

Занятие 1. Основы гидравлического расчета сетей и систем водоснабжения.

Гидравлический расчет водопроводной сети заключается в определении диаметров труб и потерь напора на преодоление сопротивления в трубах при пропуске по ним расчетного количества воды. Для определения диаметров труб, необходимо знать расход.

Расчет водопровода холодной воды производится на случай наихудшего сочетания нагрузок, то есть пропуска секундного расхода в час максимального водопотребления суток максимального водопотребления. Затем систему проверяют на пропуск аварийного пожарного расхода. Рассмотрим пример задачи.

Решение задачи:

Вид и количество потребителей:

Жители:

$$U_1 = n_{\text{кв}} * U_0 \quad (1)$$

$$U_1 = 648 * 3,5 = 2268 \text{ чел.}$$

Содержание дома и территории:

$$F_{\text{полива зелени}} = 6875 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{поливка тротуара}} = 1875 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{уборка}} = 600 \text{ м}^2.$$

Пожаротушение:

$$n_{\text{струй}} = 3;$$

$$q_{\text{струй}}^{\text{В2}} = 2,9 \text{ л/с.}$$

Нормы водопотребления:

$$q_{0 \text{ сут}}^{\text{В0}} = 400 \text{ л/чел*сут};$$

$$q_{0 \text{ сут}}^{\text{В1}} = 270 \text{ л/чел*сут};$$

Суточный расход в сутки максимального водопотребления:

$$q_{\text{сут}} = q_{0\text{сут}} \cdot U \quad (2)$$

$$q_{\text{сут}}^{B0} = 400 \cdot 2268 = 907,2 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{сут}}^{B1} = 270 \cdot 2268 = 612,4 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{сут}}^{T3} = 130 \cdot 2268 = 294,8 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Среднечасовой расход суток максимального водопотребления:

$$q_{\text{ср.час}} = q_{\text{сут}} / T \quad (3)$$

$T = 24$ часа – период работы системы

$$q_{\text{ср.час}}^{B0} = 907,2 / 24 = 37,8 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$q_{\text{ср.час}}^{B1} = 612,4 / 24 = 25,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$q_{\text{ср.час}}^{T3} = 294,8 / 24 = 12,3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Максимальный часовой расход в сутки максимального водопотребления:

$$q_{\text{мах.час}} = 0,005 \cdot \alpha \cdot q_{0.\text{пр.ч.}} \quad (4)$$

$$\alpha = f(P_{\text{ч}} \cdot N) \quad (5)$$

$$P_{\text{ч}} = P_c \frac{3600 \cdot q_{o.c.\text{нр.}}}{q_{o.\text{нр.ч.}}} \quad (6)$$

$$P_c = \frac{q_{o.\text{ч.}} \cdot U}{3600 \cdot N \cdot q_{o.c.\text{нр.}}} \quad (7)$$

$$N_{\text{пр. B1, B0}} = 3 \cdot 18 \cdot 12 \cdot 4 = 2592 \text{ шт.}$$

$$P_c^{B0} = 20 \cdot 2268 / (3600 \cdot 2592 \cdot 0,3) = 0,016$$

$$P_{\text{ч}}^{B0} = 3600 \cdot 0,3 \cdot 0,016 / 300 = 0,06$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{B0} = 2592 \cdot 0,06 = 155,5$$

$$\alpha^{B0} = 38,3$$

$$q_{\text{мах.час}}^{B0} = 0,005 \cdot 38,3 \cdot 300 = 57,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$P_c^{B1} = 9,1 \cdot 2268 / (3600 \cdot 2592 \cdot 0,2) = 0,011$$

$$P_{\text{ч}}^{B1} = 3600 \cdot 0,2 \cdot 0,011 / 200 = 0,04$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{B1} = 2592 \cdot 0,04 = 102,6$$

$$\alpha^{B1} = 26,4$$

$$q_{\text{max.час}}^{B1} = 0,005 \cdot 26,4 \cdot 200 = 26,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$N_{\text{пр.Т3}} = 3 \cdot 18 \cdot 12 \cdot 3 = 1944 \text{ шт}$$

$$P_c^{T3} = 10,9 \cdot 2268 / (3600 \cdot 1944 \cdot 0,2) = 0,018$$

$$P_{\text{ч}}^{T3} = 3600 \cdot 0,2 \cdot 0,018 / 200 = 0,06$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{T3} = 1944 \cdot 0,06 = 116,6$$

$$\alpha^{T3} = 29,6$$

$$q_{\text{max.час}}^{T3} = 0,005 \cdot 29,6 \cdot 200 = 29,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Максимальный секундный расход:

$$q = 5 \cdot \alpha \cdot q_{\text{о.с.пр}} \quad (8)$$

Р из определения $q_{\text{max.час}}$

$$P_c^{B0} = 0,016$$

$$P_c^{B1} = 0,011$$

$$P_c^{T3} = 0,018$$

$$N \cdot P_c^{B0} = 2592 \cdot 0,016 = 41,5$$

$$\alpha^{B0} = 12,3$$

$$N \cdot P_c^{B1} = 2592 \cdot 0,011 = 28,5$$

$$\alpha^{B1} = 9,1$$

$$N \cdot P_c^{T3} = 1944 \cdot 0,018 = 34,9$$

$$\alpha^{T3} = 10,7$$

$$q^{B0} = 5 \cdot 12,3 \cdot 0,3 = 18,45 \text{ л/с}$$

$$q^{B1} = 5 \cdot 9,1 \cdot 0,2 = 9,1 \text{ л/с}$$

$$q^{T3} = 5 \cdot 10,7 \cdot 0,2 = 10,7 \text{ л/с}$$

Расходы для верхней зоны:

$$U = 3,5 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 12 = 504 \text{ чел.}$$

$$N_{\text{пр.В0,В1}} = 4 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 12 = 576 \text{ шт.}$$

$$N_{\text{прТ3}} = 3 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 12 = 432 \text{ шт.}$$

$$q_{\text{сут}}^{B0}=400 \cdot 504=201,6 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{сут}}^{B1}=270 \cdot 504=136,08 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{сут}}^{T3}=130 \cdot 504=65,52 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{ср.ч}}^{B0}=400 \cdot 504/24=8,4 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$q_{\text{ср.ч}}^{B1}=270 \cdot 504/24=5,67 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$q_{\text{ср.ч}}^{T3}=130 \cdot 504/24=2,73 \text{ м}^3/\text{час}$$

Максимальные часовые расходы:

$$P_c^{B0}=20 \cdot 504/(3600 \cdot 576 \cdot 0,3) = 0,016$$

$$P_c^{B1}=9,1 \cdot 504/(3600 \cdot 576 \cdot 0,2) = 0,011$$

$$P_c^{T3}=10,9 \cdot 504/(3600 \cdot 432 \cdot 0,2) = 0,018$$

$$P_{\text{ч}}^{B0}=3600 \cdot 0,3 \cdot 0,016/300=0,06$$

$$P_{\text{ч}}^{B1}=3600 \cdot 0,2 \cdot 0,011/200=0,04$$

$$P_{\text{ч}}^{T3}=3600 \cdot 0,2 \cdot 0,018/200=0,06$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{B0}=576 \cdot 0,06=34,56 \Rightarrow \alpha^{B0}=10,58$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{B1}=576 \cdot 0,04=23,04 \Rightarrow \alpha^{B1}=7,68$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{T3}=432 \cdot 0,06=25,92 \Rightarrow \alpha^{T3}=8,4$$

$$q_{\text{max.час}} = 0,005 \cdot \alpha \cdot q_{0.\text{пр.ч.}}$$

$$q_{\text{max.час}}^{B0}=0,005 \cdot 10,58 \cdot 300=15,87 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$q_{\text{max.час}}^{B1}=0,005 \cdot 7,68 \cdot 200=7,68 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$q_{\text{max.час}}^{T3}=0,005 \cdot 8,4 \cdot 200=8,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Максимальные секундные расходы:

$$P_c^{B0}=0,016$$

$$P_c^{B1}=0,011$$

$$P_c^{T3}=0,018$$

$$N \cdot P_c^{B0}=576 \cdot 0,016=9,22$$

$$\alpha^{B0}=3,89$$

$$N \cdot P_c^{B1}=576 \cdot 0,011=6,34$$

$$\alpha^{B1}=2,99$$

$$N \cdot P_c^{T3}=432 \cdot 0,018=7,78$$

$$\alpha^{T3}=3,45$$

$$q^{B0}=5 \cdot 3,89 \cdot 0,3=5,83 \text{ л/с}$$

$$q^{B1}=5 \cdot 2,99 \cdot 0,2=2,99 \text{ л/с}$$

$$q^{T3}=5 \cdot 3,45 \cdot 0,2=3,45 \text{ л/с}$$

Расходы для нижней зоны:

$$U=3,5 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 6=252 \text{ чел.}$$

$$N_{\text{пр.}B0,B1}=4 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 6=288 \text{ шт.}$$

$$N_{\text{пр}T3}=3 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 6=216 \text{ шт.}$$

$$q_{\text{сут}}^{B0}=400 \cdot 252=100,8 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{сут}}^{B1}=270 \cdot 252=68,04 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{сут}}^{T3}=130 \cdot 252=32,76 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$q_{\text{ср.ч}}^{B0}=400 \cdot 252/24=4,2 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$q_{\text{ср.ч}}^{B1}=270 \cdot 252/24=2,8 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$q_{\text{ср.ч}}^{T3}=130 \cdot 252/24=1,36 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{B0}=288 \cdot 0,06=17,28$$

$$\alpha^{B0}=6,15$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{B1}=288 \cdot 0,04=11,52$$

$$\alpha^{B1}=4,56$$

$$N \cdot P_{\text{ч}}^{T3}=216 \cdot 0,06=12,96$$

$$\alpha^{T3}=4,99$$

$$q_{\text{max.час}}^{B0}=0,005 \cdot 6,15 \cdot 300=9,22 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$q_{\text{max.час}}^{B1}=0,005 \cdot 4,56 \cdot 200=4,56 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$q_{\text{max.час}}^{T3}=0,005 \cdot 4,99 \cdot 200=4,99 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Максимальные секундные расходы:

$$P_{\text{с}}^{B0}=0,016$$

$$P_{\text{с}}^{B1}=0,011$$

$$P_{\text{с}}^{T3}=0,018$$

$$N \cdot P_{\text{с}}^{B0}=288 \cdot 0,016=4,61$$

$$\alpha^{B0}=2,42$$

$$N \cdot P_{\text{с}}^{B1}=288 \cdot 0,011=3,17$$

$$\alpha^{B1}=1,89$$

$$N \cdot P_c^{T3} = 216 \cdot 0.018 = 3,89$$

$$\alpha^{T3} = 2,17$$

$$q^{B0} = 5 \cdot 2,42 \cdot 0,3 = 3,63 \text{ л/с}$$

$$q^{B1} = 5 \cdot 1,89 \cdot 0,2 = 1,89 \text{ л/с}$$

$$q^{T3} = 5 \cdot 2,17 \cdot 0,2 = 2,17 \text{ л/с}$$

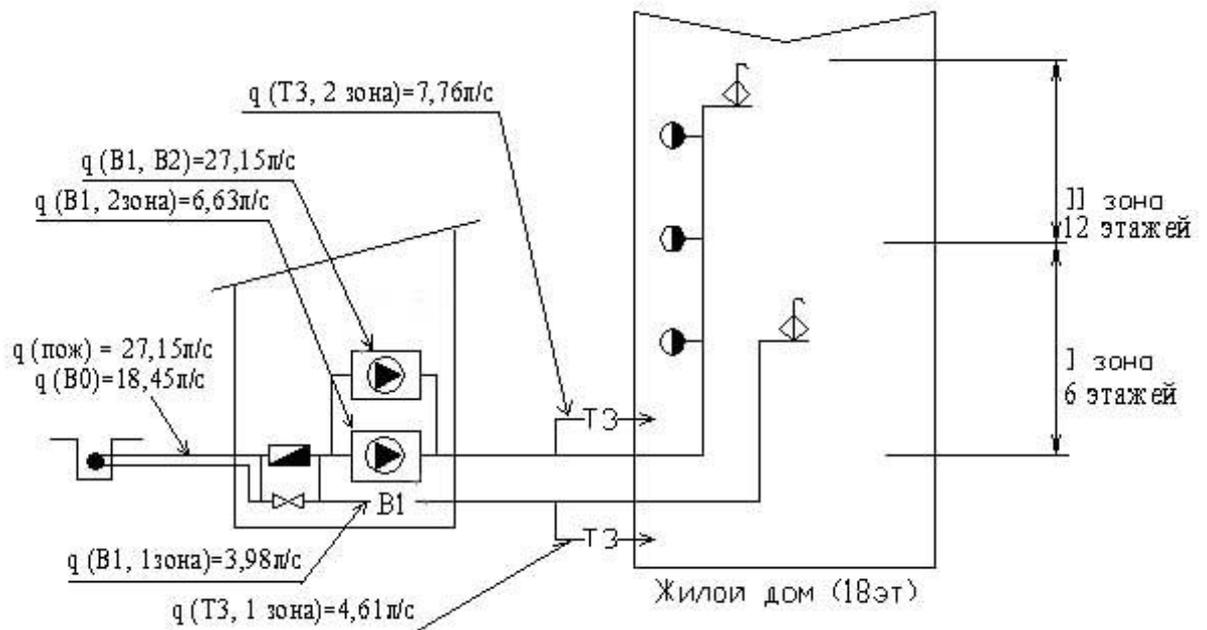


Рис.1. Расчетные расходы в элементах системы.

Занятие 2. Оптимизация реконструкции насосных установок, повышение коэффициента полезного действия насосов, снижение потерь энергии в насосах и системе в целом. Реконструкция трубопроводной и водопроводной арматуры на базе новых технических решений.

2.1 Оптимизация реконструкции насосных установок, повышение коэффициента полезного действия насосов, снижение потерь энергии в насосах и системе в целом.

В процессе эксплуатации приходится приспособлять характеристики насосов к конкретным условиям.

Наиболее распространенными методами регулирования рабочих параметров насоса являются:

- дрессельное регулирование,
- регулирование байпасом,

-коррекция диаметра рабочего колеса;

-регулирование скорости вращения (частоты вращения),

Наиболее часто уменьшают наружный диаметр рабочего колеса D путем подрезки.

Изменение параметров насоса при подрезке рабочих колес для центробежных насосов приближенно можно определить по уравнениям подобия:

$$Q' = Q \cdot \left(\frac{D'}{D}\right) \quad (1)$$

$$H' = H \cdot \left(\frac{D'}{D}\right)^2 \quad (2)$$

$$N' = N \cdot \left(\frac{D'}{D}\right)^3 \quad (3)$$

где Q , H , N , D — номинальные подача, напор, мощность и наружный диаметр рабочего колеса (до обрезки); Q' , H' , N' , D' — то же, после обрезки. Обрезка существенно расширяет область подач и напоров, перекрываемых насосом данного типа.

Для насосов с $n_s = 60 \dots 120$ уменьшение диаметра на 10...15 % от первоначального практически не сказывается на КПД. При более высоких n_s снижение КПД становится заметным.

Рассмотрим пример.

При расчетах срезки рабочих колес центробежных насосов (при коэффициенте быстроходности n_s меньше 150) используются формула

$$H' = k \cdot Q'^2 \quad (4)$$

Воспользовавшись приведенными зависимостями:

$$k = H' / Q'^2 = 57 / 0,192^2 = 1546,2$$

Для графического построения кривой $H' = 1545,2 \cdot Q'^2$ нужны промежуточные точки, тогда возьмем произвольное значение Q'

№ точки	1	2	3	4	5
$Q', \text{м}^3/\text{с}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3

H',м	15,46	34,79	61,85	96,63	139,2
------	-------	-------	-------	-------	-------

Далее, после построения кривой, проходящей через точку [57 м;192 л/с] с координатами на исходной характеристике насоса H-Q (при D=432 мм) получим новую точку пересечения с координатами [60 м; 200 л/с]

Диаметр обточенного колеса рассчитывается по формуле:

$$D' = (D \cdot Q') / Q \quad (5)$$

Подставляя значения в формулу 5, получим

$$D' = (432 \cdot 0,192) / 0,2 = 415 \text{ мм}$$

2.2. Реконструкция трубопроводной и водопроводной арматуры на базе новых технических решений.

Трубопроводная арматура — это устройство, устанавливаемое на трубопроводах, агрегатах, сосудах и предназначенное для управления (отключения, распределения, сброса, смешивания, фазоразделения) потоками рабочих сред (жидкой, газообразной, газожидкостной, порошкообразной, суспензии и т. п.) путем изменения площади проходного сечения.

Термин «трубопроводная арматура» полностью применим для совокупности устройств, устанавливаемых на трубопроводах и емкостях, удовлетворяющих данному определению.

Трубопроводная арматура характеризуется двумя главными параметрами: условным проходом (номинальным размером), условным (номинальным) давлением.

Запорная арматура, предназначенная для перекрытия потока рабочей среды; регулирующая — для регулирования параметров рабочей среды посредством изменения ее расхода; предохранительная — для автоматической защиты оборудования от аварийных изменений параметров.

Основные мероприятия по ремонту арматуры заключаются в замене отдельных узлов (сальников, маховиков и т.д.). Однако в большинстве

случаев арматура при реконструкции трубопроводов заменяется на новую, более современную с повышенным сроком службы.

На практическом занятии рассмотрим несколько схем арматуры, для лучшего понимания принципа работы.

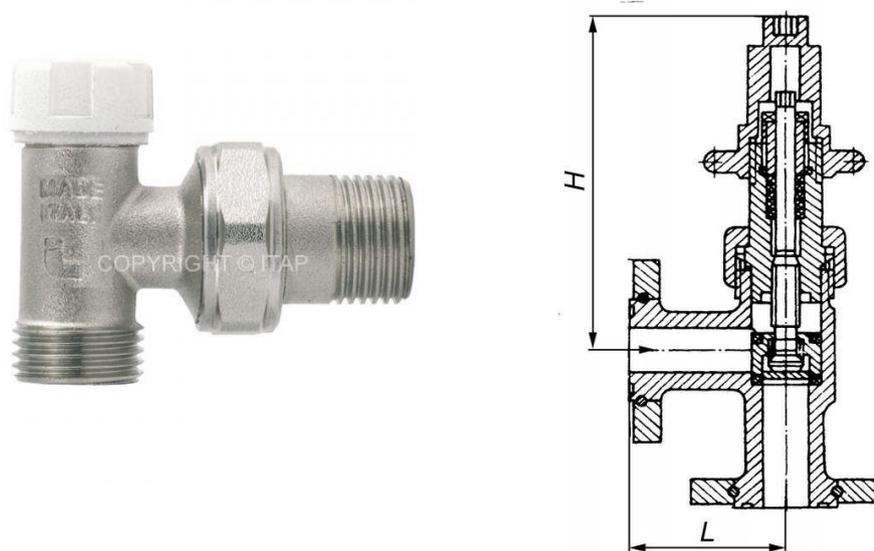


Рис. 1. Угловая трубопроводная арматура

По изменению направления потока трубопроводная арматура бывает:

Прямая — рабочая среда не изменяет направление и параметры своего движения на выходе по сравнению с ее состоянием на входе.

Угловая (рис.1)— рабочая среда изменяет направление своего движения на выходе по сравнению с направлением ее на входе.

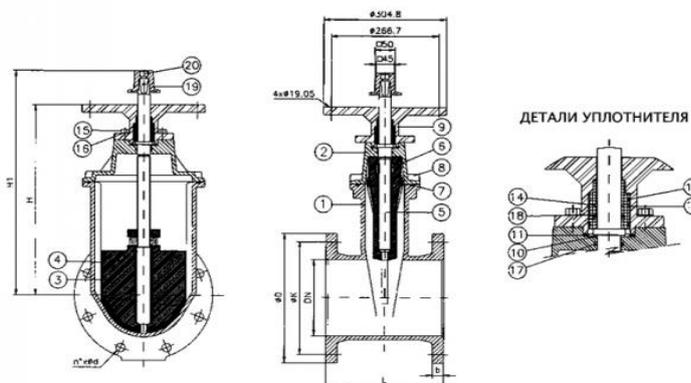


Рис. 2. Запорная арматура. Клиновая задвижка

Задвижка – вид запорной арматуры, в которой запорный или регулирующий орган перемещается возвратно-поступательно, перпендикулярно направлению потока рабочей среды, при этом герметизация осуществляется путем прижатия боковых поверхностей диска к корпусу.

Разновидностью этого типа арматуры являются:

- клиновые задвижки (рис 2), уплотнительные поверхности запорных или регулирующих органов в которых расположены под углом друг к другу;
- параллельные — с параллельно расположенными уплотнительными поверхностями

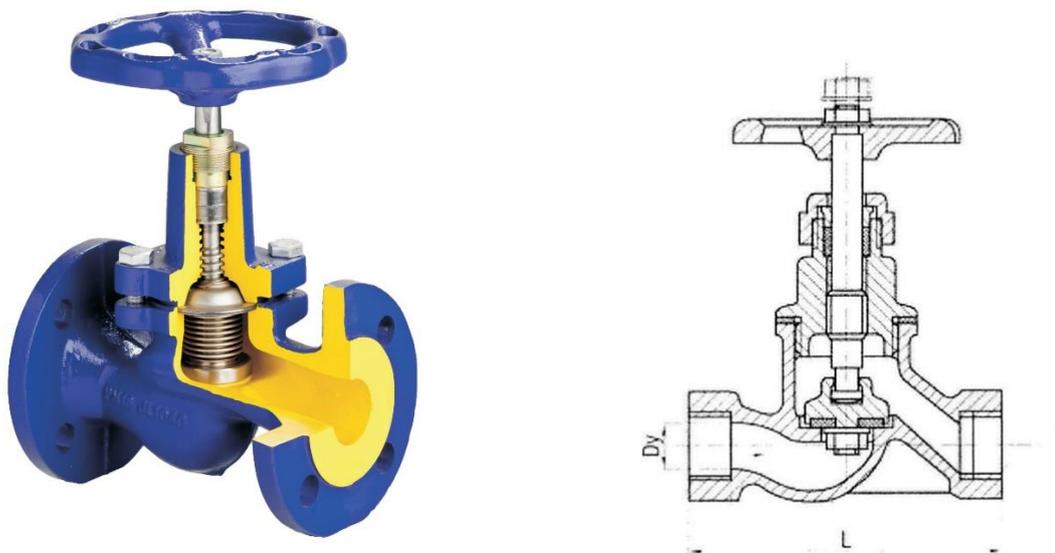


Рис. 3. Запорная арматура. Вентиль

Вентиль - вид запорной арматуры, когда перекрытие потока воды осуществляется путем прижатия золотника к седлу в перегородке. Диапазон параметров: условное давление от 2,5 до 250 атм, температура рабочей среды от -100 до $+600^{\circ}\text{C}$, условный проход — от 3 до 600 мм (серийно выпускаются клапаны с условным проходом до 250 мм). Основные параметры указаны в ГОСТ 9697-87. Вентили широко применяются во всех

сферах и обладают наиболее плавной характеристикой регулирования параметров потока рабочей среды. На бытовом уровне мы часто встречаем их в качестве отечественной сантехнической арматуры. Сама конструкция позволяет применять их в огромном диапазоне систем водоснабжения и отопления. Широко распространена пара «металл — резиновое уплотнение».

Занятие 3. Бестраншейная реконструкция водопроводных сетей альтернативными методами. Реконструкция трубопроводной и водопроводной арматуры на базе новых технических решений.

3.1. Бестраншейная реконструкция водопроводных сетей альтернативными методами Методика прочностного расчета для определения толщины стенки многослойной трубы (сталь + полимерный рукав) как самостоятельной несущей конструкции

Базовые положения по прочностному расчету

Используя для армирования восстанавливаемых участков трубопроводов относительно тонкие защитные полимерные оболочки, нельзя обойти стороной вопросы их значимости и эффективности для последующей эксплуатации восстановленных сетей.

Как известно, любой находящийся в эксплуатации трубопровод воспринимает давление подземных вод, грунтов, нагрузку от транспорта, собственного веса конструкции и изменения температурных условий. Перечисленные обстоятельства могут привести к прогибу, который стабилизируется после уплотнения грунта и образования грунтового свода. Исключение прогиба или сведение его к минимуму от давления засыпки и воздействия транспортных нагрузок может быть достигнуто применением труб высокой жёсткости (с толстой стенкой или высоким модулем упругости). В свою очередь трубопровод, подвергшийся бестраншейному восстановлению путём нанесения внутреннего защитного полимерного покрытия, испытывает те же нагрузки, однако, в зависимости от исходного

его состояния перед ремонтом, часть данной нагрузки может восприниматься его защитным покрытием, имеющим, как правило, низкий модуль упругости.

Для выявления степени восприятия нагрузок на защитные покрытия необходимо руководствоваться следующими положениями. Поскольку при восстановлении сети траншея не нарушена и окружающий трубопровод грунтовый свод воспринимает ту же постоянную нагрузку, то дополнительного прогиба наблюдаться не будет. Внутреннее защитное покрытие трубопровода испытывает только гидростатическое давление воды, а давление грунта будет восприниматься лишь при нарушении грунтового свода от инфильтрации и эксфильтрации. При этом старая труба даже при наличии значительных повреждений способна воспринимать грунтовую нагрузку, действующую на текущий момент времени, в противном случае трубопровод бы обрушился. Более того, при отсутствии пустот за наружной поверхностью трубы прогиб (отслаивание) защитного покрытия от осадки грунта эффективно ограничивается контактом с жёсткими стенками старой трубы. При наличии пустот возникает риск осадки грунта. Однако, если пустоты заполнить путём цементации, существующий грунтовый свод стабилизируется, и труба с защитным покрытием снова будет воспринимать соответствующие нагрузки. В связи с этим, выбор в качестве защитных оболочек материалов с большой жёсткостью нецелесообразен, так как более податливая тонкая оболочка лучше пригоняется к окружающему грунту. Другими словами, при восстановлении трубопроводов необходимо использовать менее жёсткие трубы (защитные покрытия) и одновременно повышать жёсткость окружающего грунтового свода.

Таким образом, при установке гибкой оболочки на ремонтном участке трубопровода первостепенное значение должно уделяться не прогибу, а исключению кольцевых зазоров между старой трубой и защитным покрытием, что достигается качеством проведения восстановительных работ. При устранении инфильтрации, эксфильтрации и миграции воды между стенкой старой трубы и внутренней оболочкой, конструкция «трубопровод +

защитное покрытие» не будет подвергаться разрушению и будет эффективно продолжать воспринимать нагрузку от грунта и транспорта.

Практика применения защитных оболочек показала, что возможны три следующих состояния эксплуатируемой трубопроводной системы с внутренним полимерным покрытием:

-обладание конструктивной прочностью, когда в трубопроводе нет трещин (за исключением волосяных менее 0,1 мм в металлических и неметаллических или менее 0,3 мм в железобетонных трубах) и обеспечена полная несущая способность; в этом случае реконструкция необходима для восстановления герметичности;

-обладание достаточной несущей способностью, когда в трубопроводе имеется одна или несколько продольных трещин и он не обладает самостоятельной несущей способностью, т.е. целостность трубопровода обеспечивается совместной работой с окружающим грунтом в системе «труба-грунт»; в этом случае реконструкция необходима для восстановления несущей способности и герметичности;

-отсутствие достаточной несущей способности, когда в трубопроводе имеется большое количество крупных продольных, кольцевых трещин и система «труба-грунт» больше не обладает несущей способностью; в этом случае реконструкция необходима для восстановления несущей способности и герметичности сетей.

Таким образом, можно констатировать, что на работу внутренней защитной оболочки наибольшее влияние оказывает степень повреждения структуры ремонтного участка трубопровода. В процессе эксплуатации трубопроводных систем, имеющих внутренние защитные покрытия, для каждого из описанных состояний должен производиться проверочный расчёт, учитывающий начальные деформации. Под начальными деформациями в упрощённом виде подразумевается возможная деформация (отслаивание оболочки) на сегменте окружности с определённым углом

раскрытия, принимаемым по данным инспектирования, или кольцевой зазор между стенкой трубы и защитным покрытием.

Трубопроводы должны работать в области упругих деформаций, т.е. не подвергаться деформации (например, смятию) от воздействия нагрузок. В противном случае, т.е. при больших нагрузках возникают пластические деформации, не позволяющие трубопроводу сохранить первоначальную форму.

Важнейшим показателем прочности трубопроводов является модуль его упругости. Под модулем упругости понимается приложенная к трубопроводу предельная временная нагрузка, при снятии которой трубопровод остается работать в области упругих деформаций.

Методика прочностного расчета для определения толщины стенки многослойной трубы (сталь + внутренний полимерный рукав) включает выполнение трех последовательных этапов, согласно которым производятся расчеты из условий:

-устойчивости многослойного трубопровода с определением диапазона изменения параметра R/d при известных значениях остаточной толщины стальной трубы, назначаемой толщине стенки полимерного рукава и приведенной по жесткости к металлу его толщине;

-прочности по предельным состояниям на растяжение лотковой части трубопровода (занятие 5);

-по предельным деформациям (прогибам) свода трубопровода (занятие 6).

Ниже представлен расчёт из условий устойчивости многослойного трубопровода.

Производится проверка на соблюдение условий по пунктам А и Б.

А). Проверка по условию устойчивости на соблюдение неравенства (1):

$$P_{кр} = \frac{E_1 d^3}{4R^3} \geq H_в, \quad (1)$$

где $P_{кр}$ – критическая нагрузка на трубопровод по условиям его устойчивости, т/м², E_1 – модуль упругости стальной трубы, $21 \cdot 10^6$ т/м², d – суммарная толщина стенки многослойной трубы ($d = d_{см} + d^*$), включающая остаточную толщину стальной трубы $d_{см}$ и приведенное по жесткости к металлу сечение d^* полимерного рукава, м или мм, определяемое по формуле (2); R – внешний радиус многослойного трубопровода, м или мм, $H_в$ – величина внешнего давления грунтовых (подземным) вод, м вод. ст. или т/м²

(Примечание: если грунтовые воды над трубопроводом отсутствуют, то в качестве $H_в$ принимается глубина залегания трубопровода от поверхности земли до лотка)

$$d^* = d_n (E_{нл}/E_1)^{1/3}, \quad (2)$$

где d_n – проектная (задаваемая) толщина пластикового рукава, м или мм; $E_{нл}$ – модуль упругости полимерного рукава при изгибе и сжатии, $15 \cdot 10^2$ т/м²; E_1 – модуль упругости стали, $21 \cdot 10^6$ т/м²;

Б). Рассчитывается приведенное к металлу значение объемного веса многослойного трубопровода по формуле (3):

$$y^* = (y_{см} d_{см} + y_n d_n) / (d_{см} + d_n), \quad (3)$$

где $y_{см}$ – объемный вес металла, при отсутствии сведений, например, 7,85 т/м³; y_n – объемный вес полимера (при отсутствии сведений, например, 1,75 т/м³);

Последовательность расчета по пунктам А и Б:

- 1). Подставляя в формулу (2) исходные данные, определяют приведенное по жесткости к металлу сечение пластикового рукава d^* ;
- 2). Определяют суммарную толщину стенки многослойной трубы $d = d_{см} + d^*$

3). Из условий устойчивости по формуле (1) находят диапазон изменения соотношения R/d ;

4). Принимая согласно исходным данным соответствующую величину радиуса трубы R , устанавливают соблюдение диапазона R/d :

-если условия соблюдаются, т.е. расчетная величина R/d находится в установленных рамках, то переходят к проведению расчета приведенного объемного веса многослойного трубопровода по формуле (3) и прочностных расчетов по предельным состояниям;

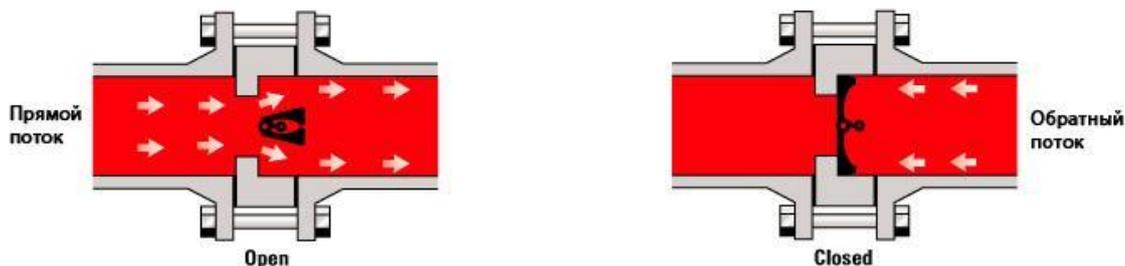
-если условие не соблюдается, то увеличивают проектную (задаваемую) толщину полимерного рукава и проводят повторный расчет, начиная с пункта 1.

3.2. Реконструкция трубопроводной и водопроводной арматуры на базе новых технических решений.

Обратные клапаны предотвращают движение воды в обратном направлении при остановке насосов и при падении давления в наружной сети. Они бывают подъемные и поворотные. На корпусе клапана обязательно обозначается стрелкой направление движения воды.



Принцип действия двухстворчатого обратного клапана



Принцип действия дискового обратного клапана

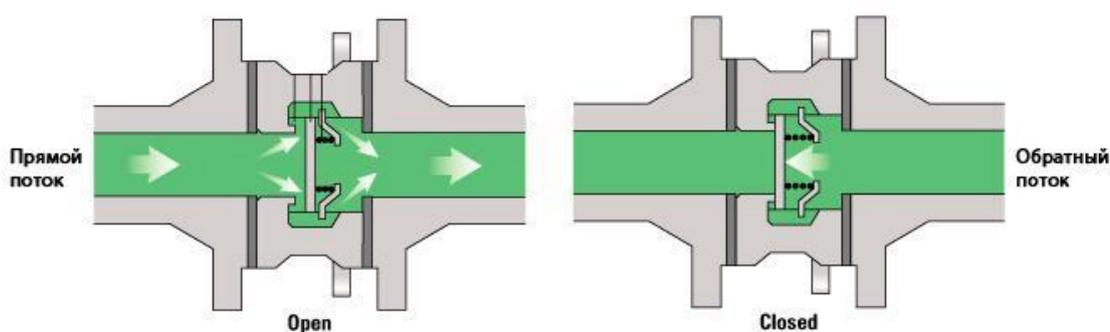


Рис. 1. Обратный клапан

Занятие 4. Использование энергосберегающих приёмов и оборудования при реконструкции сетей систем водоснабжения.

Оценка энергосбережения при реновации стального трубопровода бестраншейными технологиями.

В системах водоснабжения одним из мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности (по отношению к трубопроводным сетям) может быть отнесено уменьшение гидравлического сопротивления на восстанавливаемых участках сетей за счёт применения внутренних защитных покрытий с малыми удельными сопротивлениями. В качестве конкретного инструмента оценки энергоэффективности при сравнении старого и нового вариантов состояния участков трубопроводной сети используется понятие *относительного потенциала энергосбережения*. В приложение к восстанавливаемой трубопроводной системе под понятием относительного

потенциала энергосбережения можно рассматривать разность между фактическим годовым энергопотреблением (т.е. при эксплуатации действующего участка сети) и потреблением после реализации ремонтно-восстановительных работ соответствующими внутренними защитными покрытиями, наносимыми с помощью бестраншейных методов.

Расчет эффективности реновации может быть осуществлен на определении экономии энергоресурсов при транспортировке воды по восстановленному трубопроводу по сравнению со старым при неизменных параметрах потока по линии до и после ремонтно-восстановительных работ.

Годовая экономия электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$ (кВт·ч) за счёт уменьшения гидравлического сопротивления после операций по реновации i -ых участков трубопровода и, следовательно, уменьшения потерь напора по длине трубопровода, подсчитывается по следующей базовой формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{1м.ст.стар.i} = \frac{9,81 \cdot Q^3 (A_{ст.стар.} - A_{н.нов.i})}{\eta_{нас.} \cdot \eta_{двиг.}} \cdot 24 \cdot 365 \quad (1)$$

где Q – расход подаваемой трубопроводом воды, $м^3/с$; $\eta_{нас.}$, и $\eta_{двиг.}$ – соответственно коэффициенты полезного действия соответственно насоса и электродвигателя; 24 – количество часов работы насоса в сутки, ч; 365 – количество дней в году; $A_{ст.стар.}$, $A_{н.нов.i}$ – соответственно коэффициенты удельных сопротивлений в старом стальном трубопроводе и новом полимерном после ремонта участка.

Из приведенной базовой формулы следует, что величина экономии электроэнергии пропорциональна третьей степени пропускаемого расхода, т.е. Q^3 . Задаваясь значениями, входящими в базовую формулу, можно произвести оценку экономических показателей бестраншейной реновации путём протягивания в старый трубопровод нового или какими-либо другими методами при условии сохранения неизменной величины расхода Q .

Методика расчета экономии энергозатрат после проведения работ по бестраншейной реновации стальных трубопроводов двумя методами представлена ниже:

- протягиванием полиэтиленовых труб (два альтернативных случая);
- нанесение цементно-песчаного покрытия (два альтернативных случая).

Первый метод реновации – протягивание полиэтиленовых труб.

В качестве условия задачи рассматриваются следующие варианты реновации: старый стальной водовод определенным внутренним диаметром подлежит бестраншейному восстановлению круглой полиэтиленовой трубой (первый случай) наружным диаметром меньшим, чем существующий трубопровод, и деформированной полиэтиленовой трубой (второй случай) наружным диаметром практически равным внутреннему диаметру существующего стального трубопровода. Из ГОСТ 18599-2001 выбираются полиэтиленовые труба, например, ПЭ 100 соответствующего наружного диаметра и толщины стенки, и рассчитываются их внутренние диаметры.

В расчетах используются справочные данные для расчета удельного сопротивления старой стальной трубы и полиэтиленовой трубы А. Также для решения задачи необходимо задаться расходом Q транспортируемой воды. Подставляя исходные данные в формулу (1) и производя промежуточные операции, получают расчетные значения годовой экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода для двух случаев.

Второй метод реновации - нанесение цементно-песчаного покрытия рассмотрен в занятии 8.

Подставляя исходные данные в формулу (1) и производя промежуточные операции, получают расчетные значения годовой экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода.

Сопоставляют величины экономии энергозатрат и определяют наиболее оптимальный метод реновации по минимуму затрат электроэнергии.

Аналогично решаются вопросы определения потенциала энергосбережения при реновации трубопроводов из других материалов, например, чугуна, асбестоцемента, железобетона и т.д. В этом случае по справочным данным отыскиваются коэффициенты удельных сопротивлений труб из соответствующего материала.

Решение задачи.

Годовая экономия электроэнергии $\Delta Э$ (кВт·ч) на 1 пог. м подсчитывается по базовой формуле (1):

В случае реализации первого метода реновации – протягивание полиэтиленовых труб.

Внутренний диаметр круглой полиэтиленовой трубы (первый случай), протягиваемой в трубопровод, составляет $0,9 - 2 \cdot 0,022 = 0,856$ м.

Внутренний диаметр предварительно деформированной трубы (второй случай) составляет $1,0 - 2 \cdot 0,0244 = 0,9512$ м.

Подставляя исходные данные в формулу (1) и производя промежуточные операции, получим расчетные значения годовой экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода:

-для первого случая (круглая труба):

$$\Delta Э_1 = (9,81 \cdot 0,79^3 (0,0017 \cdot 1,0^{-5,1717} - 0,004 \cdot 0,856^{-5,7276}) / 0,8 \cdot 0,9) \cdot 24 \cdot 365 = 42,7276$$

на 1 погонный метр длины трубопровода в год;

-для второго случая (деформированная труба):

$$\Delta Э_2 = (9,81 \cdot 0,79^3 (0,0017 \cdot 1,0^{-5,1716} - 0,004 \cdot 0,9512^{-5,7276}) / 0,8 \cdot 0,9) \cdot 24 \cdot 365 = 68,7426$$

на 1 погонный метр длины трубопровода в год;

Результаты расчетов по определению годовой экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода для различных технологий сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Данные по экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода

при реализации альтернативных технологий

Наименование бестраншейной технологии реновации	Модификация технологии реновации	Величина $\Delta Э$, кВт·ч
1. Протягивание полимерной трубы внутрь старой	Протягивание круглой в профиле трубы	42,7261
	Протягивание деформированной в профиле трубы	68,7426

Анализируя данные таблицы 1, что наиболее экономичным результатом в плане экономии энергозатрат является бестраншейная реновация старого трубопровода путем протаскивания в него деформированной в профиле полиэтиленовой трубы ($\Delta Э=68,7426$ кВт·ч).

Занятие 5. Подбор насосных агрегатов, использование графических характеристик насосов. Определение потребляемой мощности насоса и подбор электродвигателя.

5.1 Подбор насосных агрегатов, использование графических характеристик насосов.

Подбор насосных агрегатов осуществляют по ряду основных параметров, характеризующих их работу: производительность, потребляемая мощность и напор.

Производительность (подача, расход) – объем среды, перекачиваемый насосом в единицу времени. Обозначается буквой Q и имеет размерность м³/час, л/сек, и т.д. В величину расхода входит только фактический объем перемещаемой жидкости без учета обратных утечек. Отношение теоретического и фактического расходов выражается величиной объемного коэффициента полезного действия.

Напор – энергия, сообщаемая насосом перекачиваемой среде, отнесенная к единице массы перекачиваемой среды. Обозначается буквой H и имеет размерность метры. Стоит уточнить, что напор не является геометрической

характеристикой и не является высотой, на которую насос может поднять перекачиваемую среду.

Потребляемая мощность (мощность на валу) – мощность, потребляемая насосом при работе. Потребляемая мощность отличается от полезной мощности насоса, которая затрачивается непосредственно на сообщение энергии перекачиваемой среде. Часть потребляемой мощности может теряться из-за протечек, трения в подшипниках и т.д. Коэффициент полезного действия определяет соотношение между этими величинами.

Таким образом, зная необходимый расход и напор, подбирается насос. Для подбора используются каталоги производителей, обычно расположенные на сайте производителя. По сводному графику полей Q-H каталога насосов определяется марка насоса, энергетические параметры которого с максимальной точностью соответствуют расчетным (или требуемым) Q и H.

Рассмотрим пример. На рисунке 1 представлена рабочая характеристика насоса

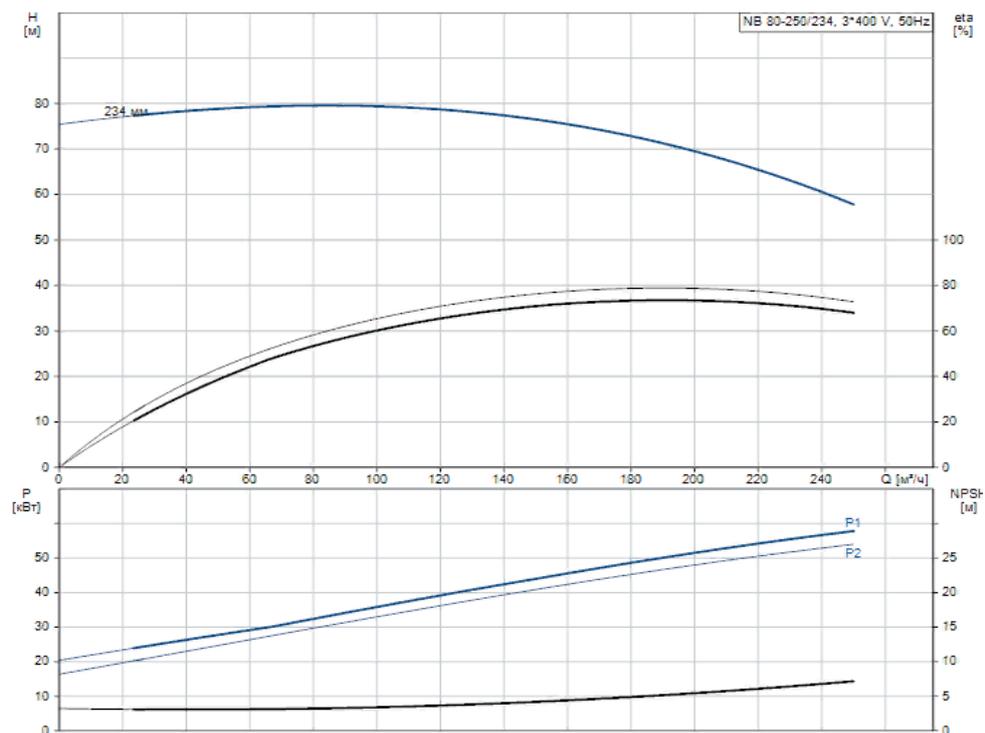


Рисунок 1. Рабочие характеристики насоса Grundfos NB 80-250/234

Насос следует подбирать максимально близко к кривой Н-Q, либо ниже. На рисунке 1 также указан диаметр рабочего колеса. Далее следует ознакомиться с размерами насосного агрегата, пример представлен на рисунке 2.

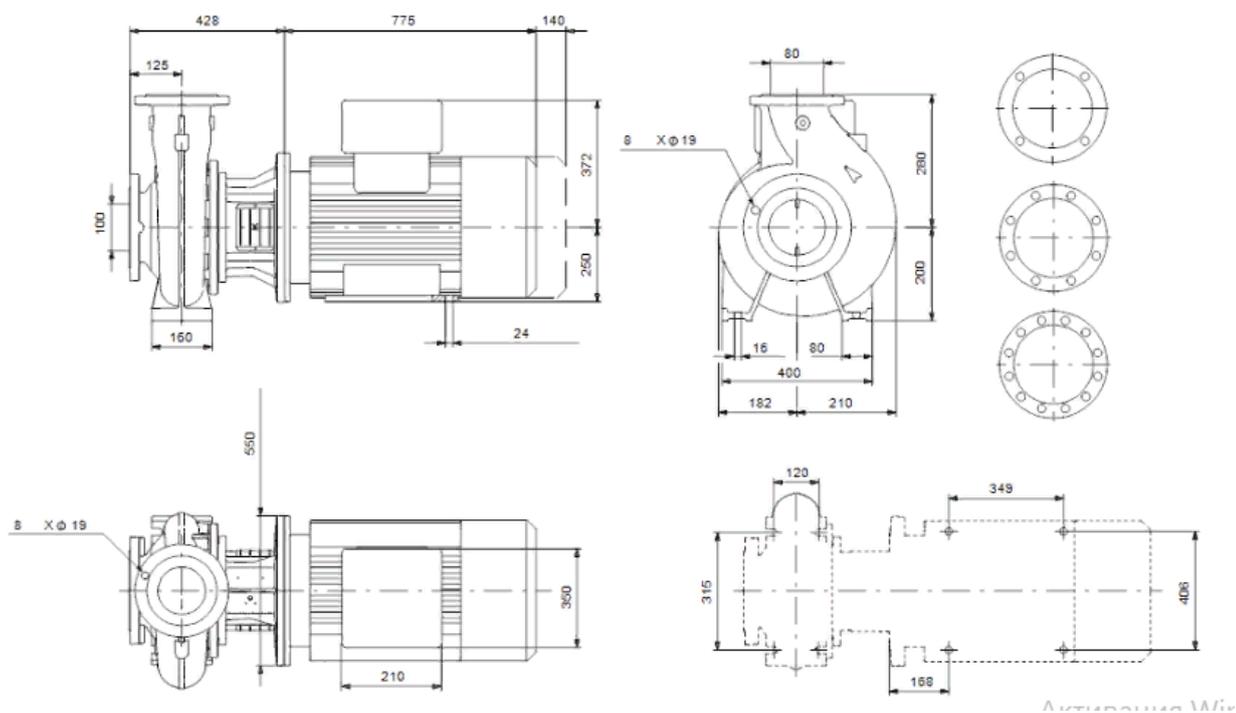


Рисунок 2. Grundfos NB 80-250/234

5.2 Определение потребляемой мощности насоса и подбор электродвигателя.

Марка электродвигателя подбирается с учетом параметров и мощности насоса.

Мощность, потребляемая насосом:

$$N_{\text{нас}} = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{102 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{пр}}} \quad (1)$$

где Q – подача насоса, м³/с;

H – напор насоса, м;

γ – объемный вес воды, γ = 1000 кг/м³,

η_н = 0,77 – КПД насоса;

$\eta_{пр}$ – КПД привода, при прямом подсоединении насоса к электродвигателю принимается $\eta_{пр} = 1$.

В примере

$$N_{нас} = \frac{0,2231 \cdot 68,7 \cdot 1000}{102 \cdot 0,97 \cdot 1} = 154,9 \text{ кВт},$$

подсоединении насоса к электродвигателю принимается $\eta_{пр} = 1$.

Мощность приводного электродвигателя:

$$N_{дв} = N_{нас} \cdot k \quad (2)$$

где k – коэффициент запаса, принимается по таблице:

Мощность насоса N , кВт	< 20	20 – 50	50 – 300	> 300
k	1,25	1,2	1,15	1,1

$$N_{дв} = 154,9 \cdot 1,15 = 178,1 \text{ кВт}$$

По каталогу подбирается ближайший по энергетическим параметрам к расчётным значениям электродвигатель. Таким является отечественный электродвигатель марки 5АМН315S2 У3, $N = 200$ кВт, масса 965 кг. Общая масса насосного агрегата 1468 кг.

Занятие 6. Построение графических характеристик насосов при параллельной работе. Построение графических характеристик водоводов. Определение рабочих точек. Проверка работы насосной станции на случай аварии.

6. 1 Построение графических характеристик насосов при параллельной работе.

Основной характеристикой работы насоса является зависимость подачи насоса от его напора, так называемая Q-N характеристика.

Опытные значения напора, расхода могут быть представлены в виде системы точек. Соединяя точки плавными кривыми, получаем непрерывную зависимость рассматриваемых параметров от подачи насоса при постоянном

числе оборотов. Эти кривые являются основными характеристиками насоса при постоянном числе оборотов. Напор насоса обычно имеет большие значения при меньшей подаче и уменьшается с её возрастанием.

Допустим характеристики насоса представлены в таблице 1

Таблица 1

Номер точки	H, м	Q, л/с
1	2	60
2	4	40
3	6	20

Под совместной работой понимают одновременную работу нескольких насосов на общий трубопровод (сеть). При этом они соединяются между собою параллельно или последовательно.

Построение характеристик H-Q однотипных насосов при их совместной работе выполняется методом сложения рабочих характеристик насосов.

При параллельной работе, например, двух насосов, общая подача $Q = Q_1 + Q_2$, а развиваемый напор $H = H_1 = H_2$. целью такого соединения является увеличение подачи.

Следовательно, для построения характеристики двух параллельно работающих насосов:

Таблица 2

Номер точки	H, м	Q, л/с
1	2	120
2	4	80
3	6	40

6.2. Построение графических характеристик водоводов. Определение рабочих точек.

Затем на этот график наносим гидравлическую характеристику трубопровода. Характеристика сети показывает зависимость ее гидравлического сопротивления от расхода жидкости.

Нахождение рабочей точки в данной области обеспечивает работу насоса с максимальным КПД. Выполнение этого требования позволяет эксплуатировать насосы с высокой эффективностью и надежностью.

Параметры работы насоса определяются параметрами в точке пересечения характеристики насоса и характеристики сети. Данная точка называется рабочей точкой. Одним из основных требований при подборе насоса является обеспечение его работы в рабочем диапазоне (рабочей области), лежащем в пределах 70...120% от номинальной подачи.

На рис. 1 графически представлена характеристика совместной работы насоса и водовода.

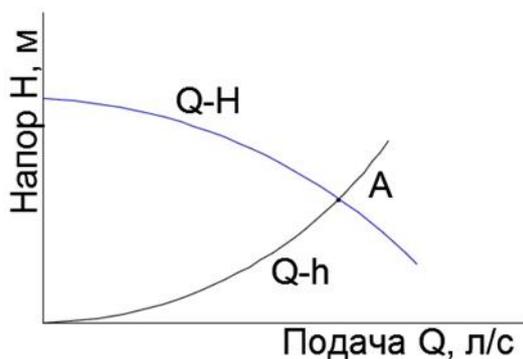


Рис. 1. Характеристика совместной работы насоса и трубопровода: A — рабочая точка, $Q-H$ — характеристика работы насоса, $Q-h$ — характеристика работы трубопровода

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

- геометрическая высота подъема воды $H_r = 2$ м
- потери напора во всасывающей линии
- потери напора в напорном водоводе и коммуникации насосной станции

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

$$H_i = H_r + SQ^2 \quad (1)$$

H_i - полный напор, м

Q -подача по водоводу, м³/с

$i=1,2,3,\dots$ номер итерации

S - приведенное сопротивление трубопровода

Для построения кривой $Q-h$, следует воспользоваться такой функцией SQ^2 , где $s= 0,05$

6.3 Проверка работы насосной станции на случай аварии.

Как правило подача воды в город может обеспечиваться по двум водоводам. Допустим, что подача воды обеспечивается двумя насосами, также предусматриваются 2 резервных насосных агрегата, они могут быть установлены согласно плану развития системы, либо храниться на складе.

Произведем оценку обеспечения подачи воды потребителям на случай аварии на водоводах.

Вероятность возникновения одновременно двух аварий на водоводах чрезвычайно мала.

При аварии на одном из водоводов, не имеющих переключений, расчетная подача воды может быть не обеспечена даже всеми насосами насосной станции. Если же предусмотреть переключение на водоводах между ремонтными участками, то требуемую подачу воды насосами можно обеспечить.

Задача, как правило, решается графо-аналитически.

Для определения количества ремонтных участков на каждом водоводе

$$S_{ав} = \alpha S \quad (2)$$

$$\alpha=(z+3)/z \quad (3)$$

z- число ремонтных участков

Пример

При $h_{ав}=20$ м, $Q_{ав} = 437,5$ л/с, $S_{ав}=104,49$

$h=14,9$ м, $Q = 576$ л/с, $S_{ав}=44,9$

$\alpha=S_{ав}/S=104,49/44,9= 2,33$

$2,33= (z+3)/z=2,27$

Принимаем три ремонтных участка на каждом водоводе.

Занятие 7. Основы гидравлического расчета сетей и систем водоотведения.

Внутренняя канализация — система трубопроводов и устройств, обеспечивающая отведение сточных вод от санитарно-технических приборов и технологического оборудования и при необходимости локальными очистными сооружениями, а также дождевых и талых вод в сеть канализации соответствующего назначения населенного пункта или промышленного предприятия.

Включает в себя:

1. Отводные трубопроводы соединяющие выпуски и гидрозатворы от приборов, размещённых на одном этаже и присоединённых к одному стояку;
2. Стояки транспортирующие сточную воду со всех этажей в нижнюю часть здания;
3. «Горизонтальные» трубопроводы (коллекторы) объединяющие стояки с выпуском.

Для обеспечения бесперебойности отвода сточных вод от всех потребителей схема должна включать:

1. Санитарные приборы;
2. Гидрозатворы;
3. Внутреннюю канализационную сеть;
4. Вытяжную часть;
5. Устройства для прочистки сети;
6. Выпуски канализации;
7. Дворовую канализационную сеть;
8. Приёмник сточных вод (наружные канализационные сети).

Примерная схема внутренней канализации изображена на рисунке №1.

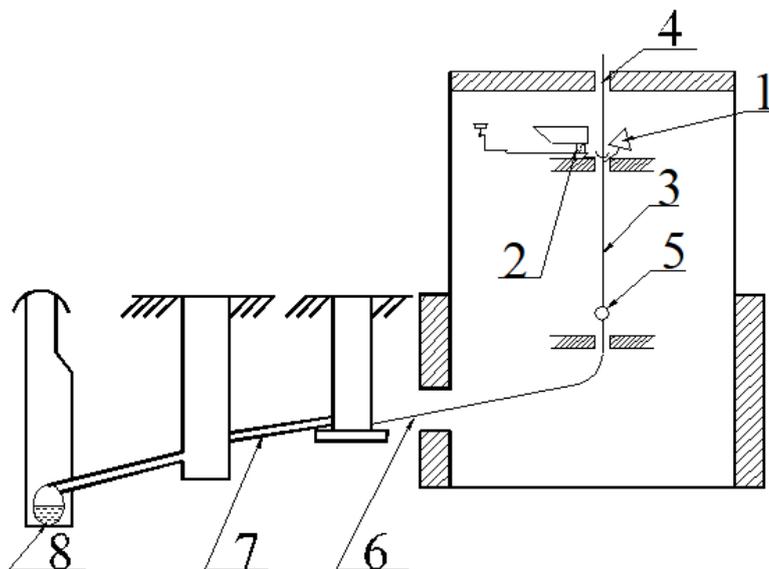


Рис. 1 Схема хозяйственно-бытовой канализации.

Для обеспечения незасоряемости трубопроводов при расчёте уклоны и диаметры трубопроводов подбирают так, чтобы скорость была больше самоочищающей $V > 0,7 \text{ м/с}$; наполнение $0,9 \dots 0,7 > h/d > 0,3$; $V \sqrt{h/d} > 0,6$.

Расчётные расходы определяются по формуле:

$$q^{K1} = q^{B0} + q_{\text{пр.}}^{K1} \quad (1)$$

(при $q^{B0} < 8\text{л/с}$) или

$$q^{K1} = q^{B0} \quad (2)$$

(при $q^{B0} > 8\text{л/с}$),

где q^{B0} - расчётный расход в системе общего (горячего и холодного) водоснабжения, обслуживающий данную группу приборов;

$q_{\text{пр.}}^{K1}$ - максимальный секундный расход стоков от прибора с максимальным водоотведением (для жилых зданий секундный расход от унитаза - 1,6л/с).

Приборы располагаются так, чтобы обеспечить удобство пользования. Для этого борта приборов устанавливаются на следующих высотах:

Ванна – 0,60 м

Умывальник – 0,85 м

Унитаз – 0,40 м

Мойка – 0,85 м

Проверка пропускной способности стояка Ст.К1-1 и Ст.К1-2.

Проверку производится на максимальный секундный расход.

U – количество потребителей во всех зданиях

$$U = N_{\text{эт}} U_0 \quad (3)$$

$$U = N_{\text{эт}} U_0 = 18 * 3,5 = 63$$

Определяется N – число приборов присоединённых к данному стояку:

$$N_{\text{пр.ст.}}^{\text{К1}} = n_{\text{эт}} \cdot N_{\text{пр}}; \quad (4)$$

$N_{\text{пр.}}^{\text{К1}} = 4$ - количество приборов установленных в одной квартире.

$n_{\text{эт}}$ - количество этажей доме.

$$N_{\text{пр.ст.}}^{\text{К1}} = 18 \cdot 4 = 72 \text{ прибора};$$

Определение секундной вероятности действия санитарно-технических приборов:

$$P = \frac{U \cdot q_{\text{ou}}}{3600 \cdot N \cdot q_o}; \quad (5)$$

q_o - секундный расход характерного прибора

$$q_o^{\text{BO}} = 0,3 \text{ л/с};$$

q_{ou} - норма водопотребления на одного потребителя в час максимального водопотребления

$$q_{\text{ou}}^{\text{BO}} = 20,0 \text{ л/чел.ч};$$

$$P_c^{\text{К1}} = \frac{63 \cdot 20}{3600 \cdot 72 \cdot 0,3} = 0,016;$$

Определение секундных расходов воды по формуле

$$\alpha_c = f(NP_c) \quad (6)$$

$$\alpha_c = f(72 \cdot 0,016) = f(1,152)$$

Подставляя найденные величины в формулу, определяются секундные расходы:

$q_{c.ст}=1,57$ л/с

Допустимый расход через стояк $d=100$ мм равен 3,2л/с при угле присоединения отводной линии 90° . Следовательно, принятый диаметр стояка подходит, так как $3,2\text{л/с} > 1,57\text{л/с}$.

Занятие 8. Использование энергосберегающих приёмов и оборудования при реконструкции сетей и систем водоотведения.

Особое место в обеспечении надежности систем водоотведения занимают напорные трубопроводы, как наиболее уязвимые и функционально значимые элементы системы водоотведения, от надежной и эффективной работы которых во многом зависит состояние окружающей среды и инфраструктура города.

Как показывает практика эксплуатации, нарушение надежной работы водоотводящих систем связано в основном с отказами и повреждениями на линейной части системы.

Основными причинами отказов трубопроводов напорной системы водоотведения является:

- Значительный износ и низкие темпы обновления труб
- Неправильный выбор материала и класса прочности труб для конкретных условий эксплуатации
- Интенсивная внешняя и внутренняя коррозия труб (не имеющих защитных покрытий и устройств электрозащиты
- Низкое качество материалов труб

Надежность, экологическая безопасность и энергосбережение насосных станций и напорных трубопроводов должна обеспечиваться высоким качеством элементов, из которых они состоят (насосные агрегаты, трубы, арматура).

Основные принципы энергосбережения, описанные в занятии 4 для системы водоснабжения применимы и для систем водоотведения. Поэтому на этом занятии продолжим расчет. Рассмотрим второй метод реконструкции трубопровода.

Годовая экономия электроэнергии $\Delta \mathcal{E}$ (кВт·ч) за счёт уменьшения гидравлического сопротивления после операций по реновации i -ых участков трубопровода и, следовательно, уменьшения потерь напора по длине трубопровода, подсчитывается по следующей базовой формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{1 м.ст.стар.i} = \frac{9,81 \cdot Q^3 (A_{ст.стар.} - A_{п.нов.i})}{\eta_{нас.} \cdot \eta_{двиг.}} \cdot 24 \cdot 365 \quad (1)$$

где Q – расход подаваемой трубопроводом воды, $м^3/с$; $\eta_{нас.}$ и $\eta_{двиг.}$ – соответственно коэффициенты полезного действия соответственно насоса и электродвигателя; 24 – количество часов работы насоса в сутки, ч; 365 – количество дней в году; $A_{ст.стар.}$, $A_{п.нов.i}$ – соответственно коэффициенты удельных сопротивлений в старом стальном трубопроводе и новом полимерном после ремонта участка.

Второй метод реновации - нанесение цементно-песчаного покрытия.

Зная диаметры восстанавливаемого стального трубопровода и толщину слоя цементно-песчаного покрытия, рассчитывают внутренний диаметр, который после реновации составит величину равную внутреннему диаметру старого трубопровода плюс две толщины слоя цементно-песчаного покрытия.

Подставляя исходные данные в формулу (1) и производя промежуточные операции, получают расчетные значения годовой экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода для двух случаев.

Сопоставляют величины экономии энергозатрат и определяют наиболее оптимальный метод реновации по минимуму затрат электроэнергии. Аналогично решаются вопросы определения потенциала энергосбережения при реновации трубопроводов из других материалов, например, чугуна, асбестоцемента, железобетона и т.д. В этом случае по справочным данным отыскиваются коэффициенты удельных сопротивлений труб из соответствующего материала.

Решение задачи.

Годовая экономия электроэнергии $\Delta Э$ (кВт·ч) на 1 пог. м подсчитывается по базовой формуле (1):

Второй метод реновации - нанесение цементно-песчаного покрытия.

Внутренний диаметр после реновации составит (для первого и второго случаев) $1,0 - 2 \cdot 0,011 = 0,978$ м.

Подставляя исходные данные в формулу (1) и производя промежуточные операции, получим расчетные значения годовой экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода:

-для первого случая (метод опалубки):

$$\Delta Э_3 = (9,81 \cdot 0,79^3 (0,0017 \cdot 1,0^{-5,1716} - 0,0009 \cdot 0,978^{-5,2146}) / 0,8 \cdot 0,9) \cdot 24 \cdot 365 = 40,5251$$

на 1 погонный метр длины трубопровода в год;

-для второго случая (центробежный набрызг):

$$\Delta Э_4 = (9,81 \cdot 0,79^3 (0,0017 \cdot 1,0^{-5,1716} - 0,0006 \cdot 0,978^{-5,3081}) / 0,8 \cdot 0,9) \cdot 24 \cdot 365 = 60,3373$$

на 1 погонный метр длины трубопровода в год;

Результаты расчетов по определению годовой экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода для различных технологий сведены в таблицу 1. Туда же добавим результаты расчета 1 варианта, из занятия 4.

Таблица 1

Данные по экономии электроэнергии на единицу длины трубопровода

при реализации альтернативных технологий

Наименование бестраншейной технологии реновации	Модификация технологии реновации	Величина $\Delta \mathcal{E}$, кВт·ч
1. Протягивание полимерной трубы внутрь старой	Протягивание круглой в профиле трубы	42,7261
	Протягивание деформированной в профиле трубы	68,7426
2. Нанесение слоя цементно-песчаного покрытия	Нанесение опалубки	40,5251
	Центрбежный набрызг	60,3373

Анализируя данные таблицы 1 по двум альтернативным бестраншейным технологиям реновации старого стального трубопровода и их модификаций можно сделать вывод, что наиболее экономичным результатом в плане экономии энергозатрат является бестраншейная реновация старого трубопровода путем протаскивания в него деформированной в профиле полиэтиленовой трубы ($\Delta \mathcal{E}=68,7426$ кВт·ч). Наименее экономичный результат экономии энергозатрат достигается в случае реконструкции трубопровода путем нанесения опалубки.

Занятие 9. Оптимизация реконструкции насосных установок, повышение коэффициента полезного действия насосов, снижение потерь энергии в насосах и системе в целом.

Коэффициент полезного действия (КПД) насоса не имеет системы измерений, и обозначается обычно либо в процентах, либо в долях единицы. Общий КПД насоса определяется произведением КПД его привода и КПД насосной части.

$$\eta = \eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{нч}} \quad (1)$$

$\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода,

$\eta_{\text{нч}}$ – КПД насосной части.

Данное отношение не может быть больше единицы, так как потребляемая двигателем мощность всегда больше мощности на выходе. Это обуславливается тем, что в процессе преобразования энергии всегда присутствуют потери.

Так как насос состоит из деталей, то её коэффициент полезного действия необходимо рассматривать как произведение трёх составляющих: механический КПД, гидравлический КПД и объёмный КПД.

$$\eta_{\text{нч}} = \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{о}} \quad (2)$$

$\eta_{\text{м}}$ - механический КПД

$\eta_{\text{г}}$ - гидравлический КПД

$\eta_{\text{о}}$ - объёмный КПД

Как уже было рассмотрено в практическом занятии 2, распространенными методами регулирования рабочих параметров насоса являются:

- дроссельное регулирование,
- регулирование байпасом,
- коррекция диаметра рабочего колеса;
- регулирование скорости вращения (частоты вращения).

Чаще всего в современных насосных установках в качестве двигателя применяют асинхронный электродвигатель переменного тока. Число оборотов асинхронных электродвигателей может быть различным (2900, 1450, 975, 730, 580, 480, 360, 290 об/мин). Один и тот же насос в зависимости от приводного электродвигателя может работать при различном числе оборотов.

Таким образом, переход от работы на фиксированной частоте вращения на работу с плавным регулированием, а также параллельную работу двух насосов позволяет снизить потребляемую мощность и повысить КПД насосной системы в целом.

Следовательно, для полного выяснения эксплуатационных качеств насоса понадобится не одна, а несколько рабочих характеристик, построенных для характерных чисел оборотов. Сопоставление отдельных характеристик,

изображенных на различных графиках, неудобно. Поэтому, помимо рабочих характеристик пользуются графиком, на котором совмещены кривые напоров $H = f(Q)$ при различном числе оборотов и кривые равных к. п. д. Такой график носит название универсальной характеристики насоса.

Универсальные характеристики получают, пользуясь правилами подобия

Изменение параметров насоса при подрезке рабочих колес для центробежных насосов приближенно можно определить по уравнениям подобия:

$$Q' = Q \cdot \left(\frac{n'}{n}\right) \quad (3)$$

$$H' = H \cdot \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \quad (4)$$

$$N' = N \cdot \left(\frac{n'}{n}\right)^3 \quad (5)$$

где Q, H, N, n — номинальные подача, напор, мощность и частота вращения (первая); Q', H', N', n' — то же, после изменения частоты вращения.

Рассмотрим пример.

$$H' = k \cdot Q'^2 \quad (6)$$

Воспользовавшись приведенными зависимостями:

$$k = H' / Q'^2 = 57 / 0,192^2 = 1546,2$$

Для графического построения кривой $H' = 1545,2 \cdot Q'^2$ нужны промежуточные точки, тогда возьмем произвольное значение Q'

№ точки	1	2	3	4	5
$Q', \text{м}^3/\text{с}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$H', \text{м}$	15,46	34,79	61,85	96,63	139,2

Далее, после построения кривой, проходящей через точку [57 м; 192 л/с] с координатами на исходной характеристике насоса $H-Q$ (при $n=1200$ мм) получим новую точку пересечения с координатами [60 м; 200 л/с]

Тогда искомая частота вращения:

$$n' = (n \cdot Q') / Q \quad (5)$$

Подставляя значения в формулу 5, получим

$$n' = (1200 \cdot 0,192) / 0,2 = 1152 \text{ мм}$$

Занятие 10. Определение отметки установки погружных насосных агрегатов.

Насосные станции систем водоотведения — это комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий отведение сточных вод в соответствии с нуждами потребителя.

Конструктивные особенности насосных агрегатов обуславливаются составом перекачиваемой сточной жидкости.

Погружной насос — насос, погружаемый ниже уровня перекачиваемой жидкости. Это обеспечивает подъём жидкости с большой глубины и охлаждение узлов насоса.

Самым главным преимуществом погружных насосов является то, что их можно опускать на большие глубины без потери качества работы. Но недостаток этого свойства заключается в сложности технического обслуживания.

Любой насос этого типа состоит из очень прочного герметичного закрытого корпуса, который выполняет защитную функцию всего внутреннего оборудования от коррозионного воздействия.

Конструкция всех насосов погружного типа делится на два вида: вибрационная и центробежная.

В целом погружные насосы делятся на 4 основных вида: центробежные, скважинные, вихревые, фекальные.

Насосные станции с погружными насосами значительно дешевле, как в строительстве, так и в эксплуатации.

Все насосы глубинного (погружного) типа имеют очень прочный и герметичный корпус, который выполняет защиту всех его механизмов от ржавления материала.



Рис 1. Дренажный насос

Устанавливаются поплавки, когда поплавок достигает нужного уровня, насос либо включается, либо выключается.

Минимальный уровень в приемном резервуаре выбирается исходя из минимального допустимого уровня воды для охлаждения двигателя или уровня, при котором насос начинает подсасывать воздух (для двигателей без охлаждающих кожухов- это середина корпуса двигателя).

Существует три основных варианта установки погружных насосов: переносная установка (Рис. 2), стационарная «мокрая» установка (Рис. 3) и вертикальная «сухая» установка (Рис. 4).



*Рис 2. Переносная
установка*

*Рис 3. Стационарная
«мокрая» установка*

*Рис 4. Вертикальная
«сухая» установка*

В случае переносной установки необходимо обеспечить устойчивое крепление насоса в насосном зумпфе, а также наличие подъемного устройства, необходимого для подъема установленных насосов

Стационарная «мокрая» установка осуществляется на опорном колене, прочно установленном на дне бассейна. Опорное колено для установки насоса должно соответствовать допустимой нагрузке и присоединительным размерам закрепленного на напорном фланце насоса захвата (или зубца). Присоединительные размеры не стандартизированы. Для тяжелых насосов требуется крепление к бетонному полу с помощью фундаментных шин. Крепление опорного колена или фундаментных шин выполняется при помощи анкерных болтов (клеевых анкеров), соответствующих строительно-техническим требованиям, установленных в бетонном полу достаточной прочности (не ниже класса C25/C30 по стандарту DIN 1045)

Необходимо обеспечить достаточно большое расстояние от всасывающего патрубка насоса до дна резервуара. Перед монтажом насоса следует полностью собрать нагнетательный трубопровод и установить направляющее устройство насоса. В качестве направляющего устройства применяются две различные системы с тросовыми и штанговыми направляющими.

Занятие 11. Определение состояния подлежащих реновации безнапорных трубопроводов.

Расчёт ресурса трубопровода по остаточной толщине его стенки.

Актуальность задач не подлежит сомнению, так как в системах наружного водоснабжения традиционно применяются стальные трубопроводы. Например, при протяженности трубопроводов городской

водопроводной сети Москвы более 11 тыс. км около 72% трубопроводов представлены стальными трубами, 26% чугунными и лишь 2% железобетонными, полиэтиленовыми и поливинилхлоридными трубами. При нормативном сроке службы стальных трубопроводов 20 лет средний возраст стальных трубопроводов Московского водопровода составляет 24 года, чугунных - 41 год. Сложившаяся ситуация приводит к росту отказов трубопроводной сети. Анализ причин отказов трубопроводов показывает, что наиболее часто встречающимися повреждениями на стальных трубах являются свищи, которые вызваны воздействием внешней и внутренней коррозии труб. Наибольшее количество аварий (примерно 90%) приходится на трубопроводы водопроводной сети малых диаметров (100-300 мм) по причине относительно малой толщины стенки труб.

В качестве мероприятий, содействующих продлению срока службы старых стальных трубопроводов, прежде всего, необходимо рассматривать их бестраншейный ремонт различными методами. Однако, прежде чем осуществлять ремонтно-восстановительные работы и выбрать наиболее эффективный вариант реновации трубопроводов проектировщики должны выявить их остаточный ресурс, во многом зависящий от физического состояния участка сети на момент принятия решения о реновации.

Под остаточным ресурсом (или остаточным сроком службы) понимается наработка трубопровода от момента его диагностирования до достижения предельного состояния. Остаточный ресурс следует отличать от времени последующей диагностики технического состояния. Остаточный ресурс как случайная величина характеризуется численным параметром наработки и вероятности того, что в течение этой наработки предельное состояние не будет достигнуто.

Для определения остаточного ресурса необходимо знать:

-определяющие техническое состояние объекта параметры, изменение которых может привести к предельному состоянию (например, остаточную толщину стенки трубопровода);

-величину параметров на момент диагностирования: внутренней коррозии, происходящей за счет изменения качественных показателей транспортируемой воды, негативно воздействующей на внутренние стенки трубопровода; наружной почвенной коррозии, в том числе в местах нарушения сплошности антикоррозионного покрытия; коррозионной активности грунтов, окружающих трубопровод);

-скорость изменения перечисленных выше параметров в течение последующей диагностирования и эксплуатации трубопроводной сети.

Математически техническое состояние объекта, для которого производится расчет остаточного ресурса, может быть описано с помощью линейных, степенных, логарифмических или экспоненциальных зависимостей. Для определения остаточного ресурса объекта при воздействии общей коррозии наиболее приемлема экспоненциальная модель.

Для стальных городских водопроводных и напорных водоотводящих сетей наиболее приемлемой оценкой состояния является уменьшение толщины (утонение) стенки в результате общей (фронтальной) и язвенной (питинговой) коррозии, а также эрозионного износа стенок трубопровода транспортируемой жидкостью до величины, ниже которой не обеспечивается запас прочности.

Сущность проблемы оценки остаточного ресурса трубопровода во времени в зависимости от толщины стенки состоит в комплексном анализе изменения толщины стенки и влияния на участок трубопровода внешних обстоятельств, нагрузок и воздействий, связанных, в частности, с местом расположения трубопровода по отношению к транспортной инфраструктуре, глубиной его залегания, наличием подземных вод по трассе, характеристикой грунта, сроках эксплуатации отдельных участков сети и т.д., а также сопоставления величин:

-расчетной требуемой толщины стенки трубопровода $d_{\text{расч. тр.}}$;

-проектной толщины стенки $d_{\text{проект.}}$, т.е. согласно ГОСТ на соответствующий диаметр трубы и марку стали;

-остаточной толщины стенки $d_{\text{ост.}}$ (как результата проявления коррозионных процессов на внутренней и внешней поверхностях трубопровода во времени).

Расчетная минимальная толщина стенки принимается на основании упрощенного метода или комплексного прочностного расчета с использованием данных по диаметрам трубопроводов и окружающей обстановки, а проектная толщина стенки определяется как толщина стенки трубы заводского изготовления, выполненная в соответствии с Техническими условиями (ТУ). Остаточная толщина стенки соответствует ее толщине после n – го количества лет эксплуатации участка трубопровода. Она определяется по результатам регулярной диагностики (толщинометрии) или специальных натурных диагностических исследований, назначаемых в экстренных ситуациях.

При определении ресурса трубопровода используются следующие расчетные зависимости:

-для определения средней скорости коррозии в год V , мм/год:

$$V = (d_{\text{проект.}} - d_{\text{ост.}}) / N, \quad (1)$$

где N - срок эксплуатации трубопровода до момента диагностирования, т.е. определения толщины стенки, год; $d_{\text{проект.}}$ – проектная толщина стенки, мм.

-для определения остаточного ресурса $N_{\text{ост.}}$, год:

$$N_{\text{ост.}} = (d_{\text{ост.}} - d_{\text{ост.}}^*) / V, \quad (2)$$

где $d_{\text{ост.}}$ - остаточная толщины стенки, мм; $d_{\text{ост.}}^*$ - остаточная толщина стенки, при которой не соблюдаются установленные граничные условия по первому предельному состоянию (допустимым растягивающим напряжениям в лотке) или по второму предельному состоянию (допустимым деформациям в своде).

От величины остаточного ресурса трубопровода напрямую зависит метод его реновации.

Если трубопровод имеет достаточно большой остаточный ресурс (как правило, более 10 лет), то в качестве метода его восстановления может рассматриваться нанесение набрызговых защитных цементно-песчаного или полимерного покрытий. Эти покрытия будут обеспечивать герметичность трубной конструкции, но не повысят её несущую способность. В том случае, если трубопровод имеет значительные свищевые повреждения и величина его остаточного ресурса значительно меньше 10 лет, то наиболее приемлемым методом бестраншейного ремонта может являться протягивание в трубопровод полимерной трубы или наложение сплошного внутреннего защитного покрытия из полимерных материалов, что будет обеспечивать повышение несущей способности двухслойной трубной конструкции.

На практике при исследовании состояния участков сети объекты с нулевым остаточным ресурсом рассматриваются как первоочередные для восстановления (реконструкции), а с ненулевым как потенциальные для ремонтно-восстановительных работ на отдаленную перспективу.

При нулевом ресурсе дальнейшая эксплуатация стального трубопровода нецелесообразна и он должен подлежать замене или реновации, например, путем предварительного разрушения и протаскивания на место старого (с помощью бестраншейной технологии) полимерной трубы идентичного диаметра. Другой бестраншейной технологией может служить протаскивание полимерной трубы меньшего диаметра в старый без его разрушения или, как альтернатива, нанесение на внутреннюю поверхность старого трубопровода полимерного рукава (чулка) с соответствующей толщиной стенки. После полимеризации плотно прилегающего рукава к стенке старого трубопровода образуется самостоятельная двухслойная несущая конструкция, противодействующая всем нагрузкам на восстановленный трубопровод.

Задача. Рассчитать ресурс стального трубопровода по остаточной толщине его стенки и предложить наиболее оптимальный метод его ремонта.

Решение задачи

Определяется скорость коррозии за год V , мм/год:

$$V=(d_{\text{проект.}}-d_{\text{ост.}})/N=(12-8)/15=0,266 \text{ мм/год} \quad (3)$$

Определяется остаточный ресурс $N_{\text{ост.}}$, год:

$$N_{\text{ост.}}=(d_{\text{ост.}}-d_{\text{ост.}}^*)/V=(8-7)/0,266=3,76 \text{ года} \quad (4)$$

Наиболее приемлемым методом бестраншейного ремонта может являться протягивание в трубопровод полимерной трубы или наложение сплошного внутреннего защитного покрытия из полимерных материалов, что будет обеспечивать повышение несущей способности двухслойной трубной конструкции и обеспечит работу трубопровода даже при дальнейшем утонении стенки трубопровода.

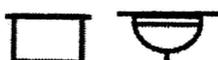
Другие методы ремонта, например, нанесение цементно-песчаного покрытия на внутреннюю поверхность не даст должного эффекта, так как не обеспечит усиления несущей способности трубопровода в последующее время эксплуатации.

Занятие 12. Реконструкция трубопроводной и канализационной арматуры на базе новых технических решений.

В случае с трубопроводной и канализационной арматурой, при выходе ее из строя, необходима ее замена. Значительная часть трубопроводной арматуры, аналогично водопроводной, такой как вентили и задвижки, обратные клапаны и т.д., но значительная часть применяется только для канализации, рассмотрим некоторую канализационную арматуру.

Санитарные приборы (ванны, умывальники, мойки, душ, биде, унитаза) устанавливаемые в системе хозяйственно-бытовой канализации собирают загрязненную воду, образовавшуюся в процессе жизнедеятельности людей.

Условные обозначения представлены на рисунке 1.



умывальник



Рис. 1. Санитарные приборы общего назначения

Канализационная ревизия – часть пластиковой трубы со специальной съемной крышкой. Она используется при засорах, позволяет свободно добраться до проблемного участка и устранить мусорную пробку. Ревизии устанавливаются на стояках на высоте 1 м от пола.

Устанавливаются на первом и последнем этаже и через каждые три этажа



Рис. 1 Ревизия

Гидрозатвор представляет собой изогнутую трубу или другую конструкцию, в которой удерживается определённое количество воды, препятствующей проникновению газов из канализационной сети в помещение.

Гидрозатворы защищают помещение от проникновения токсичных и взрывоопасных газов. Их предусматривают у каждого санитарного прибора,

кроме унитаза, который имеет свой встроенный гидрозатвор. Вредные газы из системы канализации задерживаются в гидрозатворе слоем воды высотой 50-70 мм, который образуется в изгибе трубопровода. Незасоряемость обеспечивается большим проходным сечением и гладкой внутренней поверхностью. Для прочистки гидрозатворов предусматриваются отверстия, закрываемые крышками.

По конструкции различают: U-образный и бутылочный гидрозатворы.

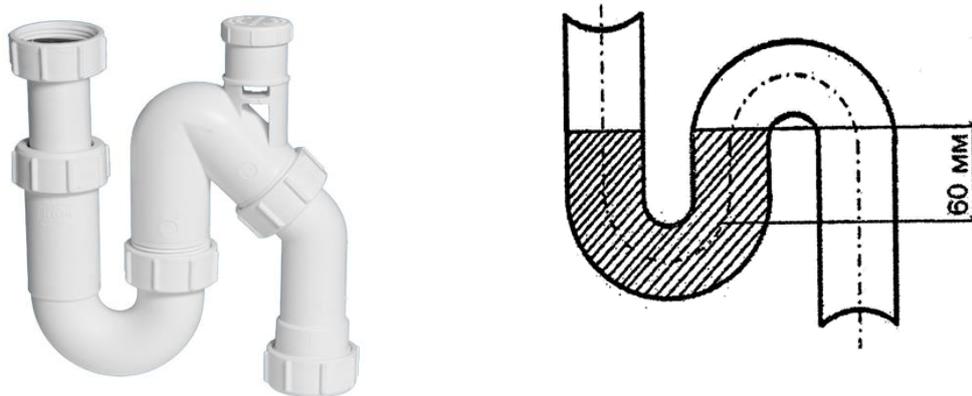


Рис. 2 U-образный гидрозатвор (сифон)

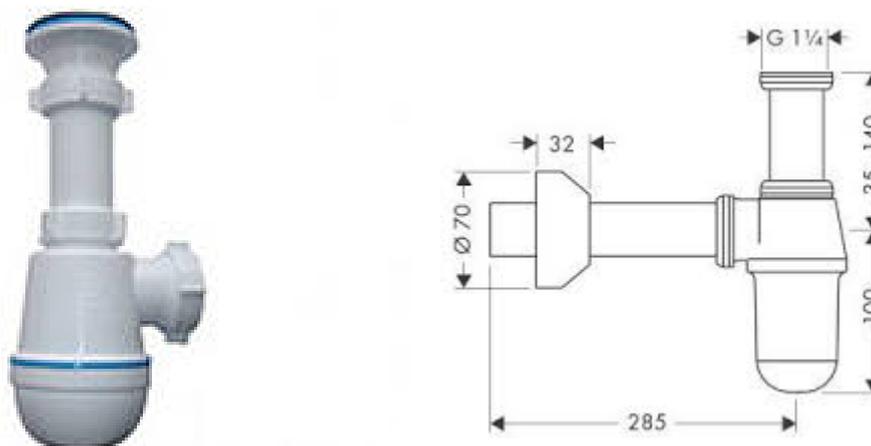


Рис. 3 Бутылочный гидрозатвор (сифон)