Число резервных насосных агрегатов принимается в соответствии с требованиями нормативных документов по обеспечению надежности насосной станции. Целесообразно на насосной станции применять погружные насосные агрегаты, что позволяет совместить машинный зал с приемным резервуаром и отказаться от всасывающих трубопроводов.

Для насосной станции 1-й категории принимается не менее двух напорных водоводов и аварийный выпуск (см. п. 5.8 СНиП 2.04.03-85).

Дальнейшие расчеты выполняются в последовательности, изложенной выше.

После анализа заданного графика поступления сточных вод на насосную станцию (рис. 2) с учетом коэффициентов общей неравномерности водоотведения по часам суток (прил. 1) выбираются подачи и количество насосов:

подача насосной станции принимается равной *максимальному часовому притоку* сточных вод $Q_{\text{нас. ст}} = 6,46 \%$ от $Q_{\text{сут}}$, где $Q_{\text{нас. ст}} = 33417,3 \text{ м}^3/\text{сут} \approx 100 \%$;

количество однотипных рабочих насосных агрегатов $m = 3$ шт.

Общее количество насосных агрегатов на насосной станции 1-й категории, согласно требованиям СНиП, принимается равным $m + n = 3 + 2 = 5$.

В этой связи подача каждого однотипного насосного агрегата при индивидуальной работе должна быть в пределах

$$Q_1 = \frac{Q_{\text{нас. ст}}^{\text{max}}}{m} \cdot k_p = q_1^{\text{max}} \cdot 1,18 \approx 2,5 \%,$$

где k_p - коэффициент, учитывающий увеличение подачи насоса при отключении из работы двух насосов (табл. 1);

m - количество рабочих насосов.

Подача двух насосов составит

$$Q_{1+2} = Q_1 \cdot 2 \cdot 0,9 = 2,5 \cdot 2 \cdot 0,9 = 4,5 \%,$$

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

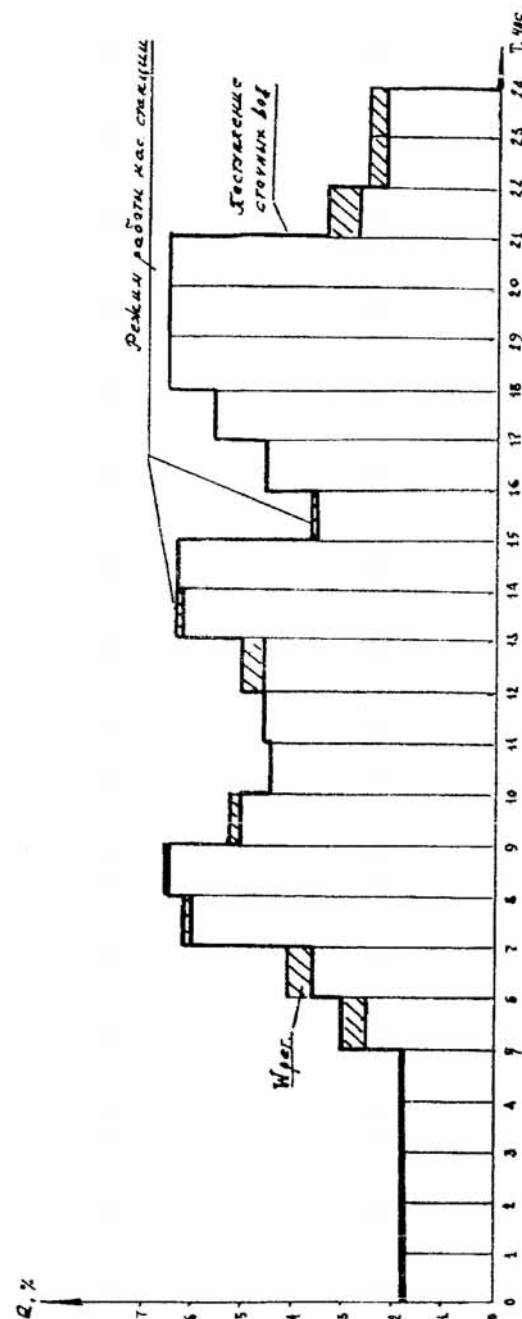


Рис. 2. График поступления и откачки сточных вод

Таблица 1

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

Количество насосов m	1	2	3
k_p	1,11	1,18	1,25

Принимая во внимание результаты выполненного выше анализа, расчетные подачи насосной станции могут быть равными:

при работе одного насоса $Q_1 = 2,5\%$ от $Q_{\text{сут}}$ или

$$Q_1 = \frac{33417,3}{100} \cdot 2,5 = 835,4 \text{ м}^3/\text{ч} = \frac{835,4}{3,6} = 232 \text{ л/с};$$

при совместной работе двух насосов

$$Q_{1+2} = 4,5\% \text{ от } Q_{\text{сут}} = \frac{33417,3}{100} \cdot 4,5 = 1503,7 \text{ м}^3/\text{ч} = 417,7 \text{ л/с};$$

при совместной работе трех насосов

$$Q_{1+2+3} = 6,46\% \text{ от } Q_{\text{сут}} \approx 2158,3 \text{ м}^3/\text{ч} = 599,5 \text{ л/с}.$$

Сточные воды поступают в приемный резервуар, поэтому его объем должен быть достаточен для их приема в период включения в работу любого из насосных агрегатов. Обычно время включения насосного агрегата в работу принимается равным $t = 5$ мин.

Если исходить из условия, что на стадии проектирования состав оборудования насосной станции не известен, минимальный объем регулирующей емкости приемного резервуара можно рассчитать по формуле

$$W_{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{J} \cdot \left(1 - \frac{Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{н.ст}}}\right),$$

где $Q_{\text{пр}}$ – 50% от $Q_{\text{макс. час}}$ притока сточных вод, при котором возможно максимальное включение насоса в час, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{н.ст}}$ – подача насосной станции;

J – максимально допустимое количество включений насоса в час.

Включения и отключения насосов в течение часа позволяют сократить объем приемного резервуара. Вместе с тем, подобный режим работы насосов усложняет эксплуатацию насосной станции и оказывает неблагоприятное влияние на изоляцию обмоток двигателей. При мощности двигателя насосного агрегата $N > 50$ кВт

рекомендуется принимать не более трех включений насоса в час (отечественных марок), а при $N < 50$ кВт – не более пяти.

По предварительным оценкам мощность однотипного двигателя, который будет устанавливаться на проектируемой насосной станции, $N > 50$ кВт, поэтому предполагается, что каждый насос может включаться и отключаться до трех раз в час. Тогда

$$W_{\text{рег}} = 0,5 \cdot \frac{2158,3}{3} \cdot \left(1 - 0,5 \frac{2158}{2158}\right) = 173 \text{ м}^3 \approx 0,47 \approx 0,5\% \text{ от } Q_{\text{сут}}.$$

Окончательный объем $W_{\text{рег}}$ приемного резервуара назначается после подбора насосных агрегатов и компоновки насосной станции.

С учетом предварительных данных о подачах насосов и режимах поступления сточных вод составляется график работы насосной станции. Все расчеты сводятся в табл. 2.

На интегральном графике притока и откачки сточных вод (рис. 3) отображается работа насосных агрегатов в экстремальных ситуациях. В частности, показано, что насосная станция может откачивать тремя насосами стоки, поступающие в час максимального притока, а одним насосом – стоки, поступающие в час минимального притока. При поступлении стоков в количестве 50% от $Q_{\text{макс. час}}$ два насоса откачивают их в две ступени включения и отключения за час.

$$Q_1 = 2,5\% Q_{\text{сут}} = 835,4 \text{ м}^3/\text{ч} = 232 \text{ л/с}, Q_{1+2} = 4,5\%, Q_{\text{сут}}, Q_{1+2+3} = 6,46\% Q_{\text{сут}}, W_p = 0,6\%; Q_{\text{сут}} = 33417,3 \cdot 0,6 \cdot 0,01 = 200,5 \text{ м}^3;$$

Время работы насосов по минутам в часы суток рассчитывается с учетом того, что

с 0-1 часа $1,8 = 2,5x$, $x = 0,72$ или 1 насос работает 44 мин.;

с 6-7 часа $4,1 = 2,5x + 4,5(1-x)$, $x = 0,2$ или 1 насос работает 12 мин, а 2 насоса – 48 мин;

с 7-8 часа $6 = 4,5x + 6,46(1-x)$, $x = 0,23$ или 2 насоса работают 14 мин, а 3 насоса – 46 мин;

с 9-10 часа $5,14 = 4,5x + 6,46(1-x)$, $x = 0,67$ или 2 насоса работают 40 мин, а 3 насоса – 20 мин;

с 10-11 часов $4,3 = 2,5x + 4,5(1 - x)$, $x = 0,1$ или 1 насос работает 6 мин., а 2 насоса – 54 мин.;

с 15-16 часов $3,6 = 2,5x + 4,5(1 - x)$, $x = 0,45$ или 1 насос работает 27 мин., а 2 насоса – 33 мин.;

с 17-18 часов $5,5 = 4,5x + 6,46(1 - x)$, $x = 0,49$ или 2 насоса работают 30 мин., а 3 насоса – 30 мин.;

с 21-22 часов $2,62 = 2,5x + 4,5(1 - x)$, $x = 0,94$ или 1 насос работает 56 мин., а 2 насоса – 4 мин.

Итого за сутки режим работы насосов:

1 насос - 496 мин = 8,27 ч,

2 насоса - 403 мин = 6,72 ч,

3 насоса - 410 мин = 6,84 ч.

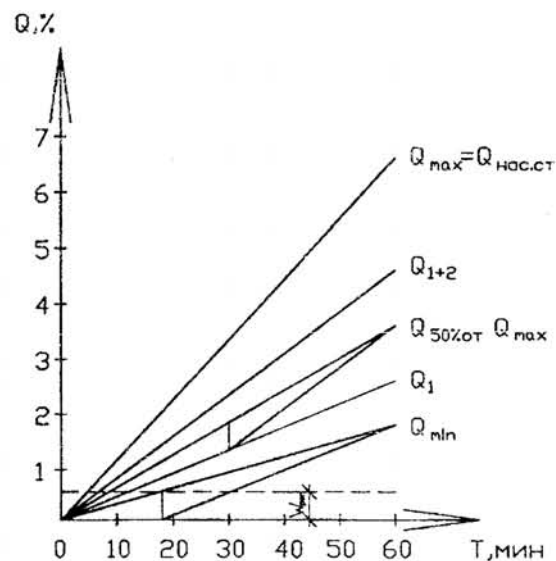


Рис. 3. Интегральный график поступления и откачки сточных вод:

$$W_{\text{пор}} = 0,6\%; Q_{\text{max}} = 6,46\%; Q_1 = 2,5\%;$$

$$Q_{1+2} = 4,5\%; Q_{\text{наст.ст}} = 6,46\%$$

Таблица 2

Баланс поступления и откачки сточных вод
предварительно выбранными насосами

Часы суток	Приток Q , %	Откачка $Q_{\text{наст.ст}}$, %	Поступление, %		$W_{\text{рег}}$, %	Число и время работы насосов
			в резер.	из резер.		
0-1	1,8	1,8	-	-	0	1 насос - 43 минуты
1-2	1,8	1,8	-	-	0	То же
2-3	1,8	1,8	-	-	0	"
3-4	1,8	1,8	-	-	0	"
4-5	1,8	1,8	-	-	0	"
5-6	3	2,5	0,5	-	0,5	1 насос
6-7	3,6	4,1	-	0,5	0	1 нас. - 12 мин, 2 нас. - 48 мин
7-8	6,2	6	0,2	-	0,2	2 нас. - 14 мин, 3 нас. - 46 мин
8-9	6,4	6,46	-	0,06	0,14	3 насоса
9-10	5	5,14	-	-	0	2 нас. - 40 мин, 3 нас. - 20 мин
10-11	4,3	4,3	-	-	0	1 нас. - 6 мин, 2 нас. - 54 мин
11-12	4,5	4,5	-	-	0	2 насоса
12-13	5	4,5	0,5	-	0,5	То же
13-14	6,2	6,46	-	0,26	0,24	3 насоса
14-15	6,3	6,46	-	0,14	0,1	То же
15-16	3,5	3,6	-	0,1	0	1 нас. - 27 мин, 2 нас. - 33 мин
16-17	4,5	4,5	-	-	0	2 насоса
17-18	5,5	5,5	-	-	0	2 нас. - 30 мин, 3 нас. - 30 мин
18-19	6,46	6,46	-	-	0	3 насоса
19-20	6,46	6,46	-	-	0	То же
20-21	6,46	6,46	-	-	0	"
21-22	3,22	2,62	0,6	-	0,6	1 нас. - 56 мин, 2 нас. - 4 мин
22-23	2,2	2,5	-	0,3	0,3	1 насос
23-24	2,2	2,5	-	0,3	0	То же

4. РАСЧЕТНЫЙ НАПОР НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Полный напор насосной станции определяется для режима наибольшей подачи воды по водоводам, т.е. когда подается $Q_{\text{нас.ст}} = 599,6$ л/с, по формуле

$$H = H_r + h + h_{\text{зап}},$$

где H_r – геометрическая высота подъема воды, м; $H_r = Z_{0,c} - Z_{\text{рез}}$,
(здесь $Z_{0,c}$ – отметка уровня воды в точке сброса; $Z_{0,c} = 110$ м;
 $Z_{\text{рез}}$ – отметка уровня воды в приемном резервуаре; $Z_{\text{рез}} = 85,75$ м);

$$h = h_{\text{вс}} + h_{\text{нап}}$$

(здесь $h_{\text{вс}}$ – потери напора на пути движения жидкости во всасывающем трубопроводе, м; $h_{\text{вс}} = i \cdot L \cdot 1,2 + 1,5$;

$h_{\text{нап}}$ – потери напора в напорном трубопроводе, м;

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

$h_{\text{зап}} = 1$ – запас на излив жидкости из трубопровода, м,

где i – гидравлический уклон; $i = A \cdot Q^2 \cdot k$

(здесь A, k – коэффициенты, которые принимаются для труб с цементно-песчаным покрытием по таблицам для гидравлического расчета труб Ф.А. Шевелева либо по таблицам прил. 2);

L – длина напорного водовода; $L = 2900$ м;

1,2 и 1,1 – коэффициенты, учитывающие местные сопротивления в напорном и всасывающем трубопроводах;

1,5 и 2 м – потери напора в коммуникациях насосной станции всасывающей и напорной линий.

$$H_r = 110 - 85,75 = 24,25 \text{ м.}$$

Отметка расчетного уровня воды в приемном резервуаре принимается как средняя величина между отметкой лотка коллектора и отметкой дна резервуара. Глубина приемного резервуара назначается в пределах $H_{\text{рез}} = 1,5 \dots 2,5$ м. В данном примере $H_{\text{рез}} = 2,5$ м.

На проектируемой насосной станции всасывающие трубопроводы отсутствуют, поэтому $h_{\text{вс}} = 0$.

Для насосной станции I-й категории принимаются два напорных водовода из чугунных труб с внутренним цементно-песчаным покрытием. Строительство предусматривается в центральной части России с умеренным континентальным климатом.

Расход воды по каждому водоводу составляет $Q_{\text{ив}} = 599,6/2 = 299,8$ л/с. Диаметры напорных водоводов назначаются с учетом

экономического фактора Δ , который учитывает район строительства объекта, стоимость электроэнергии, транспортные затраты.

По таблицам для гидравлического расчета труб (либо по таблицам прил. 2) при $Q_{\text{ив}} = 299,8$ л/с и $\Delta = 0,75$ определим:

$$D_{\text{уч}} = 500 \text{ мм, } \theta = 1,51 \text{ м/с, } i = 0,004688,$$

где $i = A \cdot Q^2 \cdot k = 0,05526 \cdot 0,2998^2 \cdot 0,944 = 0,004688$;

$A = 0,05526$ для чугунных труб $D_{\text{уч}} = 500$ мм, $k = 0,944$.

Тогда потери напора в трубопроводах и коммуникациях насосной станции

$$h_{\text{нап}} = 0,004688 \cdot 1,1 \cdot 2900 + 2 = 16,95 \approx 17 \text{ м.}$$

Полный расчетный напор насосной станции или каждого насоса, при их совместной работе, рассчитывается по формуле

$$H = H_r + h + h_{\text{зап}} = 24,25 + 1 + 17 = 42,25 \approx 42 \text{ м,}$$

где $H_r = 24,25$ м;

$$h_{\text{зап}} = 1 \text{ м.}$$

Напорные водоводы укладываются на глубину

$$H = H_{\text{пр}} + 0,5 \text{ м} = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ м,}$$

где $H_{\text{пр}}$ – глубина промерзания; $H_{\text{пр}} = 1,5$ м (по заданию).

Всасывающие водоводы отсутствуют, поскольку на насосной станции предусматривается применение погружных насосов.

5. ДИАМЕТРЫ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ПРЕДЕЛАХ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

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

Диаметры труб и запорно-регулирующей арматуры для напорных (как и для всасывающих) трубопроводов назначаются в зависимости от расходов, экономических скоростей движения воды и наличия соответствующего сортамента труб и запорно-регулирующей арматуры (при этом используют таблицы для гидравлического расчета труб, справочную литературу).

Каждый насос при совместной работе подает

$$Q_{\text{н.1}} = \frac{599,6}{3} = 199,9 \approx 200 \text{ л/с.}$$

По трубопроводу каждого насосного агрегата поступает $q=200$ л/с. Диаметр трубопровода насосной установки назначается по расчетному расходу q_T и экономической скорости ϑ , значения которой должны находиться в рекомендуемых пределах (табл. 3).

Таблица 3
Рекомендуемые скорости движения воды
в трубопроводах насосной станции

D _{усл} , мм	ϑ , м/с	
	Всасывающий трубопровод	Напорный трубопровод
< 250	0,6-1	0,8-2
300 – 800	0,8-1,5	1-3
> 800	1,2-2	1,5-4

В проекте диаметр напорного трубопровода каждого насосного агрегата насосной станции принимается равным $d_{\text{нап}} = 400$ мм, при $\vartheta = 1,5$ м/с. Диаметр напорного коллектора ("гребенки") принимается по диаметру напорного водовода $d = 500$ мм.

6. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПОДБОР НАСОСОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Выбор марки насоса осуществляется по каталогу насосов с учетом его энергетических параметров:

$$Q_{\text{нас}} = 200 \text{ л/с}, H = 42 \text{ м}, N_{\text{дв}} = N \cdot k,$$

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{пр}}},$$

где Q – подача насоса, м³/с;

H – напор, м;

γ – объемный вес жидкости, 1000 кг/м³;

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода; $\eta_{\text{пр}} = 1$;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД насоса; $\eta_{\text{п}} = 0,8$;

k – коэффициент запаса; принимается по табл. 4.

$$N_{\text{дв}} = \frac{200 \cdot 42}{102 \cdot 0,8} \cdot 1,15 = 118,38 \text{ кВт}.$$

Таблица 4
Коэффициент запаса электродвигателей

Мощность, N _{дв}	< 20 кВт	20÷50 кВт	50÷300 кВт	>300 кВт
k	1,25	1,2	1,15	1,1

Этим значениям соответствуют параметры погружного насоса для перекачивания сточных вод Z6252 C2 фирмы ABS, с диаметром рабочего колеса $D_{\text{кол}} = 460$ мм; диаметром напорного патрубка $D = 250$ мм; с электродвигателем $N = 132$ кВт; вес агрегата – 1200 кг, $U = 380$ В, $n = 1485$ об./мин.

В этом случае паспортные данные электродвигателя несколько превышают расчетные параметры, полученные выше по формулам (например, $132 > 118,38$ кВт). Недогрузка двигателя по мощности составляет $N = 132 - 118,38 = 13,62$ кВт или 10 %, что меньше допустимых 20...40 % (уровень кратковременной недогрузки или перегрузки энергооборудования).

Окончательный выбор электродвигателя, так же как и самого насоса (количество насосов), будет проведен после проверки работы насосной станции на случай подъема воды в час максимального притока, возможности подачи воды при аварии на водоводах и на период 1-й очереди строительства.

Проверка работы насосных агрегатов при различных режимах поступления сточных вод производится по характеристикам совместной работы насосов и водоводов.

7. ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ И ВОДОВОДОВ ПРИ ИХ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ

Характеристики насосов вычерчиваются (рис. 4, 5) по паспортным данным выбранных марок насосов. Зависимости H - Q параллельно работающих однотипных насосов строятся методом сложения подач Q_j (каждого насоса) при напорах H_j (линии равных напоров на графике проводятся с произвольно выбранным шагом ΔH). Аналогично строятся характеристики водоводов. При этом учитывается

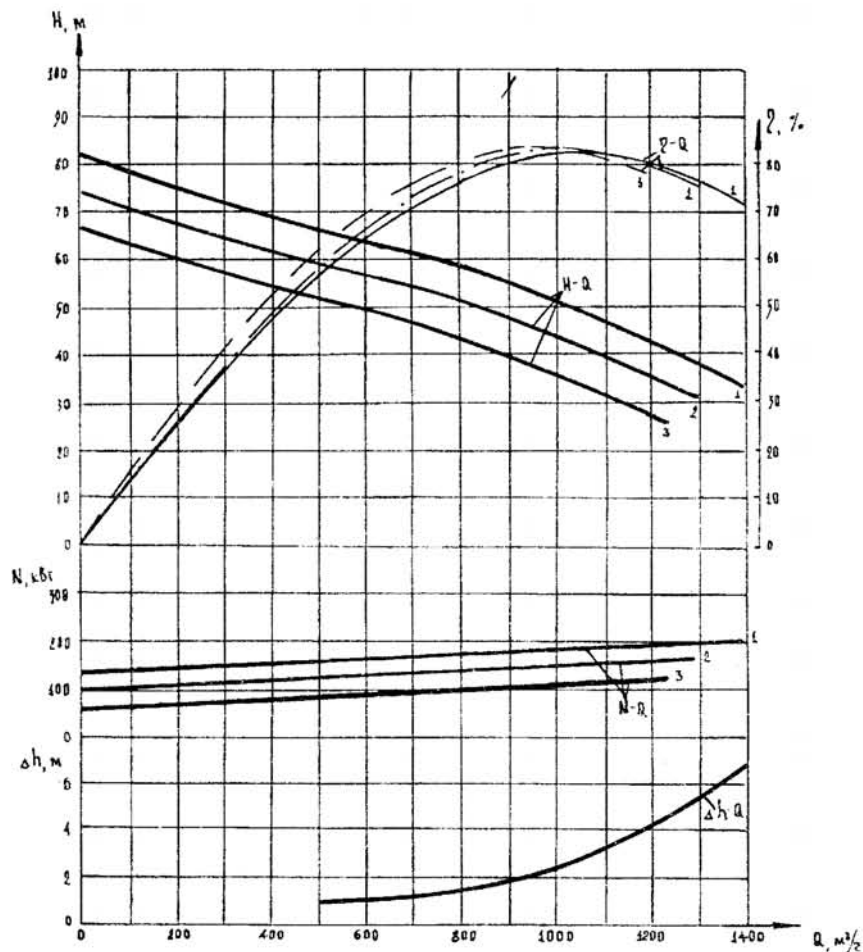


Рис. 4. Рабочая характеристика насоса Z6252 C2 фирмы ABS с параметрами: $n = 1485$ об/мин и диаметре рабочего колеса
1) $D = 473$ мм, 2) $D = 460$ мм, 3) $D = 420$ мм

$$H_r = Z_{0.c} - Z_{y.vp} + H_{зап};$$

$$H_r = 110 - 85,75 + 1 = 25,25 \text{ м};$$

$$H_j = h_j + H_r = SQ_j^2 + H_r,$$

где H_j – напор в точке j , м;

Q – подача, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q = 0,2998$;

$h_j = i \cdot L \cdot k + H_{зап} = SQ_j^2$; равенство принимается в целях соблюдения единства функциональной зависимости при построениях H - Q насосов и характеристик водоводов;

S – приведенное сопротивление трубопровода; $S = h/Q^2$;

h – потери напора в трубопроводе; $h = SQ^2 = 17$ м;

j – последовательность итерационных расчетов; $j = 1, 2, 3 \dots$

Приведенное сопротивление напорного водовода при максимальной подаче сточных вод рассчитывается по формуле

$$S = \frac{17}{0,2998^2} = 189,14.$$

Построение характеристики водовода по формуле $H_j = H_r + SQ_j^2$ выполняется по точкам итерациями при заданном значении Q_j .

Расчетные данные для построения характеристики водоводов приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные параметры для построения характеристик всасывающего водовода при подаче воды в час максимального притока сточных вод

j	$Q_j, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_j^2, \text{м}^3/\text{с}^2$	$S = 189,14$	$h_j = SQ_j^2, \text{м}$	$H_j = H_r + h_j, \text{м}$
1	0,05	0,0025	189,14	0,47	25,72
2	0,1	0,01	189,14	1,89	27,14
3	0,2	0,04	189,14	7,56	32,81
4	0,3	0,09	189,14	17,02	42,27
5	0,4	0,16	189,14	30,26	55,51
6	0,5	0,25	189,14	47,28	72,53

7

Если перенести на график рис. 5 ординаты $H_j = H_r + h_j$ при Q_j , то будут получены точки, по которым строится кривая SQ^2 одного водовода. Характеристика $2SQ^2$ двух водоводов строится методом сложения подач Q_j по линиям равных напоров при H_j . Выполним таким образом построения характеристик H - Q_{1+2+3} и $2SQ^2$.

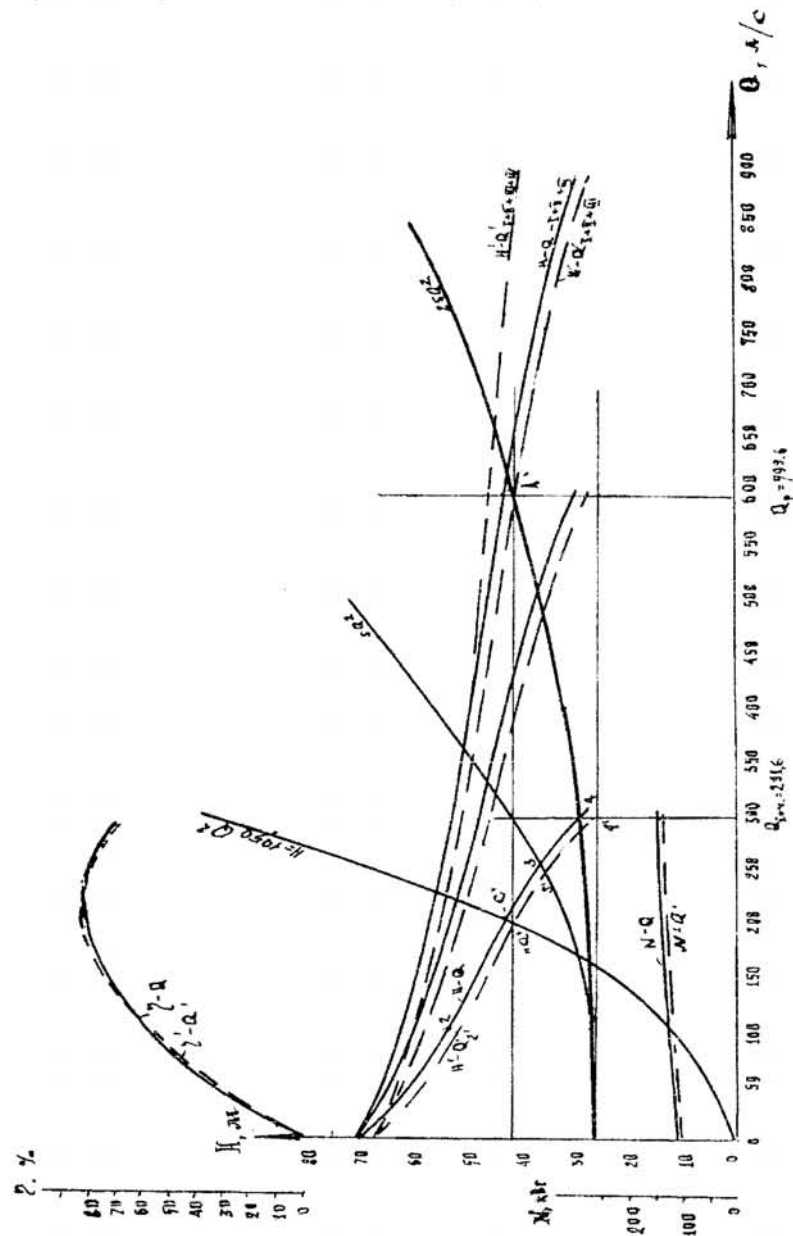


Рис. 5. Характеристики насосов и водоводов при их совместной работе:
 $Q_{\text{расч}} = 599,6 \text{ л/с}$; $H = 42 \text{ м}$, $H' = 25,25 \text{ м}$; $Q_{\text{н.ст.1}} = 291,6 \text{ л/с}$

получим точку пересечения кривых - "Ф". По графику на рис. 6 видно, что координаты точки "Ф" $[Q, H]$ превышают расчетные значения $Q_{\text{расч}}$ и $H_{\text{расч}}$ (т.е. $620 > 599,6 \text{ л/с}$, а $43 > 42 \text{ м}$). В целях экономии электроэнергии на подачу воды насосной станцией необходимо предусмотреть регулирование ее работы. Методы регулирования работы насосной станции и отдельных насосов разнообразны: изменением числа совместно работающих насосов, дросселированием задвижкой на напорной линии насоса, изменением частоты вращения ротора насоса, применением входных направляющих аппаратов, изменением характеристики насоса за счет обточки его колеса и т.д.

Обточка рабочего колеса позволяет изменить параметры $H - Q$ насоса для одного режима его работы. Более совершенный метод регулирования подачи и напора насоса - это изменения частоты вращения колеса насоса при изменении скорости вращения ротора электродвигателя.

Изменять скорость вращения ротора электродвигателя можно следующими способами:

- параметрическим - изменением сопротивлений обмоток ротора или статора (введением реостатов в цепи ротора или статора) или изменением прикладываемого напряжения. Регулирование осуществляется вниз от основной скорости. Диапазон регулирования зависит от нагрузок. Потери в роторной цепи пропорциональны скольжению;
- частотным - изменением частоты f (напряжения U) подводимого к двигателю тока с помощью преобразователя частоты. Изменения частоты и напряжения связаны соотношением $U_2/U_1 = f_2/f_1$ при постоянном нагрузочном моменте.

Применяя частотный способ, можно обеспечить работу двигателя с примерно постоянными значениями η и $\cos\phi$, причем скольжение ротора двигателя не зависит от частоты и нагрузочного момента;

- изменяя число пар полюсов, что осуществляется либо переключением обмоток статора, либо введением дополнительных обмоток, а также переключением обмоток статора с треугольника на звезду. Этот способ позволяет изменить число оборотов ротора двигателя ступенчато, что для привода насоса нежелательно;

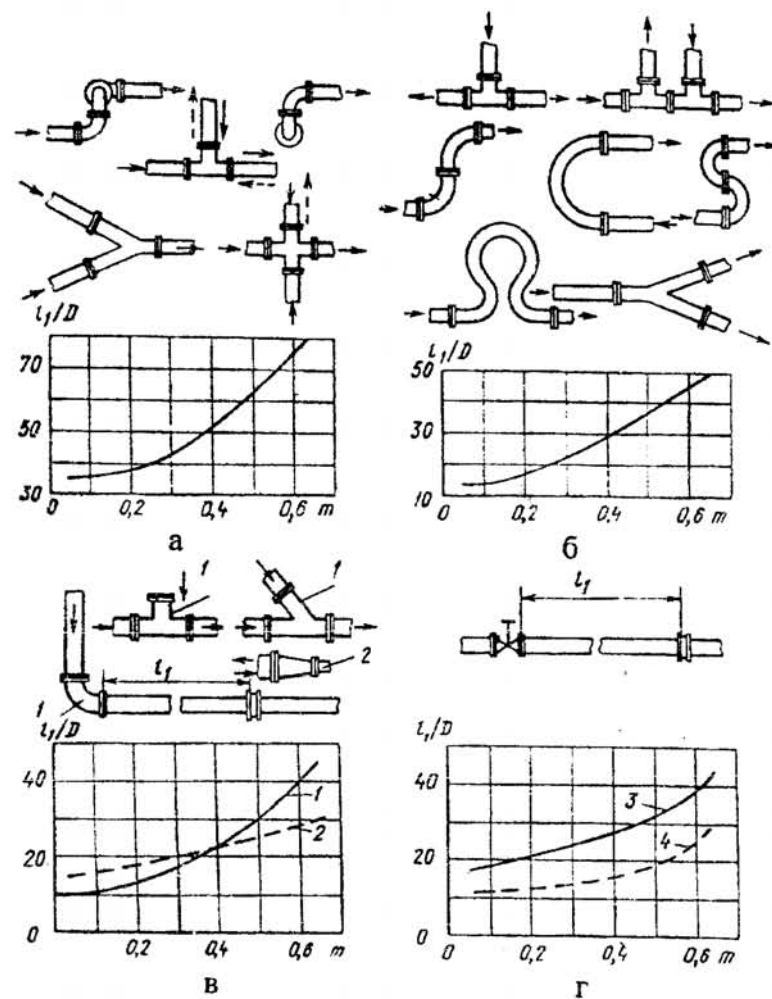


Рис. 6. Графики для определения необходимых длин прямых участков трубопроводов перед диафрагмами, соплами и соплами Вентури: а - прямые участки за местными сопротивлениями, создающими винтовое движение потока; б - то же за двойными поворотами потока; в - то же за местными сопротивлениями, не создающими винтового движения потока, и за конически сходящимися патрубками; г - то же за полностью открытыми вентилем и задвижкой; 1, 2, 3, 4 - кривые соответственно для колен и тройников, переходов, вентиля и задвижки

• каскадного включения дополнительного двигателя в цепь ротора; при этом способе дополнительная машина возвращает энергию скольжения (при изменении числа оборотов ротора основной машины) на вал основной машины или в сеть, питающую двигатель. Различают электромеханический и электрический каскады.

Этот способ заключается в том, что в цепь ротора асинхронного двигателя вводится с помощью дополнительной машины добавочная электродвижущая сила с частотой, совпадающей с частотой ротора. При согласованном включении скорость повышается, при встречном - понижается.

Для привода насосного агрегата может быть использован электрический каскад;

- применяя коллекторные двигатели;
- применяя электромагнитные муфты скольжения;
- применяя гидромуфты.

На проектируемой насосной станции предусматриваются насосные агрегаты с электродвигателями, которые оборудованы преобразователями частоты тока. Поэтому в данном случае принимается частотный метод регулирования подачи и напора каждого насоса.

При изменении числа оборотов колеса насоса с n на n_1 подача Q и напор H насоса изменяются в соответствии с законом пропорциональности:

$$Q/Q_1 = n/n_1; \quad H/H_1 = (n/n_1)^2.$$

Из этого закона следует: $H = Q^2 \cdot \frac{H_1}{Q_1^2}$ - уравнение параболы с

вершиной в начале координат.

Если $\frac{H_1}{Q_1^2} = k$, $\frac{42}{0,2^2} = 1050$, то можно записать: $H = 1050 \cdot Q^2$ -

кривая, по которой смещаются расчетные значения H и Q при изменении n .

Построение измененной характеристики $H - Q_1$ по отношению к первоначальной характеристике $H - Q$ насоса осуществляется в следующей последовательности:

- на оси абсцисс координатной сетки $H - Q$ наносится точка “*”, соответствующая расчетному значению $Q_{\text{нас.ст}} = 599,6 \text{ л/с}$;

- из точки “*” проводится перпендикуляр до пересечения с характеристикой водоводов $2SQ^2$ в точке “А” (координаты точки пересечения “А” соответствуют расчетным значениям подачи и напора насосной станции);

- из точки “А” проводится горизонталь (линия расчетного напора $H = 42 \text{ м}$);

- на горизонтали, начиная от оси ординат, откладывается отрезок, длина которого соответствует параметру $Q_1 = \frac{Q_{\text{нас.ст}}}{m}$, где m – количество насосов, работающих параллельно; $m = 3$.

Таким образом, на графике рис. 5 определяется точка “а” с координатами: $Q_1 = 200 \text{ л/с}$, $H_1 = 42 \text{ м}$. Через точку “а” должна проходить характеристика насоса $H' - Q'$ с измененным числом оборотов n_1 .

Выше отмечалось, что при изменении n точки на характеристике $H - Q$ смещаются по кривой $H = kQ^2$.

Выполнив построение кривой $H = 1050 \cdot Q^2$ (по данным табл. 6), проходящей через точку “а”, на первоначальной характеристике $H - Q$ получим точку “с” с координатами $Q_c = 208 \text{ л/с}$, $H_c = 43$.

Таблица 6

Расчетные параметры для построения кривой подобия режимов работы насоса

j	$Q_j, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_j^2, \text{м}^3/\text{с}$	k	$H_j = k \cdot Q_j^2$
1	0,1	0,01	1050	10,50
2	0,2	0,04	1050	42
3	0,3	0,09	1050	94,5

Далее, в соответствии с пропорциональностью $Q/Q_1 = n/n_1$, рассчитываются искомые величины:

$$\frac{0,208}{0,200} = \frac{1450}{n_1}; \quad n_1 = \frac{1450 \cdot 0,200}{0,208} = 1394,2 \approx 1394 \text{ об/мин};$$

$$k_q = \frac{n}{n_1} = \frac{1450}{1394} = 1,0; \quad k_n = \frac{H}{H_1} = \frac{43}{42} = 1,023,$$

где k_q , k_n – коэффициенты пропорциональности.

Заметим, что $k_q^2 \neq k_n$. Это несоответствие связано с рядом теоретических допущений, которые принимаются при выводе “закона пропорциональности”.

Чтобы выполнить построение новой характеристики $H' - Q'$ при $n_1 = 1394 \text{ об/мин}$, необходимы дополнительные точки. Координаты этих точек рассчитываются по координатам точек 2, 3, 4, выбранных произвольно на характеристике $H - Q$ (табл. 7).

Таблица 7

Расчетные параметры насоса до и после регулирования частоты вращения ротора насоса

n, об/мин	Точка 2			Точка 3			Точка 4		
	H, м	Q, м ³ /с	η , %	H, м	Q, м ³ /с	η , %	H, м	Q, м ³ /с	η , %
1450	47,5	0,1	55	40	0,25	77	32,5	0,3	72
1394	45,67	0,097	54,6	38,46	0,244	76,8	31,25	0,293	71,8

Примечание. $k_q = 1,04$; $k_n = 1,023$.

При новом числе оборотов n_1 изменяется и значение КПД насоса η_1 . Пересчитать характеристику $\eta_1 - Q'$ при $n_1 = 1394 \text{ об/мин}$ можно (см. табл. 7) по формуле Moody:

$$\eta_n = 1 - [(1 - \eta_m) (D_m/D_n)^{0,45} (n_m/n_n)^{0,2}], \quad D_m/D_n = 1.$$

Таким образом, меняя число оборотов колеса (вала) насоса можно регулировать подачу и напор насоса в оптимальных пределах.

Для уточнения режима работы насосной станции, у которой энергетические параметры насосов будут соответствовать данным графических построений (см. рис. 5), составляется таблица баланса поступлений и откачки сточных вод при выбранной емкости $W_{\text{пер}} = 200,5 \text{ м}^3 = 0,6\% \text{ от } Q_{\text{сут}}$ (табл. 8).

По графику рис. 5 определим: $Q_1 = 274,8 \text{ л/с} = 2,96 \%$; $Q_{1+2} = 515 \text{ л/с} = 5 \%$; $Q_{1+2+3} = 599,6 \text{ л/с} = 6,46 \%$.

Таблица 8

**Баланс поступления и откачки сточных вод
предварительно выбранными насосами**

Часы суток	Приток Q, %	Откачка Q _{н.с.} , %	Поступление, %		W _{перс} %	Число и время работы насосов
			в резер.	из резер.		
0-1	1,8	1,8	-	-	0	1 насос - 36 мин
1-2	1,8	1,8	-	-	0	“
2-3	1,8	1,8	-	-	0	“
3-4	1,8	1,8	-	-	0	“
4-5	1,8	1,8	-	-	0	“
5-6	3	2,96	0,04	-	0,04	1 насос
6-7	3,6	3,38	0,22	-	0,26	1 нас. - 48 мин, 2 нас. - 12 мин
7-8	6,2	6,46	-	0,26	0	3 насоса
8-9	6,4	6,4	-	-	0	2 нас. - 2 мин, 3 нас. - 58 мин
9-10	5	5	-	-	0	2 насоса
10-11	4,3	3,8	-	0,5	0,5	1 нас. - 35 мин, 2 нас. - 25 мин
11-12	4,5	5	-	-	0	2 насоса
12-13	5	5	-	-	0	То же
13-14	6,2	5,7	0,5	-	0,5	2 нас. - 32 мин, 3 нас. - 28 мин
14-15	6,3	6,46	-	0,14	0,36	3 насоса
15-16	3,5	3,38	0,12	-	0,48	1 нас. - 48 мин, 2 нас. - 12 мин
16-17	4,5	4,98	-	0,48	0	1 нас. - 1 мин, 2 нас. - 59 мин
17-18	5,5	5,5	-	-	0	2 нас. - 39 мин, 3 нас. - 21 мин
18-19	6,46	6,46	-	-	0	3 насоса
19-20	6,46	6,46	-	-	0	То же
20-21	6,46	6,46	-	-	0	“
21-22	3,22	2,96	0,26	-	0,26	1 насос
22-23	2,2	2,46	-	0,26	0	1 нас. - 50 мин
23-24	2,2	2,2	-	-	0	1 нас. - 45 мин

Время работы насосов по минутам в часы суток рассчитывается аналогично:

с 0-1 часа $1,8 = 2,96x$, $x = 0,608$ или 1 насос - 36 мин;

с 6-7 часа $3,38 = 2,96x + 5(1-x)$, $x = 0,79$ или 1 насос - 48 мин,
2 насоса - 12 мин;

с 8-9 часа $6,4 = 5x + 6,46(1-x)$, $x = 0,04$ или 2 насоса - 2 мин,
3 насоса - 58 мин;

с 6-7 часа $3,38 = 2,96x + 5(1-x)$, $x = 0,79$ или 1 насос - 48 мин,
2 насоса - 12 мин;

с 10-11 часов $3,8 = 2,96x + 5(1-x)$, $x = 0,59$ или 1 насос -
35 мин, а 2 насоса - 25 мин;

с 13-14 часов $5,7 = 5x + 6,46(1-x)$, $x = 0,52$ или 2 насоса -
32 мин, а 3 насоса - 28 мин;

с 16-17 часов $4,98 = 2,96x + 5(1-x)$, $x = 0,52$ или 2 насоса -
32 мин, а 3 насоса - 28 мин;

с 17-18 часов $5,5 = 5x + 6,46(1-x)$, $x = 0,65$ или 2 насоса -
39 мин, а 3 насоса - 21 мин;

с 22-23 часов $2,46 = 2,96x$, $x = 0,83$ или 1 насос - 50 мин;

с 23-24 часов $2,2 = 2,96x$, $x = 0,74$ или 1 насос - 45 мин.

Итого за сутки:

1 насос должен работать 527 мин $\approx 8,8$ час, 2 насоса -
361 мин ≈ 6 час, 3 насоса - 407 мин = 6,8 часа.

8. ПРОВЕРКА ПОДАЧИ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ И НА I ОЧЕРЕДЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

Согласно требованиям СНиП, насосная станция, имеющая аварийный выпуск, должна обеспечить 100%-ную подачу воды от $Q_{расч}$ на очистные сооружения при аварии на одном из водоводов, что составляет

$$Q_{ав} = 599,6 \text{ л/с.}$$

Из графика рис. 5 видно, что если один из водоводов полностью перекрыть, то подача воды насосной станцией будет снижена более чем на 30% от $Q_{расч}$. Избежать недопустимого снижения подачи воды насосной станцией можно либо установкой на ней

дополнительного насосного агрегата и устройством переключений на водоводах (водоводы делятся на ремонтные участки с переключениями между ними), либо устройством дополнительной аварийной емкости $W_{ав}$.

Допускается, что в случае аварии на водоводе в работу включается дополнительно один резервный насосный агрегат и отключается ремонтный участок на отказавшем водоводе. Количество ремонтных участков на каждом водоводе рассчитывается.

Выразим удельное сопротивление водоводов при аварии в долях от удельного сопротивления водоводов в период нормальной их работы S :

$$S_a = \alpha \cdot S;$$

$$\alpha = \frac{z+3}{z},$$

где z – число ремонтных участков на каждом из водоводов.

Известно

$$h = S \cdot Q^2;$$

$$h_a = S_a \cdot Q_a^2.$$

При нормальном режиме

$$h = 17 \text{ м}, \quad Q = 599,6 \text{ л/с} = 0,5996 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$S = \frac{17}{0,5996^2} = 47,28.$$

При аварии на водоводах (см. рис. 5) необходимо и достаточно, чтобы

$$h_a = 21,8 \text{ м}, \quad Q_a = 599,6 \text{ л/с} = 0,5996 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тогда

$$S_a = \frac{21,8}{0,5996^2} = 60,6;$$

$$\alpha = S_a/S = 60,6 / 47,28 = 1,28;$$

$$1,28 = \frac{z+3}{z};$$

$$0,28z = 3, \text{ следовательно, } z = 10,7 \text{ или } z \rightarrow \infty.$$

Следовательно, в данной ситуации устройство большого числа ремонтных участков на водоводах не целесообразно, поэтому предусматривается аварийно-регулирующий резервуар АРР емкостью

$$W_{ав} = \Delta Q \cdot t_{ав} = 632 \cdot 12 = 7584 \text{ м}^3,$$

где ΔQ – среднечасовое снижение подачи воды при аварии на одном из водоводов; $\Delta Q = \frac{37000}{24} \cdot 0,41 = 632 \text{ м}^3$;

$t_{ав}$ – среднее время ликвидации аварии на водоводе $D 400$ мм (см. СНиП); $t_{ав} = 12$ ч;

Возможная подача насосной станции при аварии на одном из водоводов и дополнительном включении в работу резервного агрегата (определяется по графику совместной работы насосов и водоводов) равна 330 л/с. Доля снижения подачи воды насосной станцией при аварии на одном из водоводов $1 - \frac{330}{599,6} = 0,416$.

В связи с этим на насосной станции предусматривается аварийно-регулирующий резервуар (АРР), куда будут поступать сточные воды в период аварии на водоводе. В часы минимального притока $Q_{мин}$ накопленные в АРР сточные воды будут откачиваться насосной станцией. Дополнительно АРР будет выполнять функции регулятора при неравномерности поступления сточных вод в целях обеспечения оптимальной работы насосной станции.

При анализе характеристик совместной работы насосов и водоводов можно убедиться также, что на I очередь строительства расчетная подача $Q = 291,6$ л/с может обеспечиваться одним насосом при работе на два водовода.

Следовательно, предварительно подобранные насосы и электродвигатели обеспечивают подачу воды при всех расчетных режимах работы насосной станции.

9. ПОДБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ

Выбранные по каталогу электрические двигатели для привода насосов рассчитаны на работу при напряжении электрического тока $U = 660$ В (в зависимости от приведенной в каталоге марки электродвигателя).

По заданию напряжение тока в сети энергоснабжения $U = 6000$ В. Чтобы обеспечить поступление тока к электродвигателям

телям с требуемым напряжением, необходимо предусмотреть установку на насосной станции понижающих силовых трансформаторов.

“Кажущаяся” мощность трансформаторов оценивается по мощности приводных электродвигателей основной группы насосов и мощности электроприводов задвижек, подъемного оборудования, вспомогательных насосов, электроосветительных, электроотопительных устройств и рассчитывается по формуле

$$S = K_c \Sigma P_n / \eta \cos \varphi + (10 \div 50), \text{ кВА, или } S \geq N,$$

$$\text{где } N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta_n \eta_{дв}} + (10 \div 50),$$

K_c – 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 $K_c = 0,7$;

ΣP_n – номинальная (паспортная) мощность электродвигателей основных насосов (без резервных агрегатов);

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электродвигателя; $\cos \varphi = 0,92$;

$\eta_{дв}$ – КПД двигателя; $\eta_{дв} = 0,9 - 0,94$;

η_n – КПД насоса;

$10 \div 50$ кВА – нагрузка от вспомогательного оборудования.

На насосной станции устанавливаются три рабочих и два резервных насосных агрегата. Номинальная мощность (паспортная) каждого электродвигателя 132 кВт, тогда

$$S = \frac{1 \cdot 132 \cdot 3}{0,94 \cdot 0,92} + 30 = 487,9 \text{ кВА.}$$

Таким образом, суммарная мощность трансформаторов на насосной станции должна находиться в пределах $>487,9$ кВА.

Отечественной промышленностью выпускаются трансформаторы мощностью: 75, 100, 180, 320, 420, 560, 750, 1000, 1800 кВА и т.д. На насосной станции необходимо устанавливать трансформаторы с оптимальным использованием их мощности: недогруженные трансформаторы снижают $\cos \varphi$. Поскольку режим работы насосной станции неравномерный, то и мощность трансформаторов в течение суток будет востребована не одинаково. При запуске электродвигателя пусковой ток возрастает в 5-7 раз.

Если потребляемая мощность каждого устанавливаемого насосного агрегата при работе на закрытую задвижку не превышает $N_{х.х} = 60$ кВт, то в момент пуска $N_{пуск} = 60 \times 7 = 420$ кВт.

С учетом этой особенности и имеющегося ряда трансформаторов на насосной станции предусматривается установка трех трансформаторов марки ТМ 320/6-10 мощностью $320 \times 3 = 960$ кВА. Данный выбор обосновывается расчетами, которые представлены в табл. 9.

Таблица 9

Расчетные параметры насосной станции

Число рабочих насосов	Q, м ³ /с	H, м	η_n	$\eta_{дв}$	Продолжительность режима, ч	$N = N_{пуск} + \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta_n \eta_{дв}} + 30 \div 50, \text{ кВт}$	Мощность включенных трансформаторов, кВт	% перегруз.(+), недогруз.(-) трансформаторов
1	0,2748	28	0,72	0,92	8,8	$60 \cdot 7 + 30 = 450^*$ (113,8+30)	2×320	-29 %
2	0,515	37	0,73	0,93	6	$450 + 126,4 = 576,4$ (275,1+30)	2×320	-12 %
3	0,5996	42	0,75	0,94	6,8	$450 + 350 = 800^*$ (350+30)	3×320	-24 %

*Первое значение – пусковая мощность, значение в скобках – мощность при установившемся режиме.

Примечание. При выходе из строя одного трансформатора перегрузка других составит: $640 - 725,1 = -85,1$ или 13 %, что меньше допустимой временной перегрузки мощности на 20 – 40 %.

10. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Коэффициент полезного действия насосной станции определяется по формуле

$$\eta_{\text{нас.ст}} = \left[\frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1}{102} + \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2}{102} + \frac{Q_3 \cdot H_3 \cdot T_3}{102} \right] /$$

$$\left[\frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1}{102} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н1}} \cdot \eta_{\text{дв1}}} + \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2}{102} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н2}} \cdot \eta_{\text{дв2}}} + \frac{Q_3 \cdot H_3 \cdot T_3}{102} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н3}} \cdot \eta_{\text{дв3}}} \right] =$$

$$= (499,8 + 1335,7 + 1883,8) / (754,6 + 1967,47 + 2672) = 0,69.$$

Расход энергии рабочими насосами в сутки составляет

$$A_{\text{факт}} = \left[\frac{Q_1 \cdot H_1 \cdot T_1}{102} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н1}} \cdot \eta_{\text{дв1}}} + \frac{Q_2 \cdot H_2 \cdot T_2}{102} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н2}} \cdot \eta_{\text{дв2}}} + \frac{Q_3 \cdot H_3 \cdot T_3}{102} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н3}} \cdot \eta_{\text{дв3}}} \right] =$$

$$= 5034,17 \text{ кВт}.$$

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

$$A_{\text{опт}} = \frac{24 \cdot m \cdot Q_{\text{оп}} \cdot H_{\text{оп}} \cdot \gamma}{102 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{дв}}} = \frac{24 \cdot 3 \cdot 215 \cdot 40}{102 \cdot 0,75 \cdot 0,94} = 8610,76 \text{ кВт},$$

где m – число рабочих агрегатов.

Коэффициент полезного использования установленной мощности $\eta_{\text{исп}} = A_{\text{факт}} / A_{\text{опт}} = 5034,17 / 8610,76 = 0,58$.

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

$$Y_{\text{н1000 м}} = 2,72 / \eta_{\text{нас.ст}} = 2,72 / 0,69 = 3,94.$$

11. ПОДБОР РЕШЕТОК И ДРОБИЛОК

На насосной станции (в приемном резервуаре) устанавливаются решетки и дробилки. При определении типоразмера решеток для каждого конкретного случая необходимы следующие исход-

ные данные: максимальный секундный приток сточных вод, требуемая ширина прозоров решетки и глубина наполнения канала. Тип решетки выбирается по таблице справочника по специальным работам [1].

Необходимая суммарная площадь живого сечения всех рабочих решеток $F_{\text{сум}}$, м^2 , рассчитывается по формуле

$$F_{\text{сум}} = Q_{\text{макс}} / \vartheta = 0,599 / 0,7 = 0,856,$$

где $Q_{\text{макс}}$ – максимальный приток жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;

ϑ – скорость движения жидкости в прозорах решетки, $\text{м}/\text{с}$, выбираемая в увязке с числом рабочих решеток; $\vartheta = 0,6 - 0,9 \text{ м}/\text{с}$.

Необходимая площадь живого сечения одной решетки

$$F = F_{\text{сум}} / n = 0,856 : 2 = 0,458,$$

где n – число рабочих решеток (следует принимать минимальное число).

Проектируются две рабочих и одна резервная решетки, одна дробилка.

Учитывая марки насосов, установленных на насосной станции, по справочнику выбираются:

- механизированные наклонные решетки марки РММВ-1000 с шириной прозоров – 100 мм, массой каждой – 1559 кг;
- дробилка марки Д-3, производительностью 300-600 кг/ч, массой – 437 кг.

Марка дробилки выбирается с учетом следующих расчетных данных.

При ширине прозоров в решетках 90-125 мм количество отбросов, задерживаемых на решетках, находится в пределах 1,2 л/год на одного человека [1].

При норме водоотведения на одного человека – 300 л/сут число жителей в заданном населенном пункте равно $37000 \text{ м}^3/\text{сут} \times 1000 : 300 = 123 \cdot 333$ чел. Количество отбросов, задерживаемых на насосной станции, составляет: $1,2 \cdot 123 \cdot 333 : 365 = 405,5 \text{ л/сут} = 405,5 \text{ кг/сут} = 16,9 \text{ кг/ч}$.

Дробилка работает периодически, по мере накопления отбросов.

12. ВЫБОР ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вид подъемно-транспортного оборудования принимается в зависимости от массы монтируемого оборудования и габаритов здания насосной станции с учетом удобства их эксплуатации.

Принимаются:

- балки неподвижные (монорельсы) с кошками и талями при массе груза до 1000 кг;
- краны подвесные (кран-балки) при массе до 5000 кг;
- краны мостовые при массе груза более 5000 кг.

Каждый агрегат, монтируемый на насосной станции, имеет массу 1200 кг. В связи с этим, в подземной части станции предусматривается подвесной кран для обеспечения ремонта, монтажа и демонтажа насосных агрегатов, трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и т.д., в наземной части станции также кран подвесной. Для въезда автотранспорта на станцию предусматриваются въездные ворота 3×3,6 м и монтажная площадка (размеры приведены на чертеже).

13. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

К вспомогательным системам насосной станции относятся системы технического водоснабжения, приточной и вытяжной вентиляции, дренажная, маслоснабжения.

Система технического водоснабжения на насосной станции проектируется для целей санитарной очистки оборудования и помещений, а также для охлаждения узлов насосных и воздухоудельных агрегатов. Вода на насосную станцию подводится из системы городского водоснабжения в бак с разрывом струи. Из бака вихревыми насосами марки ВК1/16 вода подается на технологические нужды. Предусматриваются два насоса: один рабочий и один резервный.

Вода, поступающая на охлаждение, должна иметь жесткость не более 3,56 мг-экв/л, рН= 6÷9, содержание взвешенных веществ до 50 мг/л и температуру $t \leq 30^\circ\text{C}$. Если вода предусматривается для уплотнения сальников насосов, то она подается с напором на 2÷5 м выше напора перекачиваемой сточной жидкости.

Система вентиляции. В грабельном помещении насосной станции кратность воздухообмена в час принимается равной 1:10. Объем подземной части насосной станции составляет 1413 м³ (по данным геометрических измерений). Для обеспечения требуемого воздухообмена производительность воздухоудельной машины должна быть не менее 235,5 м³/мин и создавать избыточное давление в грабельном помещении не менее чем на 0,1 кг/см² больше атмосферного. Этим требованиям удовлетворяет воздухоуделька марки ТВ 350-1,06М1-01: Q=350 м³/мин, Р=1,06 кг/см², N=47кВт, масса агрегата – 1870 кг. На станции устанавливаются четыре воздухоудельные машины: по одной рабочей воздухоудельке для приточной и вытяжной систем и по одной – для резервной.

Дренажная система. Для отвода дренажных и промывных вод предусматривается уклон пола к приемку не менее $i = 0,005$ (количество дренажных вод оценивается опытным путем, но может приниматься 1...10 л/с). Объем приемки принимается 10...15-минутной производительности дренажного насоса. Дренажные воды перекачиваются в приемный резервуар насосом марки ГНОМ 10/10: Q = 10 м³/ч, Н = 10 м, N = 1,1 кВт. Резервный насос может храниться на складе. По желанию заказчика можно установить консольные насосы.

Система маслоснабжения. Постоянное количество масла под давлением подается к подшипникам, редукторам, соединительным муфтам 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.

14. ВЫБОР ВОДОМЕРОВ

Подача воды насосной станцией по каждому водоводу контролируется водомерами типа "Труба Вентури". Водомеры устанавливаются в камерах на прямолинейных участках трубопроводов (длина участка до водомера $L \geq 2 \div 15D$ и длина участка после водомера $L \geq 5D$ назначаются в зависимости от соотношения диаметров прямолинейной и сужающей его частей – см. рис. 6).

15. ВНУТРЕННИЕ САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

На насосной станции предусматриваются следующие санитарно-технические системы: хозяйственно-питьевая, объединенная с противопожарной, вентиляции, отопления, бытовой канализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной

1. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений: Справочник монтажника / Под ред. А.С. Москвитина. М.: Стройиздат, 1980.

Дополнительный

СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1996.

Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат, 1986.

Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров: Изд. 5-е. М.: Стройиздат, 1987.

Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. М.: Стройиздат, 1995.

Яковлев С.В., Карелин В.Я., Жуков А.И. Канализация: Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1980.

Коэффициенты общей неравномерности водоотведения по часам суток

Часы суток	K _{ген. max}									
	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,55	1,5	1,47	1,44	1,4
0-1	1,5	1,2	1,25	1,25	1,55	1,8	1,6	2,3	1,9	1,7
1-2	1,5	1,2	1,25	1,25	1,55	1,8	1,6	2,3	1,9	1,7
2-3	1,5	1,2	1,25	1,25	1,55	1,8	1,6	2,3	1,9	1,7
3-4	1,5	1,2	1,25	1,25	1,55	1,8	1,6	2,3	1,9	1,7
4-5	1,5	1,2	1,25	1,25	1,55	1,8	1,6	2,3	1,9	1,7
5-6	1,9	3,1	3,3	3,5	4,35	3	4,15	2,3	2,4	4,4
6-7	3,4	4,8	5,0	5,2	5,95	3,6	5,75	3,6	3,9	5,8
7-8	7,5	7,4	7,2	7	5,8	6,2	6,0	5,8	6	5,8
8-9	4,3	7,95	7,5	7,1	6,7	6,4	6,25	6	6	5,8
9-10	3,2	7,95	7,5	7,1	6,7	5	6,25	5,8	6	5,8
10-11	3,2	7,95	7,5	7,1	6,7	4,3	6,25	4,7	5	5,8
11-12	4,2	6,3	6,4	6,5	4,8	4,5	5	4,1	4,2	5,2
12-13	7,7	3,6	3,7	3,8	3,95	5	4,15	5,4	5,7	4,2
13-14	4	3,6	3,7	3,8	5,55	6,2	5,75	5,8	5,7	5,8
14-15	3,2	3,8	4,0	4,2	6,05	6,3	6,25	5	5,5	5,8
15-16	3,4	5,6	5,7	5,85	6,05	3,5	6,25	4	4,3	5,8
16-17	5,1	6,2	6,3	6,4	5,6	4,5	5,8	4,4	5	5,8
17-18	6	6,2	6,3	6,4	5,6	5,5	5,8	5,1	5,4	5,8
18-19	8,75	6,2	6,3	6,4	4,3	6,46	5,8	6,1	6	5,2
19-20	8,75	5,25	5,25	5,3	4,35	6,46	4,4	6,1	6	4,8
20-21	8,1	3,4	3,4	3,4	4,35	6,46	2,15	6,1	6	4,3
21-22	4,3	2,2	2,2	2,2	2,35	3,22	2,15	3,6	3,2	1,8
22-23	3,3	1,25	1,25	1,25	1,55	2,2	2,25	2,6	2,4	1,8
23-24	2,2	1,25	1,25	1,25	1,55	2,2	1,6	2	1,8	1,8
Итого	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Приложение 2

Предельные экономические расходы, л/с

D _{ус} , мм	Экономический фактор					
	Э = 0,5		Э = 0,75		Э = 1	
	Трубы					
	стальные	чугунные	стальные	чугунные	стальные	чугунные
150	25	28,3	21,8	25,3	19,8	22,4
175	33,4	-	29,2	-	26,5	-
200	53	51,2	46	45,8	42	40,6
250	82	82,2	71	73,5	65	65,3
300	118	121	103	108	93	96
350	161	167	140	149	128	132
400	211	220	184	197	167	175
450	268	286	234	254	213	227
500	360	394	315	352	286	313
600	507	581	443	518	402	461
700	676	808	591	722	537	642
800	888	1080	776	966	705	857
900	1130	1396	987	1250	897	1110
1000	1528	1930	1335	1725	1213	1532

Удельные сопротивления A при V = 1 м/с

D _{ус} , мм	Трубы стальные	Трубы чугунные класса	
		IIA	A
200	6,048	5,101	-
250	1,841	1,627	-
300	0,7374	0,7925	-
350	0,3192	-	0,3605
400	0,1657	-	0,1796
450	0,08533	-	0,09692
500	0,04939	-	0,05526
600	0,01951	-	0,02116
700	0,009424	-	0,009431
800	0,004784	-	0,004712
900	0,002596	-	0,002578
1000	0,001503	-	0,001484

Поправочные коэффициенты K на скорость

V, м/с	K	V, м/с	K	V, м/с	K
0,5	1,115	0,75	1,045	1,1	0,986
0,55	1,098	0,8	1,034	1,2	0,974
0,6	1,082	0,85	1,025	1,3	0,963
0,65	1,069	0,9	1,016	1,4	0,953
0,7	1,056	1	1	1,5	0,944

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	1
1. Исходные данные по объекту проектирования.....	1
2. Расчетные притоки сточных вод.....	4
3. Количество насосов, расчетные подачи насосной станции, емкость приемного резервуара.....	5
4. Расчетный напор насосной станции.....	12
5. Диаметры напорных трубопроводов в пределах насосной станции.....	13
6. Предварительный подбор насосов и электрических двигателей.....	14
7. Построение характеристик насосов и водоводов при их совместной работе.....	15
8. Проверка подачи насосной станцией сточных вод при аварийной ситуации и на I очередь строительства.....	25
9. Подбор трансформаторов.....	27
10. Техничко-экономические показатели работы насосной станции.....	29
11. Подбор решеток и дробилок.....	30
12. Выбор подъемно-транспортного оборудования.....	32
13. Вспомогательные системы насосной станции.....	32
14. Выбор водомеров.....	34
15. Внутренние санитарно-технические системы.....	34
Библиографический список.....	34
Приложение 1.....	35
Приложение 2.....	36