

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
«20» января 2022 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Насосы и насосные станции»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Водоснабжение и водоотведение"

Форма(ы) обучения: очная, очно-заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-02-22

Тула 2022 год

Разработчик(и) методических указаний

Сальников Б.Ф., доцент, к.т.н., доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Определение режима работы насосной станции 2-го подъема и ее расчетной подачи.

Режим работы насосной станции II подъема определяется из условий максимального приближения подачи к графику водопотребления. Обычно рекомендуется принимать режим работы насосной станции II подъема, как двух – трехступенчатой подачи. При определении ступеней подачи необходимо стремиться к минимальным отклонениям их от графика водопотребления (на рис. 1 пунктиром показан график трехступенчатой подачи). Более подробно освещение выбора режима ступенчатой работы насосной станции дано в книге В.И. Турк А.В. Минаев, В.Я. Карелин Насосы и насосные станции. М., Стройиздат, 1976, стр. 150 – 154.

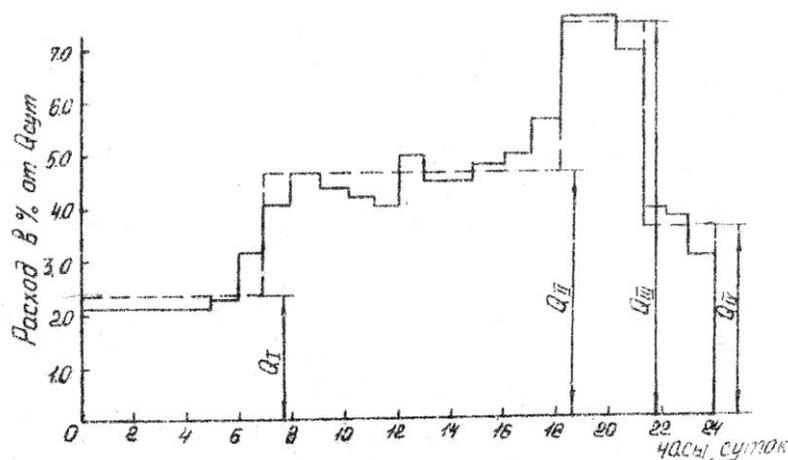


Рис. I. График водопотребления и подачи:

———— водопотребление; - - -подача

После составления графика ступенчатой подачи необходимо проверить его по уравнению

$$100 = Q_I t_I + Q_{II} t_{II} + Q_{III} t_{III},$$

где Q_I , Q_{II} , Q_{III} — подача воды насосами в процентах от суточного расхода на соответствующих ступенях;

t_I , t_{II} , t_{III} — время подачи воды по ступеням.

Если окажется, что правая часть уравнения не равна 100 %, то производится корректировка графика путем изменения времени, либо расхода по ступеням.

Гидравлический расчет всасывающих и напорных трубопроводов, определение полного напора насосов, построение характеристики сети.

Расчетный расход для напорных водопроводов насосной станции I подъема при поступлении воды на очистные сооружения, равен среднечасовому расходу воды в дни максимального водопотребления с учетом расхода воды на собственные нужды насосной станции и очистных сооружений и определяется по формуле

$$Q_p = \frac{\alpha Q_{\max}}{t},$$

где Q_{\max} – максимальный суточный расход, м³/сут;

t – продолжительность работы насосной станции, $t = 24$ ч;

α - коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды, $\alpha = 1,0 \div 1,1$.

При поступлении воды без очистки непосредственно в резервуар чистой воды $\alpha = 1,01 \div 1,02$.

Расчетный расход воды для трубопроводов насосной станции II подъем определяется как сумма часовых расходов максимального водопотребления и пожаротушения:

$$Q_p = Q_{\max} + Q_{\text{пож}},$$
$$Q_{\max} = \frac{Q_{\text{сут}}}{100} \cdot m,$$

где m – максимальный процент водопотребления по часам суток.

Диаметры трубопроводов определяются для всасывающих линий, напорных трубопроводов, находящихся в пределах здания насосной станции.

Количество всасывающих трубопроводов в насосных станциях I подъема, совмещенных с водозабором. Диаметры трубопроводов за пределами станции следует принимать исходя из средней скорости движения воды (табл. 3).

Таблица 3

Диаметр трубы, мм	Скорость воды в трубопроводах насосной станции, м/с	
	всасывающем	напорном
До 250	0,6 ÷ 1,0	0,8 ÷ 1,5
От 300 до 800	0,8 ÷ 1,5	1,0 ÷ 3,0
Более 800	1,2 ÷ 2,0	1,5 ÷ 4,0

Диаметры трубопроводов определяются по формуле

$$d = \sqrt{\frac{0,4}{\pi V_n \cdot 3600}},$$

где Q – расчетный расход, м³/ч;

V – средняя скорость, м/с;

n – количество трубопроводов, шт.

Для уменьшения диаметров задвижек и обратных клапанов скорость воды в трубопроводах в пределах насосной станции может быть увеличена до 3 м/с.

Требуемый напор насосной станции I подъема определяется по формуле

$$H = H_r + h_v + h_{н.с.} + h_n + 1,0,$$

где H_r – геодезическая (геометрическая) высота подачи воды, т.е. разность отметок уровней воды в смесителе очистных сооружений и отметки минимального уровня водоисточника, м;

h_v, h_n, h_{н.с.} – потери напора соответственно во всасывающем, напорном трубопроводах и потери напора в пределах насосной станции, м;

1,0 – запас напора на излив воды из трубопровода, м.

Для предварительных расчетов потери напора в пределах насосной станции можно принять, в зависимости от сложности внутростанционной коммуникации трубопроводов, в пределах 2,5 ÷ 5,0 м, а высоту смесителя от поверхности земли 4 ÷ 6,0 м.

При подаче воды в резервуар чистой воды (РЧВ) из артезианских скважин требуемый напор определяется по формуле

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{СКВ}} + h_{\text{КОЛ}} + 1,0,$$

где H_{Γ} – геодезическая высота подачи воды, т.е. разность отметок максимального уровня воды в приемном резервуаре и отметки динамического уровня воды в скважине, м;

$h_{\text{СКВ}}$, $h_{\text{КОЛ}}$ – потери напора соответственно в скважине и напорном трубопроводе, м.

Подбор насосов и нахождение рабочих точек работы системы.

При подборе насосов предварительно задаются количеством насосов, работающих на ступени с максимальной подачей, и по каталогу подбирают насос с напором H_{\max} . Из каталога выписываются все данные о насосе в виде таблицы и вычерчиваются на миллиметровке рабочие характеристики насоса. Затем характеристика насоса $Q - H$ накладывается (вычерчивается) на характеристику $Q - H$ трубопровода в одинаковых масштабах и производится увеличение абсцисс характеристики насоса $Q - H$ в n раз при постоянных напорах. В результате получают суммарные характеристики $Q - H$ одного, двух, трех и n параллельно работающих насосов. Пересечение характеристик насосов с характеристиками трубопроводов дает рабочие точки, т.е. действительные расходы воды, с которыми будет работать данная система насос – трубопровод. Если рабочие точки совпадут с точками ступеней подачи, то подбор насосов произведен правильно. При несовпадении данных точек отыскиваются другие комбинации рабочих характеристик насосов других типов. Одновременно насосы второго типа обеспечивают подачу расхода при пожаре.

В случае, когда напор насоса больше требуемого, можно изменить его рабочую характеристику путем срезки рабочего колеса.

Рабочие характеристики насоса со срезанным колесом определяются по формулам

$$H_{cp} = H \left(\frac{D_{cp}}{D} \right)^2; \quad Q_{cp} = Q \left(\frac{D_{cp}}{D} \right)^3; \quad \eta_{cp} = 1 - (1 - \eta) \left(\frac{D}{D_{cp}} \right)^{0,45},$$

где индекс «ср» относится к насосу со срезанным колесом.

Для упрощения, найдя одну точку для насоса со срезанным колесом, новая характеристика $Q - H$ проводится через эту точку параллельно известной характеристике.

Противопожарные насосные станции I-го подъема подбираются на восполнение трехчасового противопожарного объема в резервуаре в течение 24 – 36 часов и включаются в параллельную работу с рабочими насосами.

Расчет работы насосной станции при аварии на напорных водоводах и пожаротушении.

При аварии в одном из напорных водоводов насосная станция должна обеспечить подачу воды на хозяйственно-питьевые нужды в количестве 70 % расчетного расхода. Для этой цели между водоводами предусматривается устройство блокирующих перемычек, позволяющих отключать трубопровод по частям, т.е. отключать с помощью задвижек не весь трубопровод, а только участки, где произошла авария.

Полагая, что l – длина трубопровода между перемычками, а L – общая длина трубопровода, требуемый напор насосной станции, необходимый для подачи воды при аварийном режиме, следует определить по формуле

$$H_{ав} = H_{г} + 1,1 (L - l) \frac{Q_{ав}^2}{n^2} S_0 + S_0 \frac{Q_{ав}^2}{(n-1)^2} l + h_{с} + h_{н.с} + H_{св},$$

где $H_{г}$ – геодезическая высота подъема воды, т.е. разность отметок земли в точке примыкания напорных трубопроводов к сети города и минимальным уровнем воды в РВЧ, м;

$H_{св}$ – свободный напор в точке примыкания напорных трубопроводов к сети города, определяется при расчете сети города, м;

n – количество напорных трубопроводов; 2;

$Q_{ав}$ – аварийный расход, м³/с.

Если окажется, что требуемый напор при аварийном режиме ($H_{ав}$) меньше действительного напора ($H_{д.ав}$) напора, развиваемого насосами при подаче аварийного расхода, то длина трубопровода между перемычками выбрана правильно. Действительный напор при пропуске аварийного расхода определяется из графика $Q - H$ совместной работы насосов и трубопроводов. $H_{д.ав}$ определяется точкой пересечения ординаты, проведенной через $Q_{ав}$ с характеристикой $Q - H$ насосов.

Длину между перемычками можно определить из вышеприведенной формулы, полагая, что

$$H_{ав} = H_{д.ав}.$$

Компоновка агрегатов и коммуникаций станции в плане.

. Расположение насосных агрегатов и трубопроводов в здании насосной станции должно обеспечить надежность действия оборудования, а также удобство, простоту и безопасность обслуживания. Компоновку оборудования производят из условия минимальной протяженности трубопроводов в соответствии с требованием СНиП II-31-74.

Габаритные размеры машинного зала насосной станции определяются исходя из габаритных размеров насосов, задвижек, обратных клапанов, коммуникаций трубопроводов и их компоновки в общей схеме. Длина зала определяется по формуле

$$L = nl + nv + 2c,$$

где n – количество насосов;

l – длина насоса с электродвигателем, м;

v – допустимое расстояние между насосами, определяемое по СНиП II;

c – допустимое расстояние от насоса до стены, м.

Длина машинного зала принимается кратной 3 м (6, 9, м и т.д.).

Ширина машинного зала определяется так же, как и длина.

Компоновка агрегатов в вертикальной плоскости и определение отметки пола машинного зала.

Насосные станции I и II класса, как правило, должны проектироваться на работу насосов под заливом. Исходя из этого, отметка оси насоса увязывается с отметками самого низкого горизонта воды в источнике или резервуаре чистой воды.

Отметка расположения оси насоса не должна быть выше допустимой высоты всасывания относительно уровня воды:

$$H_{\text{доп. гв}} = H_{\text{вак}} - h_{\text{в}} - \frac{V^2}{2g},$$

где $H_{\text{вак}}$ – вакууметрическая высота всасывания при максимальной подаче, определяются по рабочим характеристикам насоса, м;

$h_{\text{в}}$ – потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

V – скорость воды во всасывающем трубопроводе, м/с.

На станциях, где отметка оси насосов выше отметки горизонта водоисточника, для заливки насосов перед их пуском необходимо установить вакуум-насос, производительность которого определяется объемом подлежащего удалению воздуха из всасывающей линии и временем, в течение которого должен произойти запуск насоса (3 – 5 мин).

Подбор грузоподъемного оборудования, выбор конструкции строения насосной станции в вертикальной плоскости и плане.

Строительная часть водопроводных насосных станций в большинстве случаев размещена как под землей – подземная часть здания (включая опорные конструкции), так и над землей – верхнее строение здания. Верхнее строение водопроводной насосной станции 2-го подъема, представляет собой, как правило, обычное промышленное здание.

Тип подъемно-транспортного механизма выбирается с учетом размеров сооружения, компоновки технологического оборудования, его размеров. Грузоподъемность должна быть равна или больше массы наиболее тяжелой детали монтируемых насосных агрегатов. Для подъема предусматривают оборудование с ручным приводом:

- при массе узлов до 1000кг - кошку или таль по монорельсу;
- до 5000 кг – подвесную кран-балку;
- более 5000 кг – мостовой кран.

При подъеме на высоту 6м и более, или при длине зала 18м и более, или при массе более 5000 кг – применяют электрические кран-балки или мостовые краны.

Подбор электрического оборудования станции и определение размеров помещений для него.

Если электродвигатели подобраны на низкое напряжение, а напряжение подводящей сети высоковольтное, необходимо подобрать понижающие трансформаторы по каталогу на электрооборудование.

Расчетная мощность силовых трансформаторов определяется по формуле

$$N_{\text{тр}} = K_c \frac{\sum N_H}{\eta_{\text{дв}} \cdot \cos 4} + N_{\text{с.н}},$$

где K_c – коэффициент спроса ($K_c = 0,6 \div 0,95$);

$\sum N_H$ – суммарная номинальная мощность всех электродвигателей насосов без резервных, кВт;

$\eta_{\text{дв}}$ – КПД двигателя ($\eta_{\text{дв}} = 0,95$);

$\cos 4$ – коэффициент мощности ($\cos 4 = 0,8 \div 0,92$);

$N_{\text{с.н}}$ – мощность на собственные нужды, кВт.

КПД насосной станции определяется по формуле

$$\eta_{\text{н.с}} = \frac{Q_I H_I t_I + Q_{II} H_{II} t_{II} \cdot Q_{III} H_{III} t_{III}}{\frac{Q_I H'_I t_I}{\eta_{HI} \eta_{\text{дв}}} + \frac{Q_{II} H'_{II} t_{II}}{\eta_{HII} \eta_{\text{дв}}} + \frac{Q_{III} H'_{III} t_{III}}{\eta_{HIII} \eta_{\text{дв}}}},$$

где $Q_{I, II, III}$ – подача воды по ступеням, л/с;

$H_{I, II, III}$ – требуемый напор по ступеням, м;

$t_{I, II, III}$ – время подачи воды, ч;

η – КПД насоса; 0,79;

$H'_{I, II, III}$ – действительные напоры, развиваемые насосами на соответствующих ступенях подачи.

Если работают одновременно несколько насосов разного типа, то вместо КПД насоса подставляется КПД группы насосов, определяемый по формуле

$$\eta_{ГН} = \frac{Q_{HN1} + Q_{HN2} + Q_{HN3}}{\frac{Q_{HN1}}{\eta_{HN1}\eta_{\delta\epsilon}} + \frac{Q_{HN2}}{\eta_{HN2}\eta_{\delta\epsilon}} + \frac{Q_{HN3}}{\eta_{HN3}\eta_{\delta\epsilon}}},$$

где $Q_{1,2,3}$ – индивидуальная подача насоса на данной ступени;

$\eta_{1,2,3}$ – КПД насоса

Расход электроэнергии в сутки определяется по формуле

$$A = \left(\frac{Q_I H'_I t_I}{102\eta_{ГНИ}} + \frac{Q_{II} H'_{II} t_{II}}{102\eta_{ГНИI}} + \frac{Q_{III} H'_{III}}{102\eta_{ГНИII}} \right) \frac{1}{\eta_{\delta\epsilon}},$$

Удельные затраты электроэнергии на перекачивание 1000 м³ воды определяются по формуле

$$A_{уд} = \frac{A \cdot 1000}{Q_{сут}}.$$