

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра водоснабжения и водоотведения

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

Методические указания к практическим занятиям для
студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Казань
2014

УДК 621.6
ББК 38.761
Б92

Б92 Насосные и воздухоудные станции: Методические указания к практическим занятиям для студентов направления 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, Н.С. Урмитова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2014. – 32 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях приведены методики расчетов водопроводных и канализационных насосных станций, а также рекомендации по их проектированию.

Данные методические указания предназначены для студентов направления 270800.62 «Строительство» профиля «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной формы обучения при проведении практических занятий по дисциплине «Насосные и воздухоудные станции».

Рецензент

Доцент кафедры металлоконструкций и ИС Казанского государственного архитектурно-строительного университета
Д.М. Хусаинов

УДК 621.6
ББК 38.761

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2014

© Бусарев А.В., Селюгин А.С., Урмитова Н.С., 2014

Введение

Целью практических занятий по дисциплине «Насосные и воздухоподводящие станции» является: освоение методов расчета и проектирование канализационных насосных станций (КНС), водопроводных насосных станций второго подъема (ВНС-II), а также воздухоподводящих станций (ВДС).

Задачи практических занятий – определение режима работы насосных и воздухоподводящих станций; определение числа рабочих и резервных насосов, а также нагнетателей; определение производительности насосов и нагнетателей; гидравлический расчет трубопроводов и воздухопроводов; подбор насосов, нагнетателей, приводных электродвигателей, а также другого оборудования насосных и воздухоподводящих станций; построение характеристик совместной работы насосов и водопроводов; подбор пожарных насосов для ВНС-II; проверка насосов и водопроводов на случай аварии; определение потерь напора во внутренних коммуникациях насосных станций; определение технико-экономических показателей насосных станций.

На каждом практическом занятии с помощью освоенного материала осуществляется решение задач.

Кроме того, в ходе практических занятий осуществляется решение тестовых заданий, а также проводится игровое занятие «Наст-2».

Данные методические указания предназначены для студентов направления 270800.62 «Строительство» профиль «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной формы обучения.

Занятие № 1

Определение режимов работы насосных станций

1.1 Определение режима водопотребления или водоотведения

Водопотребление или водоотведение характеризуется неравномерностью в течение суток. Распределение расходов воды по часам суток зависит от коэффициента неравномерности водопотребления или водоотведения: каждому коэффициенту неравномерности соответствует свое распределение расходов воды по часам суток [1; 2]. Для ВНС-II данное распределение представлено в работе [1], а для КНС в работе [2]. Соответствующее процентное распределение расходов воды заносится в графу 2 табл. 1.

1.2. Определение числа рабочих насосов и их подачи

С целью максимального приближения подачи насосов ВНС-I или КНС к водопотреблению или притоку сточных вод принят ступенчатый график их работы [3]. Количество рабочих насосов n_p (шт) определяется по формуле [4; 5]:

$$n_p = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}, \quad (1)$$

где Q_{\max} , Q_{\min} – соответственно, максимальное и минимальное водопотребление или максимальный и минимальный приток сточных вод, представленный в графе 2 табл. 1, %.

Таблица 1

Часы, суток	Водопотребление или приток сточных вод, %	Число рабочих насосов, шт	Подача насосами, %	Поступление в бак водонапорной башни или приемный резервуар, %	Расход из бака или приемного резервуара, %	Остаток в баке или в приемном резервуаре, %	Ординаты интегральных графиков, %		Разность ординат, %
							водопотребления или притока	подачи насосами	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Для ВНС-II величина n_p округляется в большую сторону, а для КНС – в меньшую [4; 5]. Обычно число рабочих насосов принимается не менее двух и не более четырех [4; 5]. Производительность насосной станции (всех рабочих насосов) $Q_{нс}$ (%) определяется по формулам [4; 5]:

$$\text{для ВНС-II} \quad Q_{нс} = 0,9 \cdot Q_{\max}; \quad (2)$$

$$\text{для КНС} \quad Q_{нс} = Q_{\max}. \quad (3)$$

Производительность одного насоса $q_{1н}$ (%) определяется по формуле [4; 5]:

$$q_{1н} = \frac{Q_{нс}}{n_p} \cdot k_i, \quad (4)$$

где k_i – коэффициент параллельности работы i насосов.

При параллельной работе двух насосов – $k_2= 1,11$, при параллельной работе трех насосов – $k_3=1,18$, а при параллельной работе четырех насосов – $k_4= 1,25$ [4; 5]. Подача i -го насоса Q_{in} (%) определяется по формуле [4; 5]:

$$q_{in} = \frac{q_{1n} \cdot n_i}{k_i}, \quad (5)$$

Сравнивая эти подачи со значениями графы 2 табл. 1, принимается число насосов, работающих в данный час, после чего заполняется графа 3 табл. 1. Подача насосов уточняется по формуле [4; 5]:

$$q_{1n} \cdot t_1 + q_{2n} \cdot t_2 + \dots + q_{in} \cdot t_i = 100, \quad (6)$$

где $t_1, t_2 \dots t_i$ – время работы одного, двух, i насосов (графа 3 табл. 1), ч.

Выражение (5) может быть представлено в следующем виде [4; 5]:

$$q_{1n} \cdot t_1 + \frac{q_{1n} \cdot 2}{k_2} t_2 + \dots + \frac{q_{in} \cdot n_i}{k_i} t_i = 100. \quad (7)$$

Решая уравнение (7) относительно q_{1n} определяем подачи одного, двух, i насосов. Уточненные значения подачи заносятся в графу 4 табл. 1. Порядок заполнения остальных граф табл. 1 подробно изложен в методических указаниях [4; 5].

Для того чтобы подачу насосов перевести из % в $\text{м}^3/\text{ч}$, необходимо процентную подачу разделить на 100 и умножить на производительность насосной станции ($Q_{сут}$, $\text{м}^3/\text{сут}$).

По значениям граф 2 и 4 строятся ступенчатые графики водопотребления или притоки сточных вод и подачи воды насосами (рис. 1). По значениям граф 8 и 9 строятся интегральные графики водопотребления или притока сточных вод и подачи воды насосами (рис. 2).

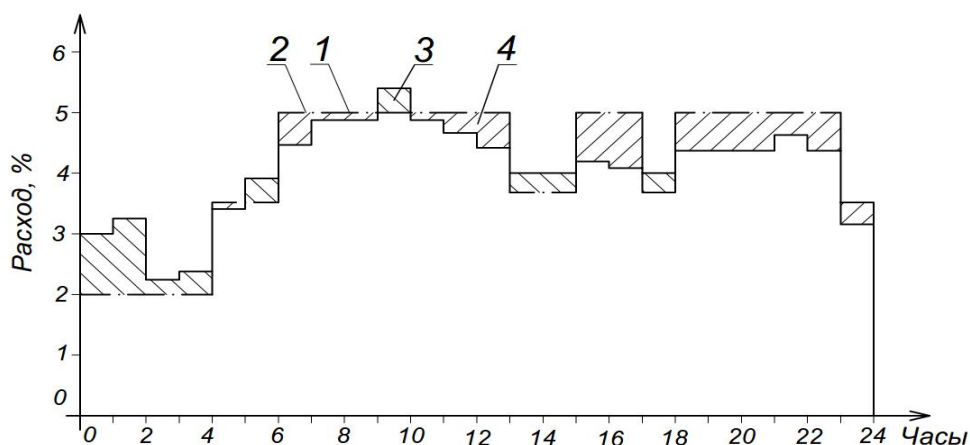


Рис. 1. Ступенчатые графики притока сточной воды в приемный резервуар и откачки ее из резервуара: 1 – приток; 2 – откачка насосами; 3 – зона притока воды в приемный резервуар; 4 – зона откачки воды из приемного резервуара

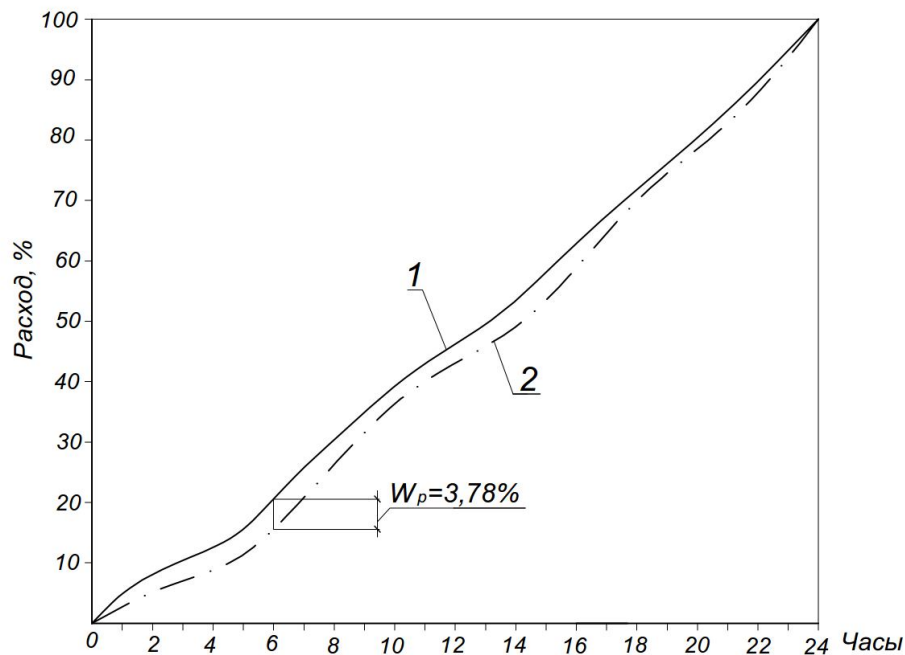


Рис. 2. Суточные интегральные графики притока сточной воды в приемный резервуар и откачки ее из резервуара: 1 – приток; 2 – откачка насосами

Занятие № 2

Определение параметров конструктивных элементов насосной станции

2.1. Определение объема бака водонапорной башни

ВНС-II забирает воду из резервуара чистой воды и подает ее в бак водонапорной башни, расположенной в начале водопроводной распределительной сети [1]. Объем бака водонапорной башни $W_{в.б.}$ (м^3) определяется по формуле [4]:

$$W_{в.б.} = W_{рег} + W_{пож} , \quad (8)$$

где $W_{рег}$ – регулирующий объем бака (м^3); $W_{пож}$ – запас воды на пожаротушение (м^3).

Величина $W_{рег}$ (м^3), определяется по формуле [4]:

$$W_{рег} = \left(\frac{|a| + |e|}{100} \right) \cdot Q_{сут} , \quad (9)$$

где a , e – соответственно, максимальная положительная и отрицательная разность ординат интегральных графиков водопотребления и подачи воды насосам (графа 10 табл. 1), %.

Величина $W_{\text{пож}}$ (м^3) определяется по формуле [4]:

$$W_{\text{пож}} = 0,6q_n, \quad (10)$$

где q_n – расход воды на пожаротушение, л/с.

2.2. Определение объема приемного резервуара канализационной насосной станции

Минимальный объем приемного резервуара КНС $W_{\text{нр.п}}^{\text{min}}$ (м^3) определяется по формуле [5]:

$$W_{\text{нр.п}}^{\text{min}} = \frac{q_{1н}}{12}. \quad (11)$$

Объем приемного резервуара КНС при заданном числе включений насосов в час минимального притока сточных вод $W'_{\text{нр.п}}$ (м^3) определяется по формуле [5]:

$$W'_{\text{нр.п}} = \frac{q_{1н}}{m} \left(1 - \frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{н.с.}}} \right), \quad (12)$$

где m – число включений в час минимального притока сточных вод [5].

При ручном управлении КНС число включений насосов в час минимального притока не должно превышать трех, а при автоматическом управлении – пяти [3]. Для насосных станций с электродвигателями, мощность которых превышает 50 кВт, даже при автоматическом управлении КНС рекомендуется не более трех включений насосов в час минимального притока [3].

Объем приемного резервуара, исходя из интегральных графиков притока сточных вод и их подачи насосами $W''_{\text{нр.п}}$ (м^3), определяется по формуле [5]:

$$W''_{\text{нр.п}} = \left(\frac{|c| + |d|}{100} \right) \cdot Q_{\text{сут}}, \quad (13)$$

где c , d – соответственно, максимальная положительная и отрицательная разность ординат интегральных графиков притока сточных вод и их подачи насосами (графа 10 табл. 1), %.

Из рассчитанных величин в качестве $W_{\text{нр.п}}$ выбирается максимальная. Диаметр подземной части КНС $D_{\text{н.с.}}$ (м) не должен быть менее [5]:

$$D_{н.с.} = \sqrt{\frac{8W_{нр.р}}{\pi \cdot h_{нр}}}, \quad (14)$$

где $h_{нр} = 1,5 \div 2,5$ м – глубина воды в приемном резервуаре КНС [5].

Диаметр КНС должен соответствовать унифицированным размерам: 6, 9, 12, 15, 18, 24 и 30 м [5].

2.3. Расчет всасывающих трубопроводов

Для ВНС-II количество всасывающих трубопроводов обычно принимается равным числу напорных водоводов. Они объединяются внутри ВНС-II одним коллектором, от которого отдельный всасывающий трубопровод подводится к каждому насосу [4]. В КНС для каждого насоса устраивается отдельный всасывающий трубопровод [5].

Скорость движения воды во всасывающих трубопроводах ВНС-II рекомендуется принимать в пределах [4]:

- для труб диаметром до 250 мм – $0,6 \div 1$ м/с;
- для труб диаметром 250-800 мм – $0,8 \div 1,5$ м/с;
- для труб диаметром более 800 мм – $1,2 \div 2$ м/с.

Скорость движения воды во всасывающих трубопроводах КНС принимается $0,7-1,5$ м/с [3; 5].

По расходу и допустимой скорости подбираются стальные трубы по ГОСТу 10704–91 стандартных диаметров. Не рекомендуется применять трубы с диаметром условного прохода 350, 450, 700 и 900 мм.

Расход воды во всасывающем трубопроводе $Q_{вс}$ (м³/с), определяется по формуле [4; 5]:

$$Q_{вс} = \frac{Q_{н.с.}}{n_{вс}}, \quad (15)$$

где $n_{вс}$ – число всасывающих трубопроводов, шт.

Диаметр всасывающего трубопровода, $d_{вс}$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$d_{вс} = \sqrt{\frac{4Q_{вс}}{\pi \cdot v_{вс}}}, \quad (16)$$

где $v_{вс}$ – скорость воды во всасывающих трубопроводах, м/с.

Потери напора во всасывающих трубопроводах для ВНС-II $h_{вс}$ (м) определяются по формуле [4]:

$$h_{вс} = 1.1 \cdot i_{вс} \cdot l_{вс}, \quad (17)$$

где $i_{вс}$ – гидравлический уклон всасывающих трубопроводов [6]; $l_{вс}$ – длина всасывающего трубопровода, м.

Занятие № 3

Подбор насосов

3.1. Расчет напорных водоводов

Для ВНС-II I и II категории надежности количество напорных водоводов должно быть равно двум или трем, а для станций III категории надежности допускается устройство одной линии [7]. Для КНС I категории надежности количество напорных водоводов должно быть равно двум или трем, а для станций II и III категории надежности допускается устройство одной линии [5].

Скорость воды в напорных водоводах ВНС-II рекомендуется принимать в пределах [4]:

- для труб диаметром до 250 мм – $0,8 \div 2$ м/с;
- для труб диаметром 250-800 мм – $1 \div 3$ м/с;
- для труб диаметром более 800 мм – $1,5 \div 4$ м/с.

Для КНС скорость движения воды в напорных водоводах принимается $1-1,5$ м/с [5]. Расход воды в напорном водоводе Q_n (м³/с) определяется по формуле [4; 5]:

$$q_n = \frac{Q_{н.с.}}{n_n}, \quad (18)$$

где n_n – число напорных водоводов, шт.

Диаметр напорного водовода d_n (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$d_n = \sqrt{\frac{4q_n}{\pi \cdot v_n}}, \quad (19)$$

где v_n – скорость воды в напорных водоводах, м/с.

Напорные водоводы современных КНС изготавливаются, как правило, из полиэтиленовых или стальных труб. Напорные трубопроводы внутри насосных станций изготавливаются из стальных труб того же диаметра, что и напорные водоводы [4; 5]. Потери напора в напорных водоводах h_n (м) определяются по формуле [4; 5]:

$$h_n = 1.1 \cdot i_n \cdot l_n, \quad (20)$$

где i_n – гидравлический уклон напорных водоводов [6; 8]; l_n – длина напорных водоводов, м.

3.2. Определение требуемого напора насосных станций

Требуемый напор ВНС-II H_{mp} (м) определяется по формуле [4]:

$$H_{mp} = z_1 - z_2 + h_{вс} + h_n + H_б + h_б + H_{н.с.}, \quad (21)$$

где Z_2 – абсолютная отметка поверхности земли у водонапорной башни, м; Z_1 – абсолютная отметка поверхности воды в резервуаре чистой воды, м; $H_б$ – высота водонапорной башни, м; $h_б$ – высота бака водонапорной башни, м; $H_{н.с.} = 1,5 \div 2,5$ м – потери напора в коммуникациях насосной станции [4; 5].

Величина Z_1 (м) определяется по формуле [4]:

$$Z_1 = Z_3 + 0,5, \quad (22)$$

где Z_3 – абсолютная отметка дна РЧВ, м.

Требуемый напор КНС H'_{TP} (м) определяется по формуле [5]:

$$H_{mp} = z_4 - z_5 + h_n + h_{изл} + H_{н.с.}, \quad (23)$$

где Z_4 – абсолютная отметка уровня воды в приемной камере очистных сооружений, м; z_5 – абсолютная отметка уровня воды в приемном резервуаре КНС, м; $h_{изл} = 1 \div 1,5$ м – запас напора на излив, м [5].

Величина Z_5 (м) определяется по формуле [5]:

$$Z_5 = Z_6 - 1,0, \quad (24)$$

где Z_6 – абсолютная отметка дна лотка подводящего коллектора, м.

3.3. Подбор насосов

Насосы подбираются по подаче одного насоса q_{IH} и требуемому напору H_{mp} . В ВНС-II обычно устанавливаются центробежные насосы двухстороннего входа типа Д, а в КНС – динамические насосы для сточных жидкостей типа СД, СДВ и СМ [3]. По сводным графикам полей насосов подбирается марка насоса. Свободный график полей насосов типа Д представлен в работе [3], а сводный график полей насосов типа СД и СДВ – в каталоге [9]. Окончательный выбор марки насоса производится по его Q–H характеристике из соответствующего каталога. Пример энергетических характеристик центробежного насоса представлен на рис. 3.

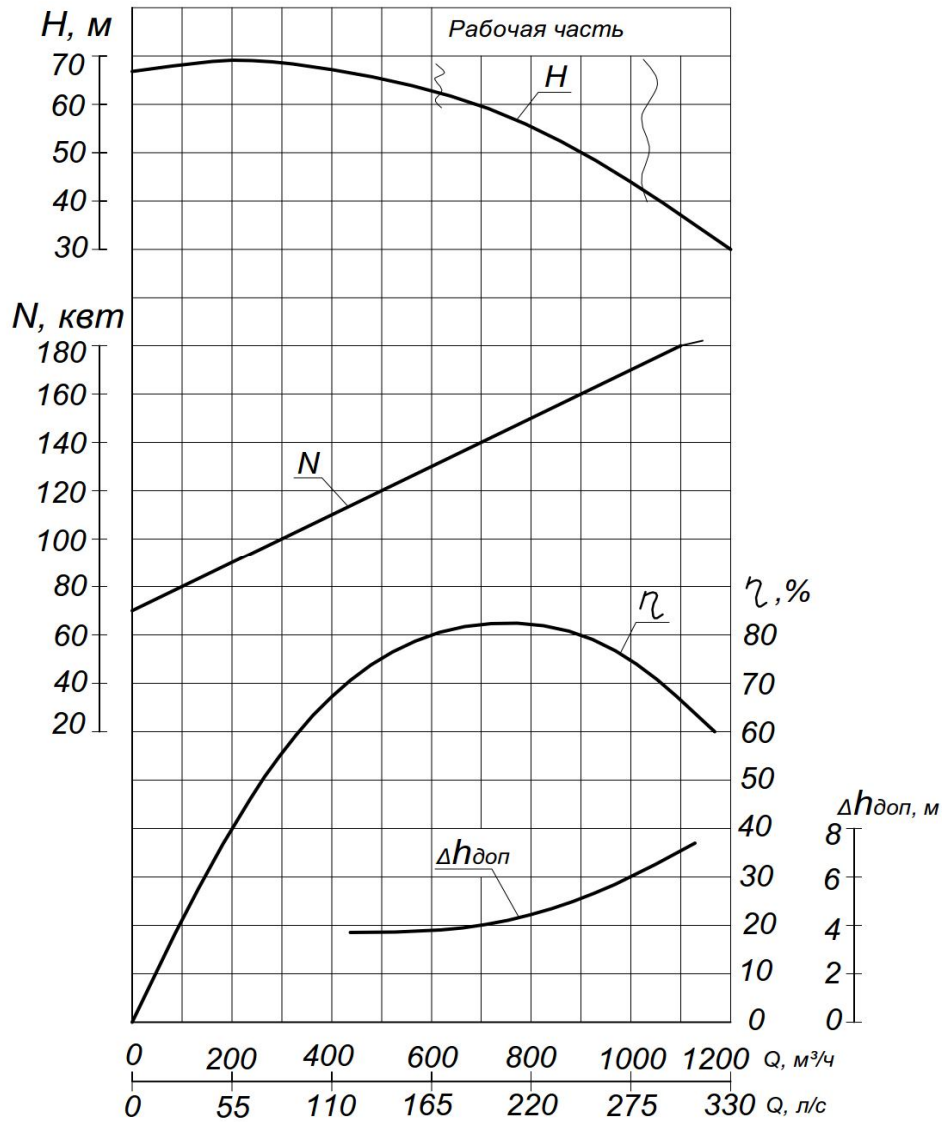


Рис. 3. Энергетические характеристики насоса

3.4. Определение числа резервных насосов

Число резервных насосов, устанавливаемых в насосной станции, зависят от числа рабочих насосов и категории ее надежности. Число резервных насосов принимается по рекомендациям [7; 13].

Занятие № 4 Подбор оборудования насосных станций

4.1. Обточка рабочего колеса насосов

В том случае, если напор выбранного насоса при $q_{1н}$ превышает H_{mp} больше, чем на 3–5 м, необходимо произвести обточку рабочего колеса, уменьшить его диаметр. Для определения размера обточенного колеса, соответствующего требуемым параметрам, вначале строится парабола режимных точек по формуле [4; 5]:

$$H = K \cdot Q^2, \quad (25)$$

где $K = \frac{H_{mp}}{q_{1н}^2}, \frac{ч^2}{м^5}$.

Значения подачи принимаются в пределах рабочей части Q–H характеристики принятого насоса. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Q, м ³ /с					
H, м					

По данным табл. 2 строится график параболы режимных точек совместно с Q–H характеристикой насоса (рис. 4). Точка пересечения параболы с Q–H характеристикой насоса (точка А) имеет координаты Q_A и H_A .

Диаметр обточенного рабочего колеса насоса $D_{обт}$ (мм) определяется по формуле [4; 5]:

$$D_{обт} = D \frac{q_{1н}}{Q_A}, \quad (26)$$

где D – диаметр рабочего колеса, выбранного насоса, мм.

Процент срезки рабочего колеса $\Pi_{ср}$ (%) определяется по формуле [4; 5]:

$$\Pi_{ср} = \frac{D - D_{обт}}{D} \cdot 100\% . \quad (27)$$

Коэффициент быстроходности выбранного насоса n_s определяется по формуле [4; 5]:

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \sqrt{q_{1н}}}{H_{mp}^{3/4}}, \quad (28)$$

где n – частота вращения рабочего колеса, об/мин [9; 10].

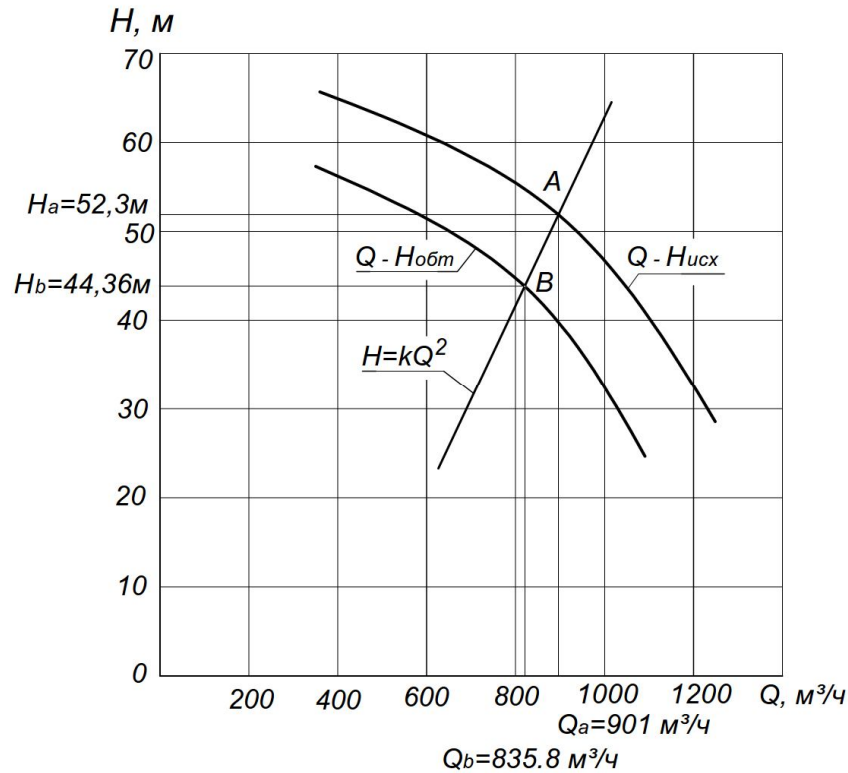


Рис. 4. Расчет обточка рабочего колеса и Q–H характеристики насоса с обточенным рабочим колесом

Расчетный процент срезки не должен превышать нормативный [3], который представлен в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент быстроходности, n_s	Допустимый процент срезки, %
60-120	15-20
120-200	11-15
200-300	7-11

Далее строится Q–H характеристика насоса с обточенным колесом. Для этого задаются значения подачи, а затем по Q–H характеристики выбранного насоса определяется напор. Напор насоса с обточенным колесом $H_{обт}$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$H_{обт} = \left(\frac{D_{обт}}{D} \right)^2 \cdot H . \quad (29)$$

Подача насоса с обточенным колесом $Q_{обт}$ (м³/ч) определяется по формуле [4; 5]:

$$Q_{обт} = \frac{D_{обт}}{D} \cdot Q . \quad (30)$$

Результаты расчетов заносятся в табл. 4.

Таблица 4

Q, м ³ /ч					
H, м					
Q _{обт.} , м ³ /ч					
H _{обт.} , м					

По данным табл. 4 строится Q–H характеристика насоса с обточенным рабочим колесом (рис. 4).

4.2. Подбор электродвигателя

Выбор марки электродвигателя осуществляется по его мощности. Мощность электродвигателя $N_{\text{дв}}$ (кВт) определяется по формуле [4; 5]:

$$N_{\text{дв}} = K_3 \cdot N_n, \quad (31)$$

где K_3 – коэффициент запас мощности, зависящий от N_n ; N_n – мощность насоса, кВт.

Мощность насоса N_n (кВт) определяется по формуле [4; 5]:

$$N_n = \frac{\rho \cdot g \cdot q_{1n} \cdot H_{\text{пр}}}{1000 \cdot \eta_n}, \quad (32)$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; η_n – КПД насоса при q_{1n} [9; 10].

Коэффициент запаса мощности принимается по данным табл. 5.

Таблица 5

N_n , кВт	До 20	20-50	50-300	более 300
K_3	1,25	1,2	1,15	1,1

Марка электродвигателей подбирается по рекомендациям [9; 10].

Занятие № 5

Построение характеристик совместной работы насосов и водоводов

Характеристики совместной работы насосов и водоводов строятся для определения режимной точки насосной станции. Сначала строятся Q–H характеристики параллельно работающих насосов. Для этого в координатах Q–H строится характеристика одного рабочего насоса (рис. 5). Если производилась обточка рабочего колеса, то для всех дальнейших расчетов применяется Q–H характеристика насоса с обточенным колесом [4; 5].

Для построения Q–H характеристики двух параллельно работающих насосов при пяти значениях напора проводятся линии, параллельные оси абсцисс. Далее на этих линиях дважды откладываются расстояния от оси ординат до пересечения параллельной линии с Q–H характеристикой насоса. Полученные таким образом точки соединяются плавной линией, которая и представляет собой Q–H характеристику второго насоса, параллельно работающего с первым (рис. 5). Построение каждой новой Q–H характеристики параллельно работающего насоса производится аналогично [4; 5].

Затем строится Q–H характеристика напорного водовода по формуле [4; 5]:

$$H = H_z + SQ^2, \quad (33)$$

где H_z – геометрическая высота подъема воды, м; S – приведенное сопротивление водовода, $\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2$.

Величина H_z (м) определяется по формулам [4; 5]:

$$\text{– для ВНС-II} \quad H_z = Z_2 - Z_1 + H_{\text{б}} + h_{\text{б}}, \quad (34)$$

$$\text{– для КНС} \quad H_z = Z_4 - Z_5 + h_{\text{изл}}, \quad (35)$$

Величина S ($\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2$) определяется по формулам [4,5]

$$\text{– для ВНС-II} \quad S = \frac{h_{\text{вс}} + h_n + H_{\text{н.с.}}}{q_{\text{в}}^2}, \quad (36)$$

$$\text{– для КНС} \quad S = \frac{h_n + H_{\text{н.с.}}}{q_{\text{в}}^2}, \quad (37)$$

где $q_{\text{в}}$ – расход воды по одному водоводу, л/с.

Задаваясь значениями подачи, определяем напор по формуле (33). Результаты расчета заносятся в табл. 6.

Таблица 6

Q, л/с					
SQ^2 , м					
H, м					

По данным табл. 6 строится Q–H характеристика водовода. Q–H характеристика второго водовода, работающего параллельно с первым, строится так же, как Q–H характеристика второго параллельно работающего насоса. Точка пересечения Q–H характеристики i -го параллельно работающего насоса с Q–H характеристикой i -го водовода (точка А) называется режимной точкой (рис. 5).

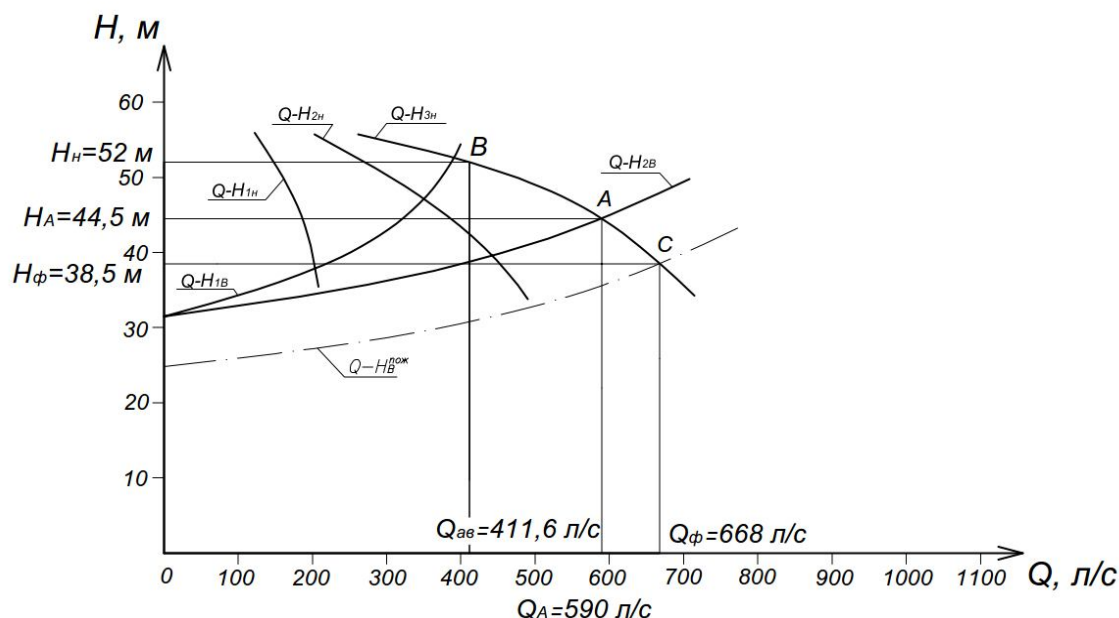


Рис. 5. Характеристика совместной работы насосов и водоводов

Координаты точки А (Q_A и H_A) не должны отличаться от $Q_{н.с.}$ и $H_{тр}$ больше, чем на 5%.

Занятие № 6

Расчет насосов и водоводов насосных станций на случай аварии

Расход, подаваемый насосной станцией при аварии $Q_{ав}$ ($м^3/с$) определяется по формулам [4; 5]:

– для ВНС-II
$$Q_{ав} = 0,7 \cdot Q_{н.с.} \quad (38)$$

– для КНС
$$Q_{ав} = Q_{н.с.} \quad (39)$$

Расход воды при аварии во всасывающих трубопроводах насосных станций, $Q_{ав}^{6c}$ (м³/с) определяется по формуле [4; 5]:

$$Q_{ав}^{6c} = \frac{Q_{ав}}{n_{6c}} \quad (40)$$

Потери напора во всасывающих трубопроводах насосных станций при аварии $h_{ав}^{6c}$ (м) определяются по формуле [4; 5]:

$$h_{ав}^{6c} = 1.1 \cdot i_{6c}^{ав} \cdot l_{6c}, \quad (41)$$

где $i_{6c}^{ав}$ – гидравлический уклон во всасывающих трубопроводах насосных станций при аварии [6; 8].

Расход воды при аварии в напорных трубопроводах насосных станций $Q_{ав}^H$ (м³/с) определяется по формуле [4; 5]:

$$Q_{ав}^H = \frac{Q_{ав}}{n_H - 1}. \quad (42)$$

Потери напора в напорных трубопроводах насосных станций при аварии $h_{ав}^H$ (м) определяются по формуле [4; 5]:

$$h_{ав}^H = 1.1 \cdot i_H^{ав} \cdot l_H, \quad (43)$$

где $i_H^{ав}$ – гидравлический уклон в напорных трубопроводах при аварии [6; 8].

Требуемый напор при аварии $H_{тр}^{ав}$ (м) определяется по формулам [4; 5]:

– для ВНС-II
$$H_{тр}^{ав} = Z_2 - Z_3 + h_{6c}^{ав} + h_H^{ав} + H_{\bar{o}} + h_{\bar{o}} + H_{н.с.}, \quad (44)$$

– для КНС
$$H_{тр}^{ав} = Z_4 - Z_5 + h_H^{ав} + h_{изл} + H_{н.с.}, \quad (45)$$

Для снижения потерь напора, а также для обеспечения возможности ремонта поврежденного участка напорного трубопровода, на них устраиваются переключения (блокировки). Число таких переключений на напорных трубопроводах $n_{пер}$ определяется по формуле [4; 5]:

$$n_{пер} = \frac{l_H}{l_{ав}} - 1, \quad (46)$$

где $l_{ав}$ – расстояние между переключениями, м.

Величина $l_{ав}$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

– для ВНС–II

$$l_{ав} = \frac{h_n / 1,1 - i_{ав} \cdot l_n}{i_n^{ав} - i_{ав}}, \quad (47)$$

где h_n – потери напора в напорных трубопроводах в случае аварии при наличии переключений, м; $i_{ав}$ – гидравлический уклон напорных трубопроводов при пропуске аварийного расхода по всем водоводам;

– для КНС

$$l_{ав} = \frac{h_n^* / 1,1 - i_n l_{ав}}{i_n^{ав} - i_n}, \quad (48)$$

Величина h_n^* (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$h_n^* = h_n^{ав} - \Delta h, \quad (49)$$

где Δh – разница между требуемым напором при аварии и напором, развиваемым при аварии насосами, м.

Величина Δh (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$\Delta h = H_{тр}^{ав} - H_n^{ав}, \quad (50)$$

где $H_n^{ав}$ – напор, располагаемый насосами при аварии, м.

При аварии на КНС включается резервный насос. Для определения $H_n^{ав}$ при аварии на КНС необходимо восстановить перпендикуляр из точки с координатами $(Q_{ав}, 0)$ до его пересечения с Q–H характеристикой резервного насоса. Для определения $H_n^{ав}$ при аварии на ВНС–II необходимо восстановить перпендикуляр из точки с координатами $(Q_{ав}, 0)$ до его пересечения с Q–H характеристикой i -го параллельно работающего насоса.

Занятие № 7

Проверка насосов и водоводов ВНС–II на случай пожара

Данный расчет проводится только при проектировании ВНС–II. При пожаре на ВНС–II необходимо обеспечивать подачу воды на хозяйственно-питьевые нужды и тушение пожаров. Подача при пожаре $Q_{пож}$ (л/с) определяется по формуле [4]:

$$Q_{пож} = Q_{max} + q_n \quad (51)$$

Требуемый напор при пожаре $H_{тр}^{пож}$ (м) определяется по формуле [4]:

$$H_{тр}^{пож} = Z_2 - Z_3 + h_{вс}^{пож} + h_n^{пож} + H_{св}^{пож} + H_{н.с.}, \quad (52)$$

где $h_{вс}^{пож}$ – потери напора во всасывающих трубопроводах при пожаре, м;
 $h_n^{пож}$ – потери напора в напорных трубопроводах при пожаре, м; $H_{св}^{пож}$ –
 необходимый свободный напор при пожаротушении, м.

Расход воды во всасывающих трубопроводах при пожаре $Q_{вс}^{пож}$ (л/с)
 определяется по формуле [4]:

$$Q_{вс}^{пож} = \frac{Q_{пож}}{n_{вс}} \quad (53)$$

Потери напора во всасывающих трубопроводах при пожаре $h_{ав}^{пож}$ (м)
 определяются по формуле [4]:

$$h_{ав}^{пож} = 1.1 \cdot i_{вс}^{пож} \cdot l_{вс}, \quad (54)$$

где $i_{вс}^{пож}$ – гидравлический уклон всасывающих трубопроводов при пожаре
 [6].

Расход воды в напорных трубопроводах при пожаре $Q_n^{пож}$ (л/с) опреде-
 ляется по формуле [4]:

$$Q_n^{пож} = \frac{Q_{пож}}{n_n} \quad (55)$$

Потери напора в напорных трубопроводах при пожаре $h_n^{пож}$ (м) опреде-
 ляются по формуле [4]:

$$h_n^{пож} = 1.1 \cdot i_n^{пож} \cdot l_n, \quad (56)$$

где $i_n^{пож}$ – гидравлический уклон напорных трубопроводов при пожаре [6].

Строится Q–H характеристика напорных трубопроводов при пожаре по
 формуле [4]:

$$H = H_2^{пож} + S Q_{пож}^2, \quad (57)$$

где $H_2^{пож}$ – геометрическая высота подъема воды при пожаре, м; S – приве-
 денное сопротивление напорных трубопроводов при пожаре, м·с²/л².

Величина $H_2^{пож}$ (м) определяется по формуле [4]:

$$H_2^{пож} = Z_2 - Z_3 + H_{св}^{пож}, \quad (58)$$

Величина S ($\text{м}\cdot\text{с}^2/\text{л}^2$) определяется по формуле [4]:

$$S_{\text{пож}} = \frac{h_{\text{вс}}^{\text{пож}} + h_{\text{н}}^{\text{пож}} + H_{\text{н.с.}}}{Q_{\text{пож}}^2} \quad (59)$$

Задаваясь значениями подачи определяем напор. Результаты расчетов заносятся в табл. 7.

Таблица 7

Q, л/с					
$S_{\text{пож}} Q^2, \text{м}$					
H, м					

Точка пересечения Q–H характеристики водоводов при пожаре с Q–H характеристикой i -го рабочего насоса (точка В) имеет координаты $Q_{\text{пож}}^{\phi}$ и $H_{\text{пож}}^{\phi}$ (рис. 5). Если $Q_{\text{пож}}^{\phi} < Q_{\text{пож}}$ или $H_{\text{пож}}^{\phi} < H_{\text{Тр}}^{\text{пож}}$, необходимо установить на ВНС-II пожарный насос с характеристиками $Q_{\text{пож}}$ и $H_{\text{Тр}}^{\text{пож}}$. При включении пожарного насоса рабочие насосы выключаются.

Занятие № 8

Разработка высотной схемы насосных станций

8.1. Определение отметки оси насоса

Отметка оси насоса на ВНС-II $Z_{\text{о.н.}}$ (м) определяется по формуле [4]:

$$Z_{\text{о.н.}} = Z_1 + H_2^{\text{дон}}, \quad (60)$$

где $H_2^{\text{дон}}$ – допустимая геометрическая высота всасывания, м.

Величина $H_2^{\text{дон}}$ (м) определяется по формуле [4]:

$$H_2^{\text{дон}} = 10 - \Delta h_{\text{дон}} - h_{\text{вс}} - h_{\text{зан}} - \frac{v_{\text{вх}}^2}{2g}, \quad (61)$$

где $\Delta h_{\text{дон}}$ – допустимый кавитационный запас [10], м; $h_{\text{зан}} = 0,5 \div 1,5$ м – запас на возможное снижение допустимой вакуумметрической высоты всасывания [4]; $V_{\text{вх}}$ – скорость движения воды во всасывающей патрубке насоса, м/с.

Величина $V_{\text{вх}}$ (м/с) определяется по формуле [4]:

$$V_{\text{вх}} = \frac{4q_{1\text{н}}}{\pi d_{\text{вх}}^2}, \quad (62)$$

где $d_{вх}$ – диаметр всасывающего патрубка насоса, м [10].

Отметка оси насоса на КНС $Z'_{о.н.}$ (м) определяется по формуле [5]:

$$Z'_{о.н.} = Z_5 - h_6 + 0,3 + H, \quad (63)$$

где H – расстояние от подошвы насоса до его оси, м [9].

8.2. Определение высоты надземной насосной станции

Высота надземной части насосной станции $H_{н.ч.}$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$H_{н.ч.} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (64)$$

где h_1 – высота рельса грузоподъемного оборудования с учетом его подвески к перекрытию, м [11]; h_2 – расстояние от низа монорельса до зева крюка, м [11]; $h_3 = 0,5 - 1$ м – высота строповки груза [4; 5]; h_4 – высота груза имеющего максимальные размеры, м; $h_5 = 0,5$ м – запас высоты до пола насосной станции, м.

8.3. Определение глубины заполнения напорных трубопроводов

Расстояние от поверхности земли до низа напорных трубопроводов (глубина заложения) ВНС-II $H_{зал}$ (м) определяется по формуле [4]:

$$H_{зал} = h_{яр} + 0,5, \quad (65)$$

где $h_{яр}$ – глубина промерзания грунта в данном климатическом районе, м.

Глубина заполнения напорных трубопроводов КНС $H_{зал}$ (м) определяется по формуле [5]:

$$H'_{зал} = h_{нр} - (0,3 - 0,5), \quad (66)$$

где 0,3 м – для труб диаметром до 500 м; 0,5 м – для труб диаметром более 500 мм [5].

Отметка низа выходящих из насосных станций напорных водоводов $Z_{тр}$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$Z_{тр} = Z_6 - H_{зал}(H'_{зал}), \quad (67)$$

где Z_6 – отметка поверхности земли у насосных станций, м.

8.4. Разработка высотной схемы насосных станций

На высотной схеме насосных станций указываются [4; 5]: отметки этажей, площадок, подошв фундаментов; отметка поверхности земли у насосных станций; отметки оси насосов; отметки низа трубопроводов, входящих и выходящих из насосных станций; отметка уровня грунтовых вод. Фундаменты насосов должны возвышаться над полом не менее, чем 0,1–0,2 м [4; 5]. Пол надземной части насосных станций должен быть выше отметки земли у насосных станций на 0,15–0,2 м [4; 5].

Занятие № 9

Составление схем насосных станций

9.1. Подбор арматуры и фасонных частей

На КНС и ВНС-II устанавливается водопроводная арматура и фасонные части [3]. Если насосные станции проектируются с ручным управлением, то запорно-регулирующая арматура на них устанавливается с ручным приводом. Если насосные станции имеют полуавтоматический или автоматический режим управления, то запорно-регулирующая арматура, устанавливаемая на них, должна иметь электропривод [4; 5].

На насосных станциях устанавливается арматура и фасонные части по рекомендациям [12]. Запорно-регулирующая арматура и фасонные части подбираются в соответствии с диаметром условного прохода трубопроводов (D_y) и с учетом давления, под которым они работают в насосных станциях (P_y) [3].

9.2. Составление схем насосных станций

Расположение насосных агрегатов и трубопроводов в машинном зале насосных станций должно обеспечивать надёжность действия основного и вспомогательного оборудования, а также удобство, простоту и безопасность его обслуживания. На КНС и ВНС-II целесообразно применять однорядную схему расположения насосных агрегатов в машинном зале [4; 5]. Оси насосных агрегатов на КНС перпендикулярны перегородке, разделяющей машинный зал и приёмный резервуар. Оси насосных агрегатов на ВНС-II перпендикулярны или параллельны длинной оси здания этих насосных станций.

К каждому насосу, установленному на КНС, подводится самостоятельный всасывающий трубопровод, на конце которого имеется всасывающая воронка, входное отверстие которой располагается перпендикулярно к плоскости поверхности воды в приёмном резервуаре КНС, если диаметр всасывающего трубопровода превышает 500 мм. При

меньших диаметрах отверстие воронки находится параллельно поверхности воды в приемном резервуаре КНС [5].

Диаметр воронки d_g (мм) определяется по формуле [5]:

$$d_g = (1,3 \div 1,5)d_{gc}, \quad (68)$$

где d_{gc} – диаметр всасывающего трубопровода, мм.

Высота воронки H_g (мм) составляет [5]:

$$H_g = (1,3 \div 1,7)d_{gc}. \quad (69)$$

Всасывающие трубопроводы прокладываются с подъемом 0,03–0,05 от входной воронки к насосным агрегатам. Для спуска воды из всасывающего трубопровода они оборудуются выпускными патрубками. На всасывающих трубопроводах КНС устанавливаются эксцентрические переходы, а на напорных трубопроводах – концентрические [5].

Для каждого насоса предусматривается отдельный напорный трубопровод, соединяющийся внутри КНС с напорным коллектором. Напорные трубопроводы от насосов присоединяются к напорному водоводу внутри КНС «шелыга в шелыгу» для предотвращения образования воздушных пробок [5].

Диаметр КНС должен соответствовать унифицированным размерам: 6, 9, 12, 15, 18, 24, 30 м [5]. Длина и ширина здания ВНС-II и ее машинного зала должны быть кратны трем и соответствовать унифицированным размерам: 6, 9, 12, 12, 18, 24 и т. д. [4].

На ВНС-II для каждого насоса предусматриваются отдельный всасывающий и отдельный напорный трубопроводы, соединяющиеся внутри насосной станции с соответствующими коллекторами. К всасывающим и напорным коллекторам внутри ВНС-II присоединяются всасывающие трубопроводы и напорные водоводы, которые располагаются вне этих насосных станций. Всасывающие и напорные трубопроводы на КНС и ВНС-II внутри этих станций прокладываются открыто по полу и стенам машинного зала.

Под арматуру и трубопроводы предусматривают бетонные опоры [4; 5]. При напоре более 30 м на напорных трубопроводах каждого насоса устанавливаются обратные клапаны [3]. Количество запорно-регулирующей арматуры должно обеспечивать надёжность насосных станций, а также возможность производить ремонт насосных агрегатов без остановки КНС и ВНС-II. В тоже время количество арматуры, а также длина всасывающих и напорных трубопроводов внутри насосных станций должна быть минимальной [4; 5]. Величина проходов между насосными

агрегатами, а также расстояние между ними и стенами машинного зала насосных станций принимаются согласно рекомендациям [7; 13].

На схемах расположения насосных агрегатов в машинных залах КНС и ВНС-II указываются диаметры всасывающих и напорных трубопроводов, размеры устанавливаемой арматуры и фасонных частей, а также величины проходов между насосными агрегатами и другим оборудованием.

Занятие № 10

Определение величины потерь напора во внутренних коммуникациях насосных станций

10.1. Определение величины потерь напора во внутренних коммуникациях насосных станций

После разработки чертежей машинного зала насосных станций производится уточнение потерь напора в их внутренних коммуникациях. Потери напора определяются для насоса с наибольшей длиной всасывающего и напорного трубопроводов внутри насосной станции.

Величина потерь напора во внутренних коммуникациях насосных станций $H_{н.с.}^{\phi}$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$H_{н.с.}^{\phi} = H_{н.с.}^{вс} + H_{н.с.}^н, \quad (70)$$

где $H_{н.с.}^{вс}$ – потери напора во всасывающих трубопроводах насосной станции, м; $H_{н.с.}^н$ – потери напора в напорных трубопроводах насосной станции, м.

Величина $H_{н.с.}^{вс}$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$H_{н.с.}^{вс} = i_{вс} \cdot L_{вс} + H_{вс}^м, \quad (71)$$

где $i_{вс}$ – гидравлический уклон всасывающего трубопровода; $L_{вс}$ – длина всасывающего трубопровода, м; $H_{вс}^м$ – потери напора на местные сопротивления для всасывающего трубопровода, м.

Гидравлический уклон всасывающего трубопровода ВНС-II определяется по расходу $Q_{вс}$ при диаметре трубопровода $d_{вс}$ по таблицам [6], а для КНС – по таблицам [8].

Величина $L_{вс}$ для КНС определяется по чертежам насосной станции. Величина $L_{вс}$ (м) для ВНС-II определяется по формуле [4]:

$$L_{вс} = l_{вс} + l_{вс}^{вн}, \quad (72)$$

где $l_{вс}^{6H}$ – длина всасывающего трубопровода внутри ВНС-II, определяемая по чертежам ВНС-II.

Величина $H_{вс}^M$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$H_{вс}^M = \sum \xi_{вс} \times \frac{V_{вс}^2}{2g}, \quad (73)$$

где $\xi_{вс}$ – коэффициент местного сопротивления для всасывающего трубопровода [3]; $V_{вс}$ – скорость движения воды во всасывающем трубопроводе, м/с.

Величина $V_{вс}$ (м/с) для ВНС-II определяется по таблицам [6], а величина $V_{вс}$ (м/с) для КНС определяется по таблицам [8].

Величина $H_{н.с.}^H$ (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$H_{н.с.}^M = i_n \times L_n + H_n^M, \quad (74)$$

где L_n – длина напорного трубопровода внутри насосной станции, м; H_n^M – потери напора на местные сопротивления для напорного трубопровода, м.

Величина H_n^M (м) определяется по формуле [4; 5]:

$$H_n^M = \sum \xi_n \times \frac{V_n^2}{2g}, \quad (75)$$

где ξ_n – коэффициент местного сопротивления для напорного трубопровода [3]; V_n – скорость движения воды в напорном трубопроводе, м/с.

Величина V_n (м/с) для ВНС-II определяется по таблицам [6], а для КНС – по таблицам [8].

10.2. Определение технико-экономических показателей насосных станций

КПД насосной станции $\eta_{н.с.}$ определяется по формуле [4; 5]:

$$\eta_{н.с.} = \frac{Q_{1н} H_{мп} t_1 + Q_{2н} H_{мп} t_2 + \dots + Q_{iн} H_{мп} t_i}{\frac{Q_{1н} H_{мп} t_1}{\eta_{a1}} + \frac{Q_{2н} H_{мп} t_2}{\eta_{a2}} + \dots + \frac{Q_{iн} H_{мп} t_i}{\eta_{ai}}}, \quad (76)$$

где $Q_{1н}, Q_{2н}, \dots, Q_{iн}$ – соответственно, подачи одного, двух ... i насосов, м³/с; $H_{мп}$ – требуемый напор насосной станции, КПа; $\eta_{a1}, \eta_{a2}, \dots, \eta_{ai}$ – соответственно, КПД одного, двух ... i насосных агрегатов.

КПД насосных агрегатов η_{ai} определяется по формуле [4; 5]:

$$\eta_{ai} = \eta_{aI+II+\dots+i} \times \eta_{дв}, \quad (77)$$

где $\eta_{aI+II+\dots+i}$ – КПД i -го насоса при их параллельной работе; $\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя.

Величина $\eta_{aI+II+\dots+i}$ определяется при расходе $Q_{in} - Q_{(i-1)n}$ по данным [9; 10]. Удельный расход электроэнергии a составляет [4; 5]:

$$a = \frac{1}{\eta_{н.с.}} \quad (78)$$

Удельный расход электроэнергии 1000 тонно-метров $N_{y\partial}$ (кВт·ч/1000 т·м) определяется по формуле [4; 5]:

$$N_{y\partial} = \frac{2,724}{\eta_{н.с.}} \quad (79)$$

Годовой фактический расход электроэнергии A_{ϕ} (кВт·ч) определяется по формуле [4; 5]:

$$A_{\phi} = 365 \times K_n \left(\frac{Q_{1н} H_{TP} t_1}{\eta_{aI}} + \frac{Q_{2н} H_{TP} t_2}{\eta_{aII}} + \dots + \frac{Q_{iн} H_{TP} t_i}{\eta_{ai}} \right), \quad (80)$$

где $K_n = 0,85$ – коэффициент, учитывающий неравномерность водопотребления или водоотведения в течение года [4; 5].

Занятие № 11

Подбор вспомогательного оборудования насосных станций

11.1. Подбор силовых трансформаторов

Для электроснабжения насосных станций используются понижающие трансформаторы. Для насосных станций I и II категории надёжности электроснабжение должно осуществляться от двух независимых источников. Принимаются не более двух рабочих трансформаторов [4; 5].

Мощность силовых трансформаторов N_{mp} (кВт) определяется по формуле [4; 5]:

$$N_{mp} = K_c \sum_{i=1}^n \frac{N_n}{\eta_{\text{дв}} \cos \varphi}, \quad (81)$$

где $K_c = 0,6 \div 0,95$ – коэффициент спроса, принимается в зависимости от числа рабочих насосов, назначения насосной станции и режимов её работы [4; 5]; N_n – номинальная мощность электродвигателя насоса, присоединяемого к трансформатору, кВт; $\eta_{\text{дв}} = 0,85$ – КПД электродвигателя [4; 5]; $\cos \varphi = 0,85$ – коэффициент мощности [4; 5].

Марка трансформатора принимается по рекомендациям [9]. Принимается один резервный трансформатор [4; 5]. В зависимости от количества и размеров трансформаторов определяется необходимая площадь трансформаторной.

11.2. Подбор решеток и дробилок для канализационных насосных станций

Для улавливания крупных плавающих отбросов на КНС устанавливаются решетки. При объеме улавливаемых отбросов до $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ они удаляются с поверхности решеток вручную. При объеме улавливаемых отбросов более $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ они удаляются механическими граблями [2]. Уловленные отбросы измельчаются в дробилках и сбрасываются в канал перед решеткой.

Ширина прозоров решеток принимается в зависимости от типоразмера, установленных на КНС насосов [3]. Если КНС подает сточную воду на очистные сооружения, то ширина прозоров принимается $b=0,016 \text{ м}$.

Объем задерживаемых решетками отбросов $W_{отб}$ ($\text{м}^3/\text{сут}$) определяется по формуле [5]:

$$W_{отб} = \frac{a_{отб} \times N_{np}}{365 \times 1000}, \quad (82)$$

где $a_{отб}=8 \text{ л/год}\cdot\text{чел}$ – количество отбросов, снимаемых с решетки [5];

N_{np} – число жителей, обслуживаемых КНС, чел.

Величина N_{np} (чел) определяется по формуле [5]:

$$N_{np} = \frac{Q_{сут} \times 1000}{q}, \quad (83)$$

где q – норма водоотведения, л/сут·чел [7].

Число прозоров решетки n_{np} (шт.) определяется по формуле [5]:

$$n_{np} = \frac{Q_{max} \times K_{ст}}{bh_p V_p}, \quad (84)$$

где $K_{ст}=1,05$ – коэффициент, учитывающий стеснения прозоров решетки задержанными отбросами [5]; $h_p=0,5-1,5 \text{ м}$ – глубина воды в решетке [5];

$V_p=1 \text{ м/с}$ – скорость движения воды в решетке [5].

Ширина решетки B_p (м) определяется по формуле [5]:

$$B_p = S(n_{np} - 1) + b_{np}, \quad (85)$$

где S – толщина стержней решетки, м.

По величине B_p подбирается марка решетки согласно рекомендациям [2; 11]. Количество резервных решеток принимается по [13].

Масса уловленных отбросов $M_{отб}$ (кг/ч) определяется по формуле [5]:

$$M_{отб} = \frac{W_{отб} \times \rho_{отб}}{24}, \quad (86)$$

где $\rho_{отб} = 750 \text{ кг/м}^3$ – плотность отбросов, уловленных решетками [5].

По массе отбросов принимается марка дробилки согласно рекомендациям [11]. При массе отбросов более 1т/сут, кроме рабочей, на КНС устанавливается резервная дробилка [3]. Решетки и дробилки размещаются в специальном помещении (грабелем отделении), которое располагается над приемным резервуаром КНС.

11.3. Подбор вакуум-насосов

Для заливки рабочих насосов на ВНС-II устанавливаются вакуум-насосы. Устанавливаются один рабочий и один резервный вакуум-насосы и один общий циркуляционный бак [4]. Производительность вакуум-насоса $Q_{в.н.}$ ($\text{м}^3/\text{мин}$) определяется по формуле [4]:

$$Q_{в.н.} = \frac{K_z (W_{тр} + W_n) H_a}{t_{зан} (H_a - H_{г.в.})}, \quad (87)$$

где $K_z = 1,05 \div 1,1$ – коэффициент запаса [4]; $W_{тр}$ – объем воздуха во всасывающем трубопроводе, м^3 ; $W_n = 0,1 \div 0,5 \text{ м}^3$ – объем воздуха в корпусе насоса [4]; $H_a = 10 \text{ м}$ – атмосферное давление; $H_{г.в.}$ – геометрическая высота всасывания насоса; $t_{зан} = 5 \text{ мин}$ – время заливки рабочих насосов [4].

Величина $W_{тр}$ (м^3) определяется по формуле [4]:

$$W_{тр.} = \frac{\pi d b^2 c}{4} (l_{вс} + l_{вс}^{вн}) \quad (88)$$

Марка вакуум-насоса подбирается по его производительности согласно рекомендациям [11].

11.4. Подбор дренажных насосов

Дренажные сточные воды, образующиеся в машинном зале насосных станций, собираются в дренажном приемке размерами $1 \times 1 \times 1 \text{ м}$ и погружным насосом перекачиваются: на КНС – в приемный резервуар; на ВНС-II – в водоотводящую сеть населенного пункта, в котором расположена данная насосная станция. Технические характеристики погружных насосов типа ГНОМ приведены в справочнике [11]. Согласно [7] необходимо предусматривать один резервный агрегат.

11.5. Подбор грузоподъемного оборудования

Для монтажа, демонтажа и ремонта насосных агрегатов, а также другого технологического оборудования в насосных станциях предусматривается грузоподъемное оборудование [3]. На КНС грузоподъемное оборудование устанавливается в помещении решеток, в машинном зале КНС, а также в ее надземной части. На КНС применяются [5]: краны подвесные однобалочные ручные грузоподъемностью 0,5–5 т; краны подвесные однобалочные электрические грузоподъемностью 1–5 т. Для ремонта решеток и дробилок применяются шестеренчатые тали с ручным приводом грузоподъемностью 0,25–2 т [5]. На ВНС-II в ее машинном зале устанавливаются однобалочные электрические подвесные краны [4].

Грузоподъемное оборудование подбирается по грузоподъемности и пролету [3]. Величина грузоподъемности определяется весом монтируемого оборудования, а пролет зависит от размеров насосной станции в плане. Грузоподъемное оборудование подбирается по рекомендациям [11].

Занятие № 12

Расчет воздуходувной станции для подачи воздуха в аэротенки

Расход воздуха, подаваемого в аэротенки ($Q_в, \text{м}^3/\text{ч}$) определяется по формуле [15]:

$$Q_в = \frac{Q_{\text{сум}} D}{24}, \quad (89)$$

где $Q_{\text{сум}}$ – расход сточных вод, поступающий в аэротенки на очистку, $\text{м}^3/\text{сут}$;
 D – удельный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Величина D ($\text{м}^3/\text{м}^3$) определяется по формуле [15]:

$$D = \frac{z(C_{\text{БПК}}^{\text{см}} - L)}{K_1 \times K_2 \times n_1 \times n_2 (C_p - C)}, \quad (90)$$

где z – удельный расход кислорода воздуха, $\text{мг}/\text{мг}$, $C_{\text{БПК}}^{\text{см}}$ – БПК_{полн} сточной воды, поступающий на очистку, $\text{мг}/\text{л}$; L – БПК_{полн} очищенной воды, $\text{мг}/\text{л}$;
 K_1 – коэффициент, учитывающий тип аэратора [15]; K_2 – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов [15]; n_1 – коэффициент, зависящий от температуры сточных вод; n_2 – коэффициент качества сточных вод [15]; C_p – растворимость кислорода воздуха в сточной воде, $\text{мг}/\text{л}$; $C=2 \text{ мг}/\text{л}$ – концентрация кислорода в сточной воде в аэротенках [15].

Величина n_1 определяется по формуле [15]:

$$n_1 = 1 + 0,02(T - 20), \quad (91)$$

где T – среднемесячная температура стоков за летний период, °C .

Величина C_p (мг/л) определяется по формуле [15]:

$$C_p = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \times C^p, \quad (92)$$

где h_a – глубина погружения аэраторов, м; C^p – растворимость кислорода в воде при температуре T , мг/л [15].

Величина h_a (м) определяется по формуле [15]:

$$h_a = H_a - 0,2, \quad (93)$$

где H_a – глубина аэротенков, м.

Полное давление воздуха, подаваемого в аэротенки P (МПа) определяется по формуле [15]:

$$P = 0,1 + 0,01 H_{общ}, \quad (94)$$

где $H_{общ}$ – требуемое общее давление воздуходувок, м.

Величина $H_{общ}$ (м) определяется по формуле [15]:

$$H_{общ} = h_{mp} + h_n + h_{aэр} + H_a, \quad (95)$$

где h_{mp} – потери давления по длине воздуховодах от воздуходувок до наиболее удаленного аэратора, м; h_n – потери давления на местные сопротивления в воздуховодах, м; $h_{aэр}$ – потери давления в аэраторах, м.

Величина h_{mp} (м) определяется по формуле [15]:

$$h_{mp} = i_g \cdot l_{mp} \cdot \alpha_t \cdot \alpha_p, \quad (96)$$

где i_g – потери давления на единицу длины воздуховода при температуре воздуха +20 °C и давлении 0,1 МПа [15]; l_{mp} – длина воздуховода, м; α_t – поправка на температуру [15]; α_p – поправка на давление [15].

Величина h_m (м) определяется по формуле [15]:

$$h_m = \sum \xi \frac{V_g^2}{2g} \rho_g \alpha_t \alpha_p, \quad (97)$$

где ξ – коэффициент местных сопротивлений [15]; V_g – скорость движения воздуха, м/с; ρ_g – плотность воздуха при расчетной температуре, г/см³.

По полному давлению и расходу воздуха согласно рекомендациям [15] выбирается тип воздуходувки. Принимается минимальное число рабочих воздуходувок. Число резервных воздуходувок принимается согласно рекомендациям [13].

Список литературы

1. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения: справочник / под ред. Б.Н. Репина. – М.: Высшая школа, 1995. – 431 с.
2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: справочник проектировщика / под ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
3. Карелин В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. – М.: ООО «ИД "БАСТЕТ"», 2010. – 448 с.
4. Расчет и проектирование водопроводной насосной станции второго подъема: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Б. Адельшин [и др]. – Казань: КГАСУ, 2006. – 47 с.
5. Расчет и проектирование канализационной насосной станции: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Б. Адельшин [и др]. – Казань: КГАСУ, 2006. – 40 с.
6. Шевелёв Ф.А. Таблицы для гидравлического расчёта водопроводных труб / Ф.А. Шевелёв, А.Ф. Шевелёв. – М.: ООО «ИД "БАСТЕТ"», 2008. – 352 с.
7. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 109 с.
8. Лукиных А.А. Таблицы для гидравлического расчета, канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н Павловского: Справочное пособие / А.А. Лукиных, Н.А. Лукиных. – М.: ООО «ИД "БАСТЕТ"», 2012. – 384 с.
9. Динамические насосы для сточных жидкостей: каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1986. – 32 с.

10. Центробежные насосы двухстороннего входа: каталог.– М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1982. – 24 с.
11. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений: справочник проектировщика / под ред. А.С. Москвитина. – М.: Стройиздат, 1979. – 430 с.
12. Монтаж систем внешнего водопровода и канализации: справочник строителя / под ред. А.К. Перешивкина. – М.: Стройиздат, 1988. – 653 с.
13. СП 32.133002012. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 93 с.
14. Электротехнический справочник. – Т.2: Электротехнические изделия и устройства / под общ. ред. В.Г. Герасимова.– М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 518 с.
15. Ласков Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калищун. – М.: ИД «Альянс», 2008. – 255 с.

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Составители: Бусарев Андрей Валерьевич,
Селюгин Александр Сергеевич,
Урмитова Назия Салиховна