НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

2. НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

2.1. Типы насосных станций систем водоснабжения и водоотведения

Насосные станции представляют собой сложный комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающих подачу воды и водоотведение в соответствии с нуждами потребителей.

По своему назначению и расположению в общей схеме водоснабжения насосные станции подразделяются на:

- насосные станции I подъема;
- насосные станции II подъема;
- повысительные;
- циркуляционные.

Насосные станции I подъема забирают воду из источников водоснабжения и подают ее на очистные сооружения или, если не требуется ее очистка, непосредственно в резервуары чистой воды, сеть, водонапорную башню.

Насосные станции II подъема служат для подачи очищенной воды потребителям, обычно из резервуаров чистой воды.

Повысительные (бустерные) насосные станции (станции подкачки) предназначены для повышения напора в водопроводной сети или водоводе. Вода забирается из одного участка сети (водовода) и под увеличенным напором подается в другой участок сети (водовода).

Циркуляционные насосные станции входят в схемы технического водоснабжения промышленных предприятий, ТЭЦ. На этих станциях одни насосы подают отработанную воду на охлаждающие или очистные устройства, а другие насосы возвращают подготовленную воду снова к производственным установкам.

Тип водопроводной насосной станции определяется ее назначением и подачей, а так же зависит от вида и режима источника водоснабжения, расположения здания насосной станции по отношению к водозаборному сооружению, типа и характеристик основного оборудования и систем привода, климатических условий и гидрогеологии местности (рис. 2.1).

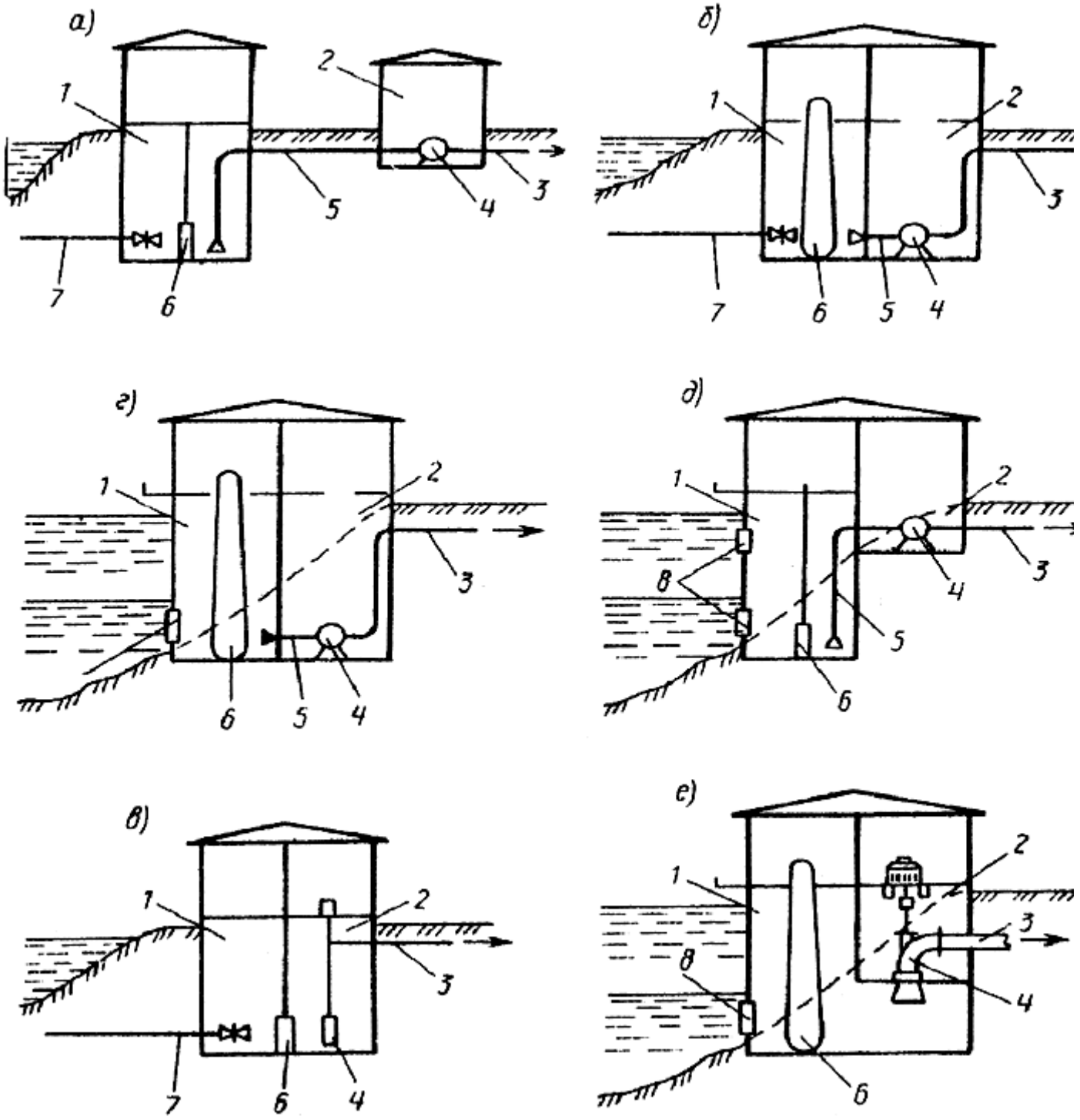

Рис. 2.1. Схемы насосных станций первого подъема раздельного (а) и совмещенного (б…е) типов:
а, д – полузаглубленные; б…г, е – заглубленные;
1 – береговой сеточный колодец; 2 – насосная станция; 3 – напорный водовод; 4 – насос; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – сетка; 7 – самотечный трубопровод; 8 – водоприемные окна

Назначение **канализационных насосных станций** (КНС) заключается в подъеме сточной воды на очистные сооружения, если рельеф местности не позволяет подавать сточные воды самотеком. КНС устраивают для того, чтобы

избежать большого заглубления самотечных коллекторов. В этом случае сточные воды из заглубленного коллектора подаются в другой коллектор, расположенный выше.

По расположению в общей схеме водоотведения канализационные насосные станции подразделяются на **главные**, которые служат для перекачивания сточных вод со всей территории населенного пункта или промышленного предприятия, и **районные**, предназначенные для перекачивания сточных вод только с части территории населенного пункта или промышленного предприятия.

Насосные станции систем водоотведения можно разделить на:
- КНС перекачки городских сточных вод;
- КНС перекачки производственных сточных вод;
- КНС перекачки атмосферных (ливневых) вод;
- насосные станции для перекачки осадка (иловые НС).

Тип насосной станции водоотведения диктуется главным образом глубиной заложения подводящего коллектора, объемом сточных вод и регулярностью их поступления, гидрогеологическими условиями (в частности наличием грунтовых вод, типом установленных насосов и двигателей (рис. 2.2)).

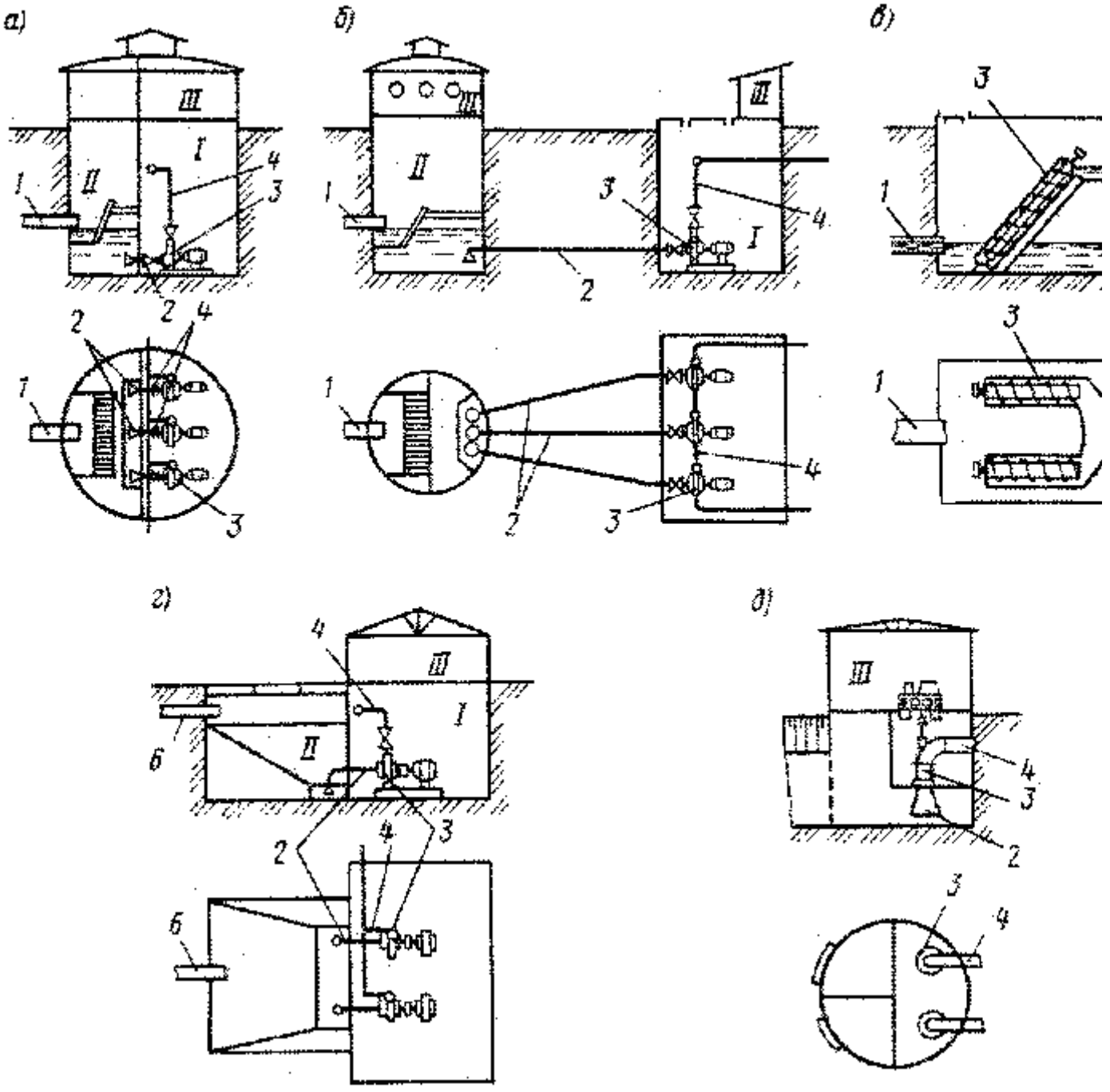

Рис. 2.2. Схемы канализационных насосных станций:
I – машинное отделение; II – приемный резервуар; III – наземное строение;
1 – подводящий (нижний) коллектор; 2 – всасывающие трубопроводы; 3 – насос; 4 – напорный трубопровод; 5 – отводящий (верхний) коллектор; 6 – илопровод от отстойников

В значительной степени тип насосной станции зависит от способа управления агрегатами.

Возможные сочетания указанных условий предопределили наличие большого числа признаков, по которым могут быть классифицированы типы и конструкции насосных станций систем водоснабжения и водоотведения.

По характеру основного оборудования насосные станции могут быть:

- с центробежными, горизонтальными или вертикальными насосами;
- с осевыми и диагональными горизонтальными, наклонными или вертикальными насосами;
- с объемными насосами;
- с водоподъемниками различных типов.

По расположению лопастных насосов относительно уровня воды в приемном резервуаре:
- с положительной высотой всасывания;
- с отрицательной высотой всасывания (под заливом);

По расположению относительно поверхности земли:
- заглубленными (шахтного типа);
- частично заглубленными;
- наземными.

По характеру управления:
- с ручным управлением;
- автоматическими;
- дистанционными.

По форме здания:
- круглые в плане;
- прямоугольные.

По надежности: I, II и III категории надежности.

Примеры конструкций и компоновок насосных станций (ссылка на часть 4)

2.2. Состав оборудования насосных станций

Для осуществления главной функции насосной станции – подачи воды – предназначено различное оборудование, от которого зависят эффективность и надежность эксплуатации станции.

Основное энергетическое оборудование включает насосы и приводные двигатели. Привод насосов обычно осуществляется с помощью **электродвигателей** – асинхронных и синхронных.

При работе **асинхронных двигателей** частота вращения магнитного поля статора постоянна и зависит от частоты питающей сети (стандартная частота 50 Гц) и от числа пар полюсов, а частота вращения ротора отличается на величину

скольжения, составляющую 0,012 – 0,06 скорости магнитного поля статора. Причиной исключительно широкого применения асинхронных электродвигателей является их простота и небольшая стоимость.

В зависимости от типа обмотки ротора различают асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым или с фазным ротором.

Короткозамкнутые асинхронные электродвигатели являются наиболее подходящим электроприводом для небольших насосов. Они значительно дешевле электродвигателей всех других типов и, что очень существенно, обслуживание их гораздо проще. Пуск этих электродвигателей – прямой асинхронный, при этом не требуется каких-либо дополнительных устройств, что дает возможность значительно упростить схему автоматического управления агрегатами.

Однако при прямом включении короткозамкнутых асинхронных электродвигателей очень высока кратность пускового тока, который превышает в 5 – 7 раз номинальный ток электродвигателя. Такой кратковременный толчок пускового тока относительно безопасен для двигателя, но вызывает резкое снижение напряжения в сети, что может неблагоприятно сказаться на других потребителях энергии, присоединенных к той же распределительной сети. По этим причинам допустимая номинальная мощность асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, пускаемым прямым включением, зависит от мощности сети и в большинстве случаев ограничивается 100 кВт.

Пусковые токи асинхронных электродвигателей с фазным ротором гораздо меньше, однако эти машины имеют более сложную и дорогую конструкцию, так как обмотки ротора у них соединяются с наружным пусковым реостатом через три контактных кольца со скользящими по ним щетками. Система автоматического управления такими электродвигателями также сложнее.

Синхронные электродвигатели переменного тока применяются для привода мощных насосов, характеризуемых большой продолжительностью работы. Частота вращения синхронных электродвигателей связана постоянным отношением с частой сети переменного тока, в которую эта машина включена: $pn = 3000$ (где p – число пар полюсов; n – частота вращения электродвигателя).

Основные преимущества синхронного электродвигателя перед асинхронным заключаются в том, что синхронный электродвигатель может работать с коэффициентом мощности ($\cos\varphi$), равным единице и даже опережающим, что улучшает коэффициент мощности сети и, следовательно, экономит электроэнергию; при колебаниях напряжения в сети синхронный электродвигатель работает более устойчиво, допуская кратковременное снижение напряжения до 0,6 номинального. Основным недостатком синхронных электродвигателей является то, что момент на их валу при пуске равен нулю, поэтому их необходимо раскручивать тем или иным способом до скорости, близкой к синхронной. Для этой цели большинство современных синхронных электродвигателей имеет в роторе дополнительную пусковую

короткозамкнутую обмотку, аналогичную обмотке ротора асинхронного двигателя.

Напряжение приводного двигателя принимают в зависимости от его мощности и напряжения сети энергосистемы, к которой подключена насосная станция. Если питание насосной станции осуществляется от энергосети напряжением 3,6 или 10 кВ и мощность электродвигателей превышает 250 кВт, то следует устанавливать двигатели на том же напряжении. В этом случае отпадает необходимость сооружения понизительной трансформаторной подстанции и, следовательно, уменьшаются общие капитальные затраты.

Напряжение электродвигателей мощностью 200 – 250 кВт определяется схемой электропитания и условиями перспективного увеличения их мощности. Электродвигатели мощностью до 200 кВт следует принимать низковольтными, напряжением 220, 380 и реже 500 В.

Механическое оборудование включает в себя сороудерживающие устройства, затворы, подъемно-транспортные механизмы.

Вспомогательное оборудование включает в себя:

• Систему технического водоснабжения (СТВ). Она предназначена для подачи технически чистой воды к устройствам для водяной смазки направляющих подшипников и сальниковых уплотнений насосов.

• Дренажно-осушительную систему (ДОС). Она предназначена для откачивания воды из камер, самотечных и всасывающих труб насосов, удаления дренажной воды из подземных помещений.

• Систему маслоснабжения (СМС), служащую для обеспечения маслами соответствующих марок масляных ванн и подшипников электродвигателей, силовых трансформаторов.

• Систему пневматического хозяйства (СПХ). Вакуум-система, предназначенная для заливки водой насосов, установленных выше уровня воды в приемном резервуаре.

Контрольно-измерительные приборы и системы автоматизации (комплекс КИПиА) включают в себя устройства управления и контроля за состоянием основных агрегатов и другого оборудования.

Трубы и фасонные части, обеспечивающие присоединение насосов к всасывающим и напорным трубопроводам.

Электрические устройства включают в себя силовые трансформаторы, выводы высокого и низкого напряжения, распределительные устройства, токопроводы к электродвигателям, системы контроля.

Противопожарные и санитарно-технические устройства.

2.3. Общие требования к выбору расчетных режимов работы насосных станций

Выбор насосных агрегатов осуществляется на основании требуемых подачи Q и напора H, устанавливаемых на основе гидравлического расчета системы водоснабжения (водоотведения).

Для расчета требуются следующие исходные данные:

- расход воды (приток) в сутки максимального водопотребления (притока);
- расход (приток) воды в часы максимального, среднего и минимального водопотребления (притока) в сутки максимального водопотребления;
- расход воды на нужды пожаротушения;
- отметка расчетных уровней воды в источнике (река, резервуар и т.д.);
- отметки уровня воды в напорной емкости или у потребителя, в приемной камере или точке приема жидкости;
- гидравлическая характеристика Q-H трубопроводов.

На основании графика водопотребления (притока) устанавливается режим работы и подача насосной станции:

1. Насосная станция должна подавать (или откачивать) за сутки полный расчетный суточный расход при обеспечении требуемой высоты подъема жидкости.
2. Расчетная (максимальная) подача насосной станции определяется по суткам максимального водопотребления (или притока), в час максимального водопотребления или притока (на основании сводной ведомости расхода воды потребителями в системе водоснабжения или принятого коэффициента неравномерности).
3. Подача канализационных насосных станций характеризуется максимальным расчетным секундным расходом в подводящем коллекторе на участке, примыкающем к насосной станции.

При выборе режима работы насосных станций следует учитывать их назначение, место расположения в общей схеме системы водоснабжения или водоотведения, наличие и объем регулирующих емкостей, очереди развития насосных станций.

2.4. Режим работы насосных станций

Насосные станции первого подъема, подающие воду на очистные сооружения, работают равномерно в течение суток. При этом расчетную часовую подачу насосной станции в сутки наибольшего водопотребления определяют по формуле:

$$Q_ч = \frac{\alpha Q_{сут.мах}}{T},$$

где $Q_{сут.max}$ – максимальное суточное водопотребление, $м^3$/сут;

α – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды очистной станции;

Т – продолжительность работы станции в течении суток (как правило Т = 24), ч.

Количество рабочих насосов должно быть не менее двух. На насосной станции кроме рабочих насосных агрегатов предусматривают установку и резервных. Количество резервных насосных агрегатов принимается следующим:

Количество рабочих агрегатов одной группы	Количество резервных агрегатов в насосных станциях для категорий		
	I	II	III
До 6	2	1	1
От 6 до 9	2	1	–
Свыше 9	2	2	–

Насосные станции второго подъема. Ввиду того, что насосная станция II подъема подает воду непосредственно в сеть потребителя, режим работы ее стараются максимально приблизить к режиму водопотребления.

При этом сочетают различные способы регулирования работы насосной станции – изменение числа работающих насосных агрегатов и регулирование работы одного или нескольких насосов. Выбранному режиму работы насосной станции должен соответствовать минимум затрат на строительство и эксплуатацию устройств, связанных с регулированием.

На практике указанным требованиям, как правило, отвечает двух-, реже трехступенчатый режим работы насосной станции с водонапорной башней в системе водоснабжения. В таком случае задача сводится к определению такого ступенчатого режима, при котором вместимость бака водонапорной башни минимальна, а значит, минимальны и затраты на ее строительство.

Обеспечение нужного режима работы можно путем установки в насосной станции различного количества одинаковых или разных рабочих насосов.

Канализационные насосные станции. Режим работы канализационной насосной станции назначают в зависимости от режима притока сточных вод в течение суток. Режим притока сточных вод характеризуется и определяется общим коэффициентом неравномерности водоотведения $К_{общ}$. Для каждого значения $К_{общ}$ существуют типовые распределения притока сточных вод по часам суток.

Максимальную подачу насосной станции принимают равной наибольшему часовому притоку сточных вод или несколько превышающей его. В остальные

часы суток, когда приток меньше максимального, расчетное значение откачки должно быть близким (равно или чуть больше) значению притока стоков в эти часы.

График режима откачки стремятся приблизить к графику притока сточных вод, с тем чтобы получить минимальную вместимость приемного резервуара и тем самым уменьшить стоимость насосной станции. Однако максимальное приближение режима откачки к режиму притока сточной жидкости может быть обеспеченно путем установки большего количества рабочих насосов, что в свою очередь, увеличивает стоимость насосной станции.

Принципы выбора числа рабочих насосов в канализационных насосных станциях такие же, как и для водопроводных насосных станций.

2.5. Определение требуемого напора насосных станций и подбор насосов

Насосные станции I подъема. Напор, который должны развивать насосы I подъема, рассчитывают для конкретной схемы размещения станции в системе водоснабжения. При подаче воды на очистные сооружения (рис. 2.3) требуемый напор определяется по формуле:

$$H = H_Г + h_{вс} + h_{нап} + 1,$$

где

$H_Г = Z_{ОС} – Z_{ВЗ}$ – геометрическая высота подъема насосной станции;

$Z_{ОС}$ – максимальный уровень воды в первом сооружении (барабанные сетки, микрофильтры, смеситель) очистной станции, м;

$Z_{ВЗ}$ – минимальный уровень воды в береговом колодце водозабора, м;

$h_{вс}$ – потери напора во всасывающих водоводах и коммуникациях насосной станции, м;

$h_{нап}$ – потери напора в напорных коммуникациях насосной станции и напорном трубопроводе (водоводах), м;

1 – запас напора на излив воды из трубопроводов, м.

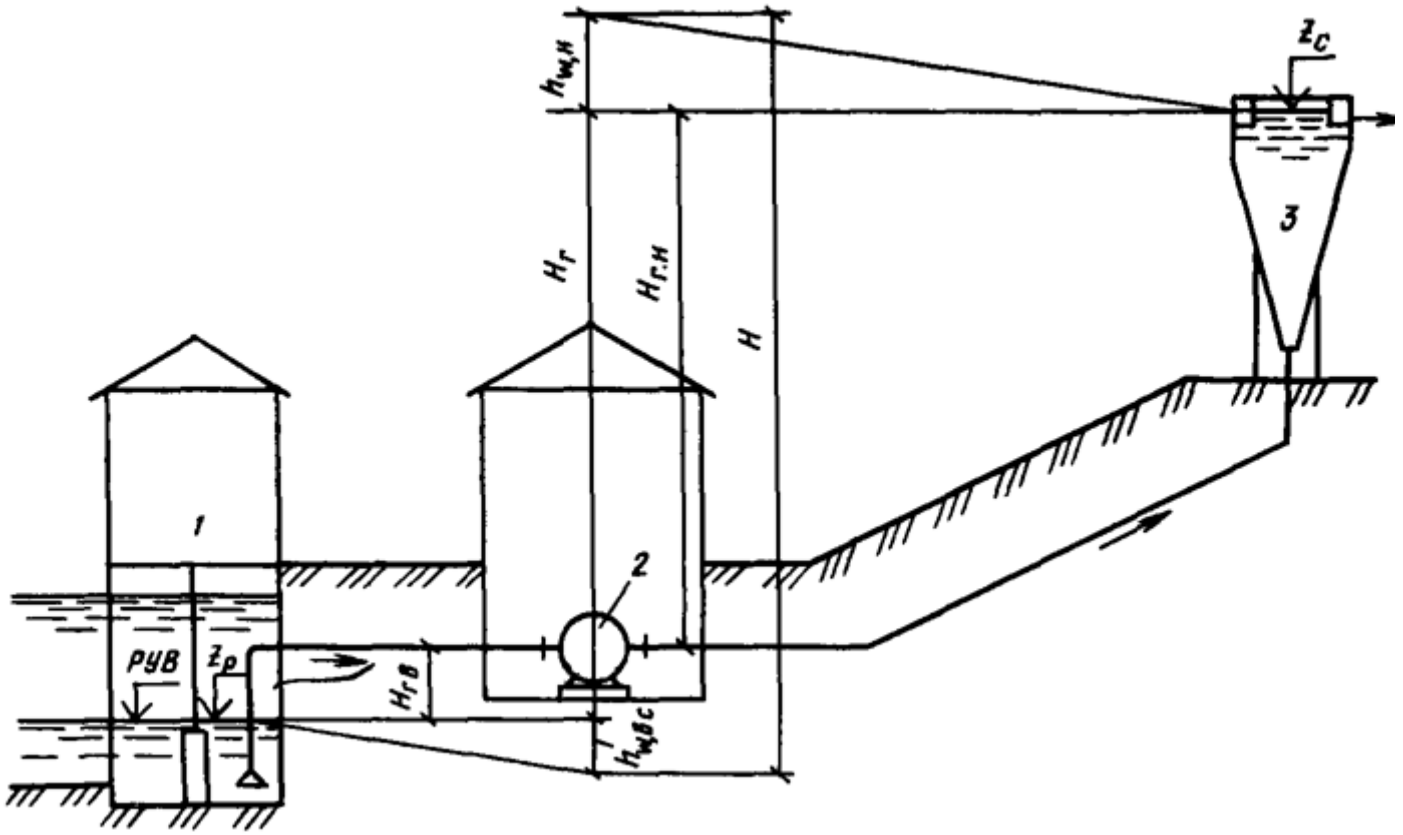

Рис. 2.3. Расчетная схема определения напора насосной станции I подъема: 1 – береговой колодец; 2 – насос; 3 – смеситель очистной станции

Насосные станции II подъема. Полный напор, который должны развивать насосы второго подъема, зависит от принятой схемы водоснабжения.

На рис. 2.4 показана расчетная схема для определения напора насосной станции второго подъема при расположении водонапорной башни в начале сети.

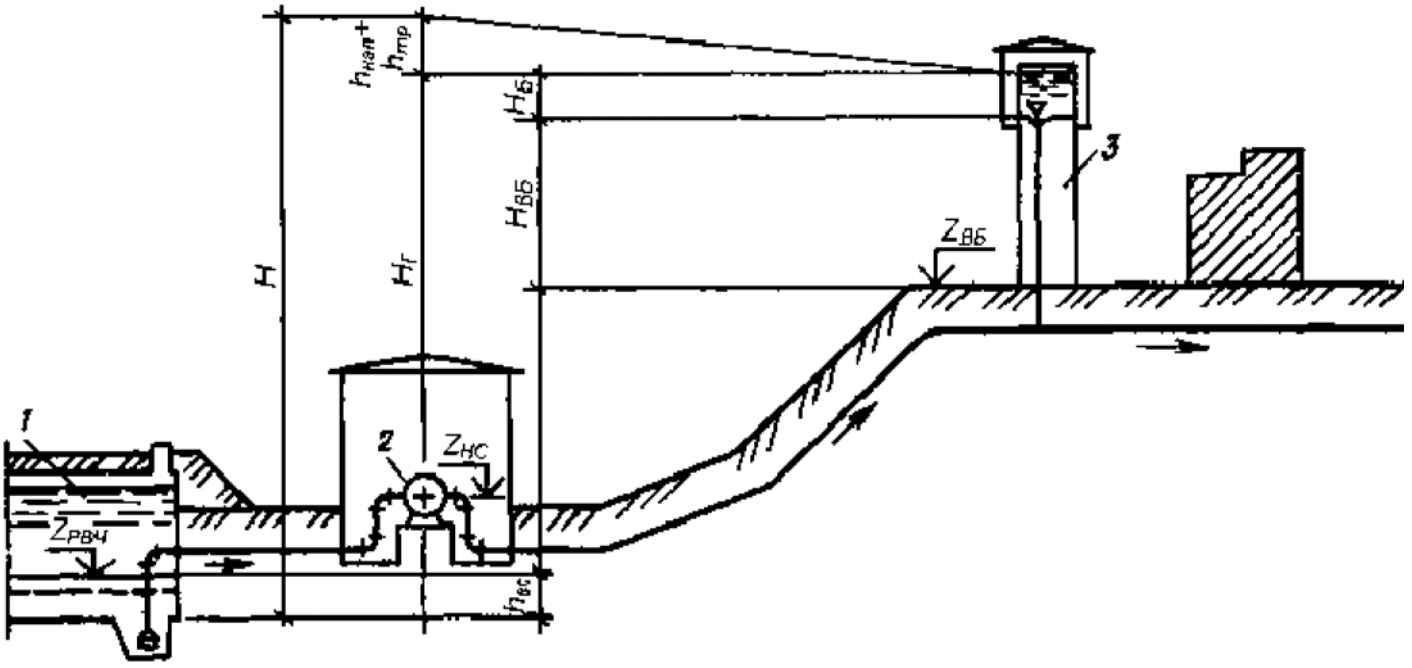

Рис. 2.4. Расчетная схема определения напора насосной станции II подъема при расположении водонапорной башни в начале сети:
1 – резервуар чистой воды; 2 – насосы второго подъема; 3 – водонапорная башня

Полный напор насоса для этого случая определяется по формуле:

$$H = H_Г + h_{вс} + h_{нап} + 1 = (Z_{ВБ} – Z_{РЧВ}) + H_{ВБ} + H_Б + h_{вс} + h_{нап} + 1,$$

где

$H_Г$ – геометрическая высота подъема насосной станции;

$Z_{ВБ}$ – отметка поверхности земли у водонапорной башни, м;

$Z_{РЧВ}$ – отметка минимального уровня воды в резервуаре чистой воды, м;

$h_{вс}$ – потери напора во всасывающих водоводах и коммуникациях насосной станции, м;

$H_{ВБ}$ – высота ствола водонапорной башни, м;

$H_Б$ – максимальная высота слоя воды водонапорной башни, м;

$h_{нап}$ – потери напора в напорных коммуникациях насосной станции и напорном трубопроводе (водоводах до города), м;

l – запас напора на излив воды из трубопроводов, м;

При расположении башни в конце сети (рис. 2.5) требуемый напор насосной станции второго подъема определяется для двух расчетных случаев:

– час максимального водопотребления:

$$H^{max} = H_Г^{max} + h_{вс} + h_{нап} + h_{св} = (Z_{РЧВ} – Z_a) + h_{вс} + h_{нап} + H_{св},$$

– максимальный транзит в водонапорную башню:

$$H^{тр} = H_Г^{тр} + h_{вс} + h_{нап} + 1 = (Z_{РЧВ} – Z_{ВБ}) + h_{вс} + h_{нап} + 1,$$

где

Z_a – отметка поверхности земли в диктующей точке водопроводной сети, м;

$H_{св}$ – расчетный свободный напор в диктующей точке водопроводной сети, м;

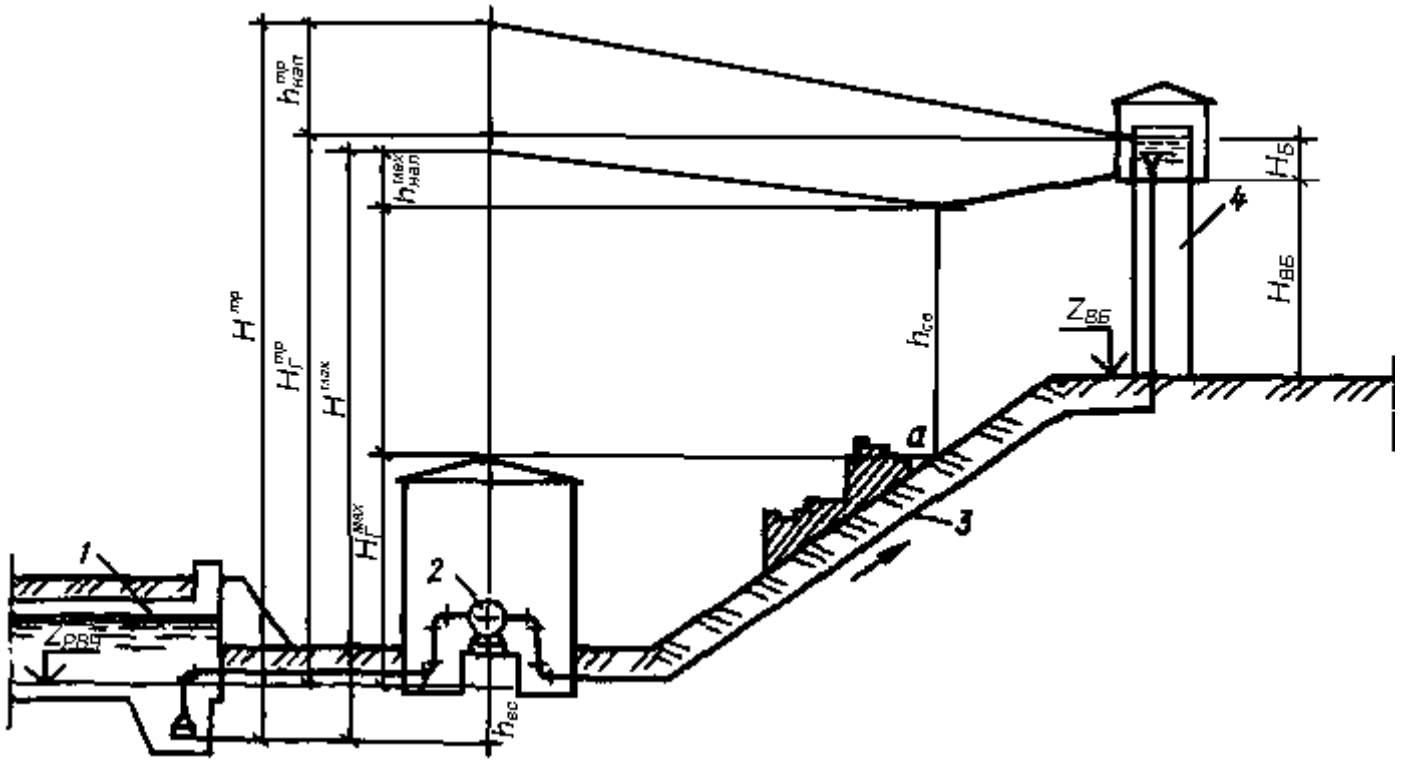

Рис. 2.5. Расчетная схема определения напора насосной станции второго подъема при расположении водонапорной башни в конце сети:
1 – резервуар чистой воды; 2 – насосы второго подъема; 3 – водоводы, водопроводная сеть; 4– водонапорная башня

Требуемый напор насосов второго подъема в безбашенной системе определяется по формуле:

$$H = П_C - Z_{РЧВ} + h_{вс} + h_{нап} = Z_C - Z_{РЧВ} + H_{свС} + h_{вс} + h_{нап},$$

где

$П_C$ – требуемая пьезометрическая отметка в точке примыкания напорных водоводов к сети, м;

$H_{свС}$ – требуемый свободный напор в точке примыкания водоводов к сети, м;

Z_C – отметка земли в точке примыкания водоводов к сети, м.

Канализационные насосные станции. Напор насосов (рис. 2.6) определяют по формуле:

$$H = H_Г + h_{вс} + h_{нап} + 1,$$

где

$Н_Г = Z_{ос} - Z_р$ – геометрическая высота подъема воды, равная разности отметок максимального уровня воды в приемной камере очистных сооружений $Z_{ос}$ (верхнем коллекторе) и минимального уровня воды в приемном резервуаре

$Z_р$, м. Ориентировочно принимают $Z_{ос}$ – на 1,5 – 2,0 м выше естественной площадки очистных сооружений, $Z_р$ – на 1,5 – 2,0 м ниже отметки лотка подводящего самотечного коллектора;

$h_{вс}$ – потери напора во всасывающих трубопроводах при расходах, соответствующих максимальной подаче насосной станции, м;

$h_{нап}$ – потери напора в напорных коммуникациях и в напорных водоводах при расходах, соответствующих максимальной подаче насосной станции, м;

1 – запас напора на истечение воды из трубопровода.

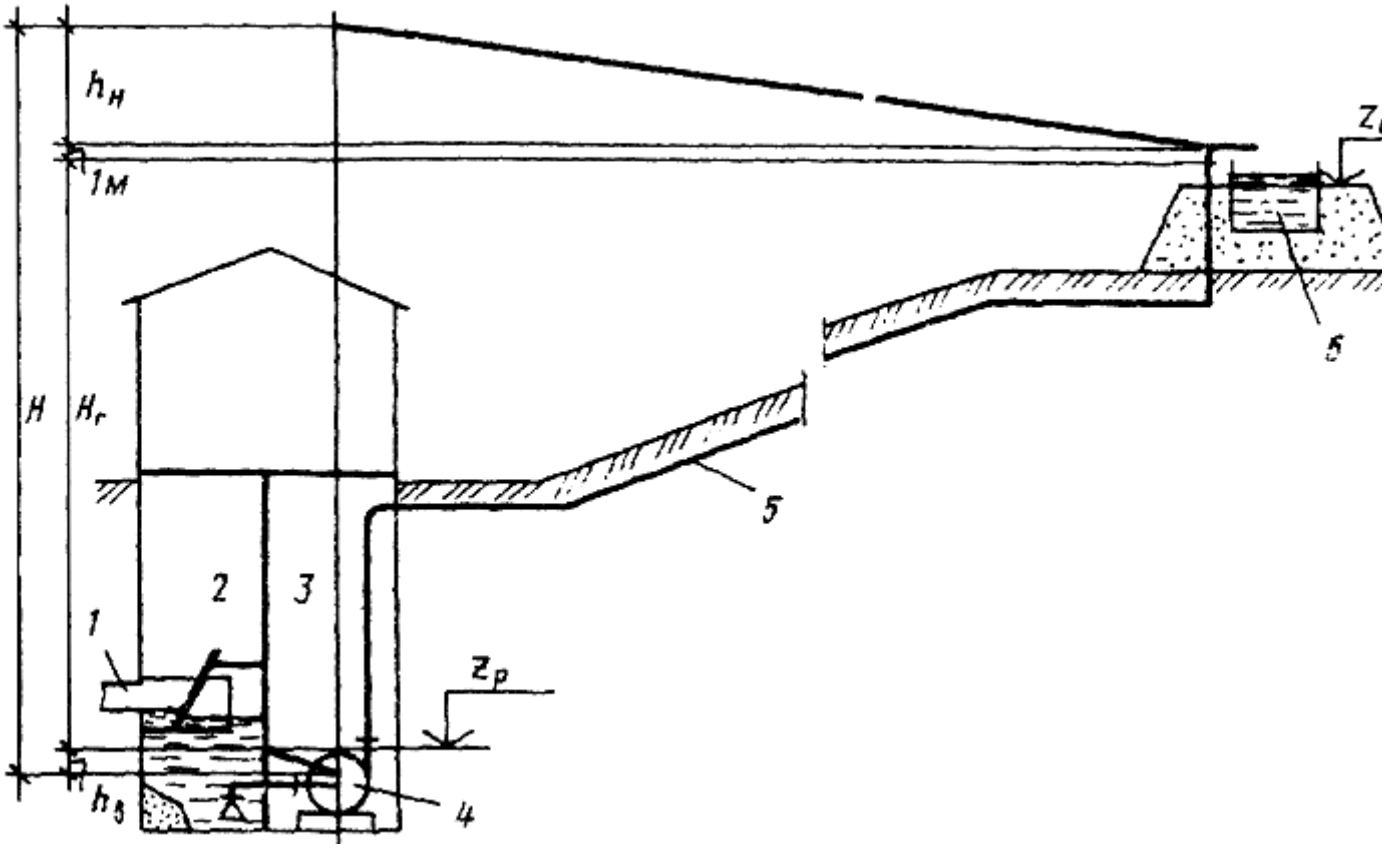

Рис. 2.6. Расчетная схема определения напора канализационной насосной станции: 1 – подводящий коллектор; 2 – приемный резервуар; 3 – машинный зал; 4 – насосный агрегат; 5 – напорные водоводы; 6 – приемная камера очистных сооружений

Выбор типоразмеров насосов. По вычисленным значениям Q и H насосов с помощью сводных полей Q – H для соответствующих типов насосов подбирают их типоразмеры.

На водопроводных насосных станциях применяют центробежные насосы (типы К, КМ, Д, В, ЦНС) диагональные и осевые.

На насосных станциях I подъема, как правило, заглубленных, рекомендуется применять вертикальные центробежные или осевые насосы, для которых требуется меньшая площадь здания. Однако эти насосы имеют весьма большую подачу, используют их только на крупных насосных станциях. На станциях малой и средней производительности в основном используют горизонтальные центробежные насосы и иногда скважинные насосы с

трансмиссионным валом, что позволяет значительно уменьшить строительные объемы зданий.

На насосных станциях II подъема в основном применяют центробежные горизонтальные насосы.

На канализационных насосных станциях устанавливают насосы типов СД и СДВ. В последнее время на канализационных насосных станциях используют погружные насосы, что позволяет уменьшить строительные объемы станций и улучшить условия эксплуатации.

2.6. Расчет всасывающих и напорных трубопроводов

Расчет всасывающих и напорных трубопроводов сводится к определению их диаметров и потерь напора.

Количество **всасывающих** трубопроводов зависит от типа и принципиальной схемы насосной станции, ее категории надежности, количества рабочих и резервных насосов. Выполняют их, как правило, из стальных труб.

В насосных станциях I подъема, совмещенных с водозаборными сооружениями, и в канализационных насосных станциях (совмещенных и разделенных) всасывающие линии устраивают отдельно для каждого насоса.

Обособленные всасывающие водоводы устраивают в насосных станциях I подъема раздельного типа и в насосных станциях II подъема при малых их длинах (до 50 м). В противном случае устраивают общие всасывающие водоводы – для насосных станций I и II категорий – не менее двух линий.

Диаметр труб всасывающих линий, арматуры и фасонных частей, устанавливаемых на них, определяют из скорости движения воды в них:

- при диаметре до 250 мм – 0,8 ÷ 1,0 м/с;
- от 300 до 800 мм – 1,0 ÷ 1,5 м/с;
- свыше 800 мм – 1,2 ÷ 2,0 м/с.

Диаметр труб напорных трубопроводов, фасонных частей и арматуры, устанавливаемой на них, принимают с учетом значений экономического фактора в следующих пределах

- при диаметре до 250 мм – 0,8 ÷ 2,0 м/с;
- от 250 до 800 мм – 1,0 ÷ 3,0 м/с;
- свыше 800 мм – 1,5 ÷ 4,0 м/с.

Потери напора во всасывающих и напорных коммуникациях и водоводах определяют как сумму потерь по длине h_l и местных сопротивлений $h_м$:

$$h = h_l + h_м$$

Предварительно величину потерь на местные сопротивления в наружных всасывающих и напорных водоводах можно принять в размере 10 % от потерь напора по длине.

Потери напора по длине могут быть определены по любой из формул гидравлики. Удобней всего использовать для этих целей таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб Ф.А. Шевелева. По ним можно определить диаметры всасывающих и напорных трубопроводов, соблюдая рекомендуемые скорости движения воды.

Потери напора в коммуникациях внутри насосной станции ориентировочно могут быть приняты:

• на всасывающей стороне – 1 ÷ 1,5 м;

• на напорной – 1,5 ÷ 2,0 м.

После подбора типоразмеров насосов и определения технологической части насосной станции уточняют расчет всасывающих и напорных коммуникаций. Еще одно уточнение (при необходимости) может быть сделано после определения действительных подач насосов, то есть после построения графиков совместной работы насосов и водоводов.

Местные сопротивления при назначении фасонных частей и запорно-регулирующей арматуры определяют по формуле:

$$h_м = \xi \frac{v^2}{2g},$$

где

$h_м$ – потери напора на местные сопротивления, м;

ξ – коэффициент местного сопротивления (определяется по справочникам для гидравлических расчетов);

v – скорость движения воды, м/с;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2.

2.7. Определение мощности приводного двигателя

Исходными данными для определения требуемой мощности электродвигателя является секундная подача Q, м^3/с, и напор Н, м. Подачу и напор принимают по режимной точке рабочей системы «насосы – водоводы – сеть» или «насосы – водоводы». По этой режимной точке определяется КПД насоса ($\eta_{нас}$).

Мощность насоса, кВт, определяется по формуле:

$$N_{нас} = 9{,}81\frac{QH}{\eta_{нас}}$$

Мощность приводного двигателя принимают больше мощности, потребляемой насосом, на случай перегрузок:

$$N_{нас} = 9{,}81\frac{QH}{\eta_{нас}\eta_{дв}}k,$$

где k – коэффициент запаса, зависящий от мощности насоса (k = 1,1 – 1,25).

По расчетной мощности подбирается серийный электродвигатель, отвечающий полученным параметрам.

2.8. Компоновка насосных агрегатов

Расположение насосных агрегатов и трубопроводов в здании насосной станции должно обеспечивать надежность действия основного и вспомогательного оборудования, а также удобство, простоту и безопасность его обслуживания, минимальные площадь и глубину машинного зала, максимальную простоту всасывающих коммуникаций с целью уменьшения потерь напора в них, возможность расширения насосной станции в перспективе.

Схема расположения насосных агрегатов в плане определяется спецификой конструкций выбранных насосов, в частности взаимным расположением всасывающего и напорного патрубков относительно друг друга и относительно оси вращения вала. На компоновку насосных агрегатов оказывает влияние также форма насосной станции в плане и расположение пола машинного зала относительно поверхности земли (заглубленная или незаглубленная насосная станция).

В насосных станциях прямоугольных в плане и незаглубленных и полузаглубленных (насосные станции I подъема раздельного типа и насосные станции II подъема) применяют **однорядную** (рис. 2.7, а – е) и **двухрядную** (рис. 2.7, ж, з) схемы компоновки насосных агрегатов.

Схемы ***а, б, в, ж, з*** применяют для насосов типа Д, причем в схемах ***ж*** и ***з*** с целью уменьшения площади машинного зала используется такая конструктивная особенность насосов типа Д, как возможность присоединения электродвигателя как с одной, так и с другой стороны.

Схемы ***г*** и ***д*** характерны при использовании горизонтальных насосов с осевым подводом воды (насосы типов К, КМ, СД).

Схему ***е*** применяют при установке в насосной станции вертикальных (типа В) или осевых насосов.

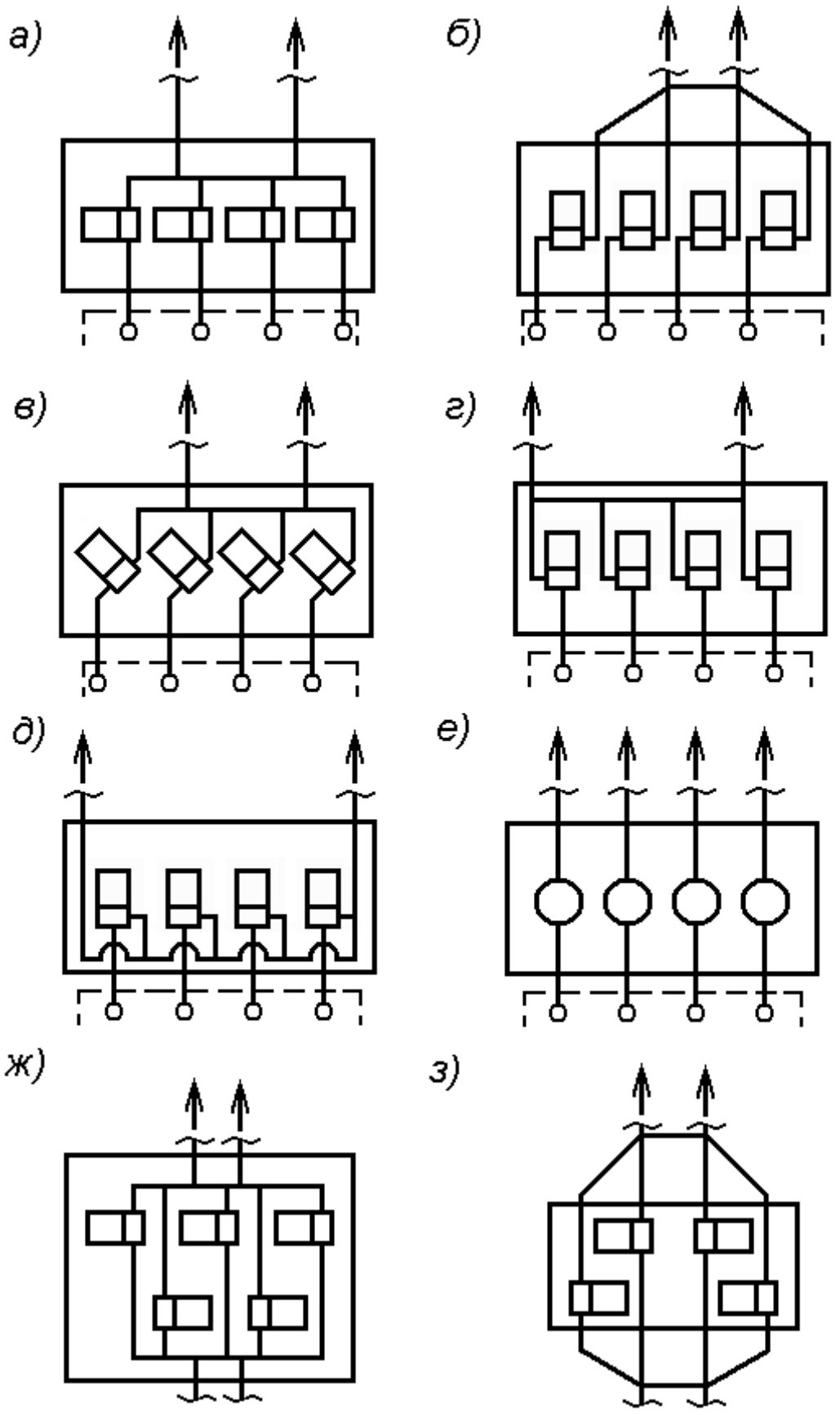

Рис. 2.7. Схемы компоновок насосных агрегатов в насосных станциях прямоугольной формы:
а…е – однорядные; ж, з – двухрядные

На рис. 2.8 представлены схемы компоновок насосов в насосных станциях круглых в плане и, как правило, заглубленных (насосные станции I подъема совмещенного типа (а – г) и канализационные (д, е).

По схемам ***а, в, г, д, е*** в насосных станциях устанавливают горизонтальные насосы типа Д, по схеме ***б*** – вертикальные типа В.

На канализационных насосных станциях с горизонтальными (рис.2.7д), так и с вертикальными (рис.2.8е) насосами преимущественное распространение получила однорядная схема. При использовании горизонтальных насосов их располагают таким образом, чтобы ось вращения вала была расположена перпендикулярно стенке, отделяющий приемный резервуар от машинного зала. Такая схема расположения насосов позволяет прокладывать прямолинейно всасывающие трубопроводы, что уменьшает число фасонных частей, а следовательно уменьшает гидравлическое сопротивление всасывающих водоводов. Кроме того, однорядное расположение насосных агрегатов обеспечивает более равномерные гидравлические условия работы насосов, а также упрощает применение подъемно-транспортного оборудования.

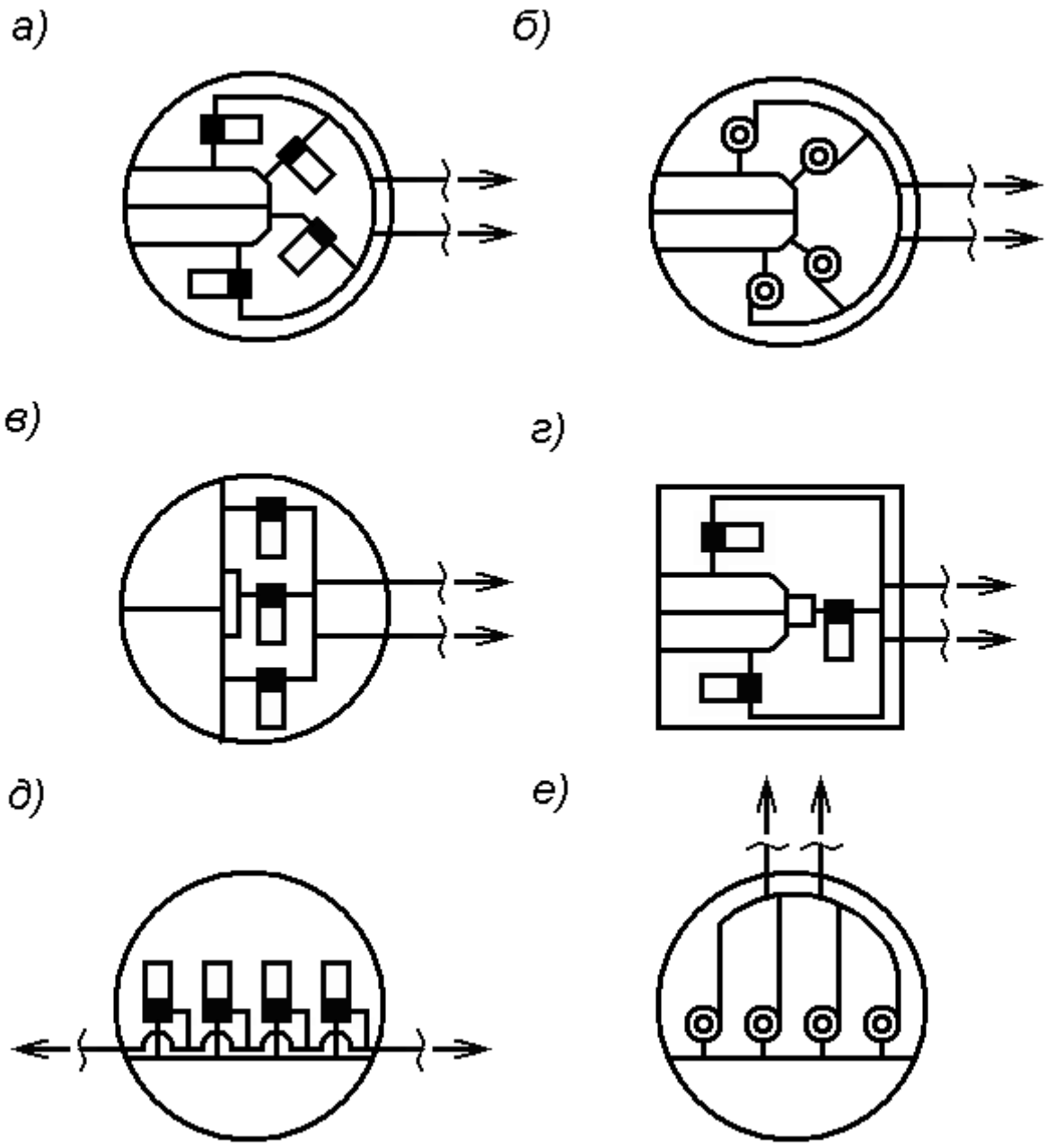

Рис. 2.8. Компоновка насосных агрегатов:
а…г – в насосных станциях 1-го подъема совмещенного типа; д, е – в канализационных насосных станциях

Всасывающие и напорные коллекторы – перемычки с запорной арматурой следует располагать в здании насосной станции, если это не вызывает увеличения пролета машинного зала. В противном случае коллекторы и задвижки на всасывающих и напорных водоводах устанавливают в камерах переключений, расположенных рядом с насосными станциями.

В машинных залах предусматривают монтажную площадку для насосных агрегатов. Она должна быть расположена таким образом, чтобы с помощью подъемно-транспортных механизмов любой насосный агрегат мог быть демонтирован и перемещен на данную площадку. Монтажную площадку обычно устраивают в торце здания на уровне поверхности земли. Размеры

площадки в плане определяются габаритами насосов, электродвигателей и транспортных средств, а также расстоянием максимального приближения крюка грузоподъемного механизма к боковым и торцовой стенам здания.

2.9. Всасывающие трубопроводы

Всасывающие трубопроводы являются одним из наиболее ответственных элементов насосной станции.

Для предотвращения возникновения кавитации, а также из-за ограничения величины допустимых потерь напора во всасывающей линии, всасывающий трубопровод должен быть минимальной длины и иметь минимальное число фасонных частей.

Основным требованием, предъявляемым к всасывающим трубопроводам центробежных насосов, является их воздухонепроницаемость, так как, по данным многочисленных опытов и наблюдений, попадание воздуха в межлопастные каналы рабочего колеса весьма отрицательно сказывается на его характеристиках. Даже небольшое (до 1% по объему) наличие нерастворимого воздуха уменьшает подачу насоса на 5 – 10 %, а при увеличении содержания воздуха до 10 – 15 % насос теряет всасывающую способность и происходит срыв его работы.

В связи с этим все стыки деталей трубопроводов выполняют герметичными. Наиболее предпочтительными являются сварные соединения. В случае применения болтовых соединений ко всем фланцам всасывающего трубопровода должен быть обеспечен доступ, с тем, чтобы можно было контролировать их состояние и систематически подтягивать болты.

Во избежание попадания воздуха во всасывающий трубопровод через свободную поверхность воды в водоприемном сооружении входные отверстия трубопровода заглубляют на 0,5 – 1,5 м ниже самого низкого уровня. Если нельзя обеспечить необходимое заглубление, следует установить на концах всасывающих труб экраны, предотвращающие образование воронок вокруг труб и попадание в них воздуха.

Для предотвращения образования во всасывающем трубопроводе воздушных мешков трубопровод прокладывают с подъемом в сторону насоса (уклон не менее 0,005), чтобы воздух, выделившейся из воды в зонах с пониженным давлением, мог свободно двигаться вместе с водой к насосу. По этой же причине при переходе с одного диаметра на другой на горизонтальных участках трубопровода применяют только «косые» переходы с горизонтальной верхней образующей.

На рис. 2.9 показаны примеры неправильного и правильного расположения всасывающего трубопровода и присоединения его к насосу.

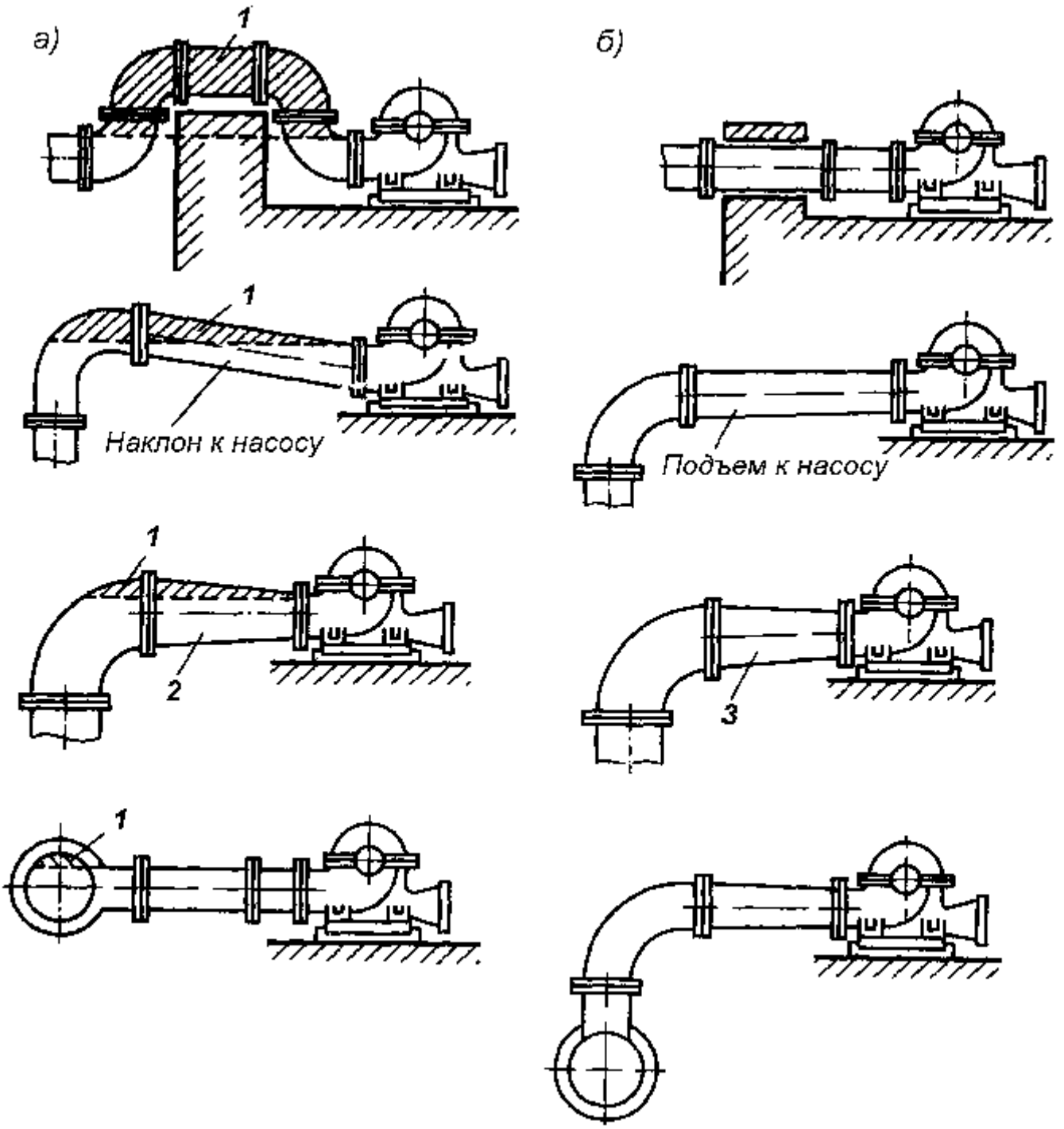

Рис. 2.9. Неправильное (а) и правильное (б) расположение всасывающих труб
1 – воздушный мешок; 2 – прямой переход; 3 – косой переход.

2.10. Определение отметки расположения оси горизонтальных насосов

В водопроводных насосных станциях I категории надежности и во всех канализационных насосных станциях насосы, как правило, устанавливают «под залив», то есть ниже уровня воды в нижнем бассейне. В водопроводных насосных станциях II и III категории допускается установка насосов выше

максимального уровня воды в нижнем бассейне. При этом должна быть предусмотрена система для заливки насосов перед их пуском.

В насосных станциях I подъема (рис. 2.10а) отметку оси насоса $Z_{он}$ определяют из условия установки корпуса насоса под минимальным уровнем воды в береговом колодце после сеток:

$$Z_{он} = Z_{МУВ} – a,$$

где $Z_{МУВ}$ – отметка минимального уровня воды в береговом колодце или сеточном отделении насосной станции I подъема после сеток, м;

а – расстояние от оси до верха корпуса насоса, м.

В совмещенных насосных станциях I подъема часто пол машинного зала и дна их сеточного отделения насосной станции по конструктивным соображениям располагают на одном уровне (рис. 2.10в), в таком случае отметка оси насоса определяется отметкой пола машинного зала $Z_{дн}$, высотой фундамента a_1 и расстоянием от низа лап насоса до его оси a_2:

$$Z_{он} = Z_{дн} + a_1 + a_2$$

В насосных станциях II подъема насосы устанавливают ниже уровня противопожарного запаса воды в резервуарах чистой воды:

$$Z_{он} = Z_{ПЗ} – a,$$

где $Z_{ПЗ}$ – отметка уровня пожарного запаса в резервуаре чистой воды, м;

а – расстояние от оси до верха корпуса насоса, м.

В канализационных насосных станциях отметку оси насоса определяют из условия размещения корпуса насоса под средним уровнем воды в приемном резервуаре (рис.2.10е):

$$Z_{он} = Z_{ПР} + H_{ПР}/2 – a,$$

где

$Z_{ПР}$ – отметка дна приемного резервуара, м;

$Н_{ПР}$ – рабочая глубина приемного резервуара, измеряется от дна резервуара до лотка подводящего коллектора, м.

Вычисленные отметки оси насосов должны быть проверены на обеспечение допустимой вакуумметрической высоты всасывания $Н_{вак}$ или допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{доп}$, приведенных в каталогах или паспортах насосов.

Для этого сравнивают максимальную геометрическую высоту всасывания насоса при максимальном расчетном уровне воды в нижнем бассейне (береговом колодце, резервуарах чистой воды, приемном резервуаре КНС) с максимально допустимой высотой всасывания.

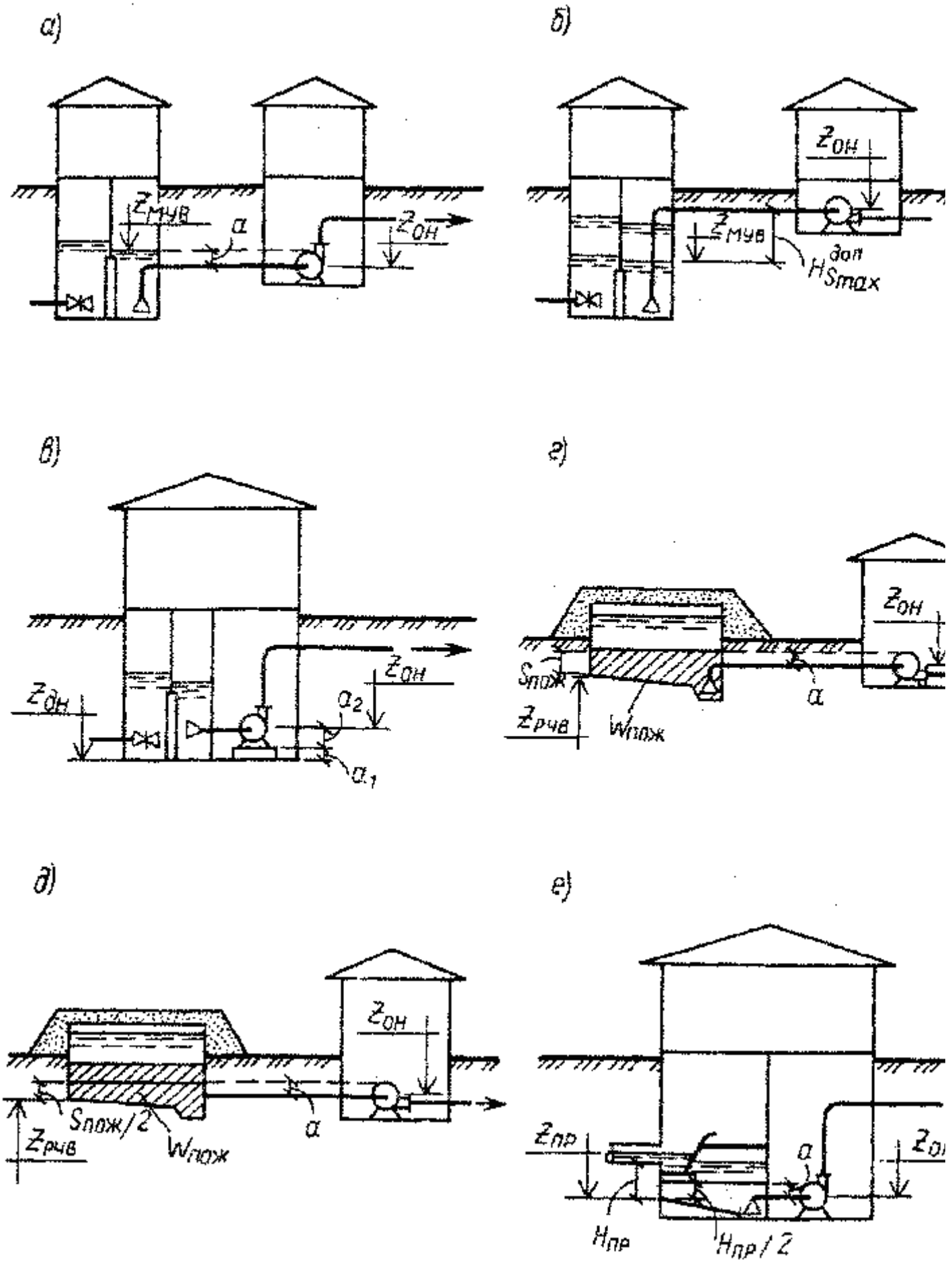

Рис. 2.10 Схемы к определению отметки расположения оси горизонтальных насосов:

а, б, в – насосные станции 1-го подъема; г, д – насосные станции 2-го подъема; е – канализационные насосные станции

Отметка верха фундаментов насосов (ВФ) определяется по формуле:

$$Z_{ВФ} = Z_{он} – a_2,$$

где a_2 – расстояние от оси насоса до лап насоса, м.

Отметка фундаментной плиты (пол нижнего строения) располагается ниже отметки фундамента насосов на 15 – 20 см.

Высота верхнего строения (наземной части насосной станции) в зданиях, оборудованных стандартными грузоподъемными механизмами, определяется (рис. 2.11) по формуле:

$$H_{верх.стр.} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0{,}5,$$

где

h_1 – высота монорельса кран – балки с учетом конструкции крепления его к перекрытию, м;

h_2 – минимальная высота от крюка до низа монорельса, м;

h_3 – высота строповки груза (принимается равной 0,5 – 1,0 м), м;

h_4 – высота груза, м;

0,5 – минимальная высота от груза до пола или установленного оборудования, м.

Если при транспортировании груза на монтажную площадку его необходимо проносить над установленным оборудованием (рис. 2.11б), то в формулу вводится дополнительно высота этого оборудования $h_{обор}$.

Если груз (насос, электродвигатель и т.д.) доставляется непосредственно на монтажную площадку насосной станции, то для возможности его погрузки и выгрузки высота верхнего строения должна быть увеличена на высоту от пола до грузовой платформы.

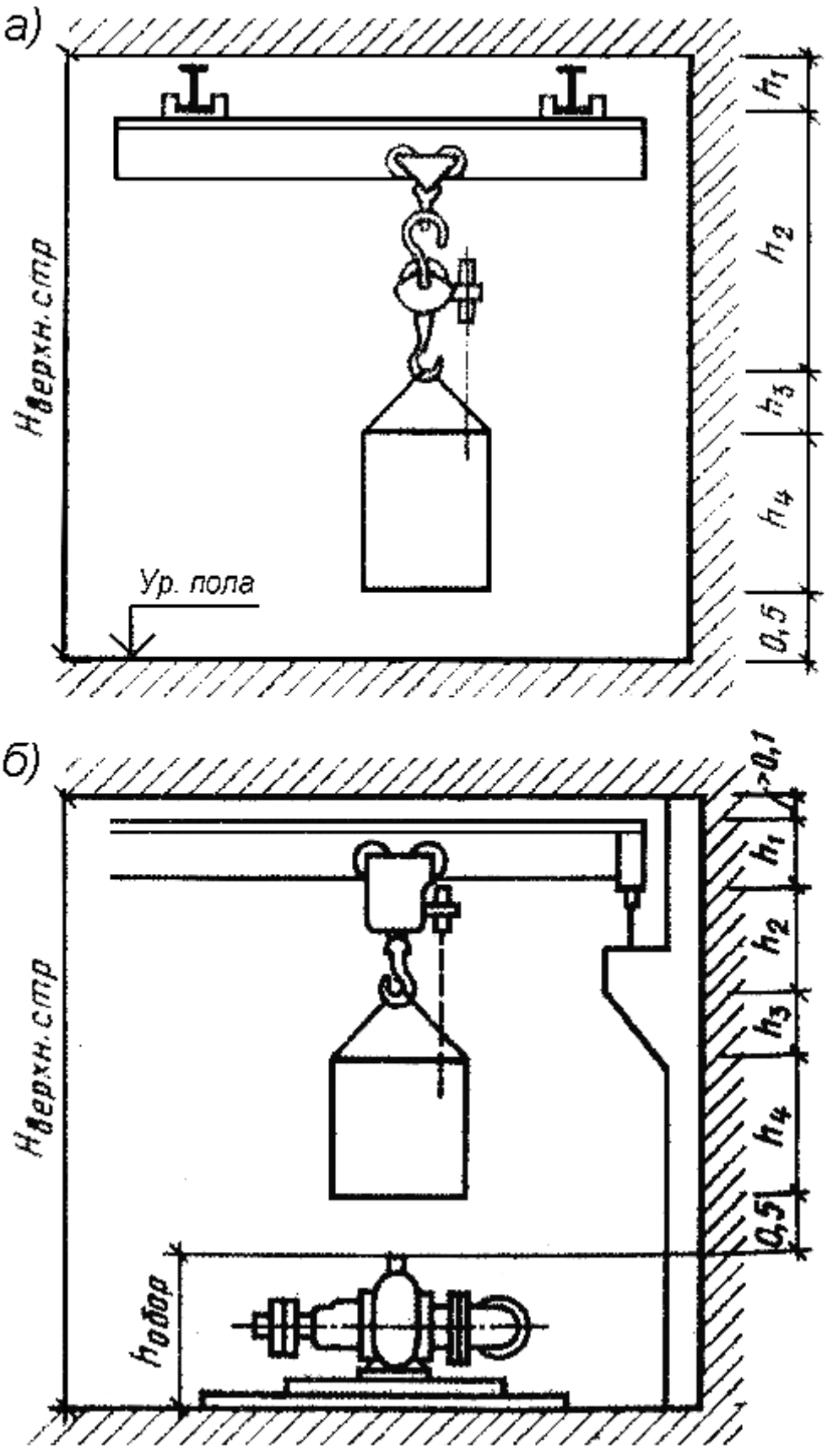

Рис. 2.11. Схема к расчету высоты наземной части насосной станции

2.11. Определение размеров машинного зала

Машинный зал насосной станции служит для размещения основного и вспомогательного оборудования, коммуникаций трубопроводов и создания нормальных условий для их эксплуатации.

Размеры машинного зала зависят в основном от типа и количества основного насосного оборудования.

Определение размеров машинного зала сводится к установлению ширины (пролета), высоты и длины машинного зала.

При этом следует учитывать следующие рекомендации.

1. В машинном зале применять однорядную компоновку основных агрегатов.

2. Пролеты зданий назначают равными 6, 9, 12, 15 … м при шаге колонн 3, 6, 12 м.

3. При компоновке вертикальных агрегатов электродвигатели устанавливать на незатопляемых отметках.

4. Подземную часть здания проектируют из монолитного железобетона; толщину стен и днища принимают равной 0,1 $H_{ст}$, где $H_{ст}$ – максимально возможный напор воды на конструкцию.

5. В здании должны быть обеспечены следующие минимально допустимые проходы:

- между горизонтальными насосными агрегатами или их фундаментами с электродвигателями напряжением: до 1000В – 1,0 м, свыше 1000В – 1,2 м;
- между стеной и горизонтальным насосным агрегатом в зависимости от напряжения электродвигателя соответственно – 1 – 1,2 м;
- между вертикальными агрегатами в зависимости от подачи насоса (2 – 10 $м^3/с$) соответственно – 1,5 – 2,5 м;
- от стены до фланцевого соединения 0,3 – 0,4 м;
- высота между проносимыми с помощью гибких строп грузов и оборудования – 0,5 – 0,7 м;
- между проносимым оборудованием и выступающими частями здания – 0,3 – 0,5 м;
- ширина служебных мостков – 0,8 м.

6. Верх фундамента под оборудование должен возвышаться над уровнем чистого пола не менее, чем на 0,1 м.

7. Превышение уровня чистого пола над уровнем пристанционной площадки равно 0,15 – 0,2 м.

2.12. Приемные резервуары канализационных насосных станций

В помещении приемного резервуара канализационной насосной станции сточная жидкость освобождается от части загрязнений с помощью решеток, устанавливаемых в подводящем канале.

Вместимость приемного резервуара выбирается по требованиям СНиП (минимальная вместимость приемного резервуара должна быть не менее 5-тиминутной подачи самого крупного из установленных насосов) по графику притока и откачки сточной жидкости и по конструктивным соображениям размещения насосного оборудования, безопасности и удобства его обслуживания.

Малая вместимость приемного резервуара уменьшает строительные объемы насосной станции, предотвращает выпадение осадка и его загнивания. Оптимальную вместимость приемного резервуара определяют на основании технико-экономических расчетов для каждого конкретного случая, где могут быть самые разнообразные сочетания технических и экономических факторов и условий.

Рабочая вместимость резервуаров отсчитывается от лотка подводящего коллектора. Размеры рабочей части приемного резервуара должны обеспечивать требуемую регулирующую вместимость с учетом стеснения ее конструкциями внутри резервуара, всасывающими линиями и другим оборудованием, расположенным в резервуаре (рис. 2.12).

Глубину рабочей части приемного резервуара следует принимать не менее 1,5 – 2,0 м для малых и средних станций и 2,5 м – в более крупных.

В приемных резервуарах насосных станций с подачей более 100 тыс.$м^3$/сут необходимо предусматривать два отделения без увеличения общего объема. Это обеспечивает возможность выполнять осмотр, очистку и ремонт приемного резервуара на ходу, то есть без полного отключения насосной станции.

Дно приемных резервуаров выполняют с уклоном не менее 0,01 в сторону приямка.

Перекрытие резервуаров устраивают на 0,5 м выше максимально допустимого уровня воды в канале. Максимальный уровень воды в резервуаре принимается равным отметке лотка подводящего коллектора. В перекрытии устраивают два смотровых люка для спуска в резервуар. Располагают их у стен резервуара в местах крепления ходовых скоб (лестниц).

Приемные резервуары оборудуют решетками, устройствами для взмучивания и смыва осадков, шиберными затворами, аварийными выпусками.

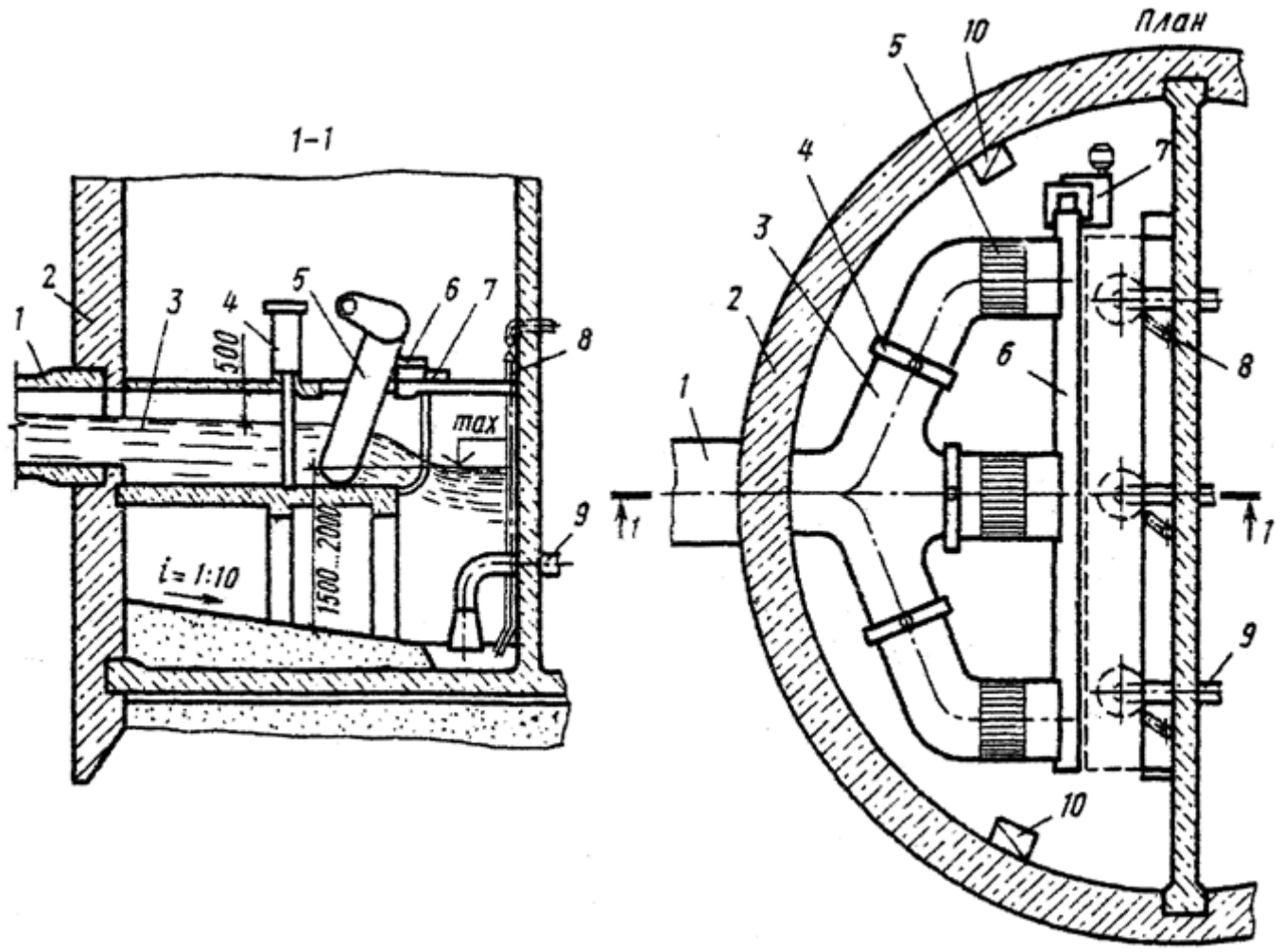

Рис. 2.12. Приемный резервуар:
1 – подводящий коллектор; 2 – опускной колодец; 3 – распределительный канал; 4 – шибер; 5 – механизированная решетка; 6 – транспортер; 7 – дробилка; 8 – трубопровод для взмучивания осадка; 9 – всасывающая труба насоса; 10 – смотровые люки

Ориентировочно размер (диаметр) насосной станции и вместимость типового приемного резервуара приведены в нижеследующей таблице.

Подача насосной станции Q, $м^3/ч$	Размер (диаметр) станции, м	Вместимость типового приемного резервуара W, $м^3$
380 – 2200	12	113
1800 – 3800	18	318
5400 – 10800	24	678

При установке на станции погружных насосов для перекачки сточных вод размеры насосной станции могут быть значительно уменьшены.

Толщина стен насосной станции принимается по расчету на опускание, всплытие и проточность может быть принята в зависимости от ее высоты.

2.13. Технико-экономические показатели работы насосной станции

Основными экономическими показателями работы насосной станции является коэффициент полезного действия и удельный расход электроэнергии.

КПД насосной станции называется отношение полезной энергии, передаваемой перекачиваемой жидкости, к полной энергии, потребляемой агрегатов.

$$\eta_{НС} = \frac{N_{пол.НС}}{N_{потр.НС}},$$

где

$N_{пол.НС}$ – полезная мощность станции, кВт;

$N_{потр.НС}$ – потребляемая мощность, кВт.

Формулы для определения КПД насосной станции в конкретных условиях работы имеют следующий вид:

• при равномерной в течение суток работе насосной станции с одинаковыми насосами ее КПД равен КПД одного насосного агрегата при совместной его работе с другими насосами:

$$\eta_{НС} = \eta_{НАС}\eta_{ДВ},$$

где

$\eta_{нас}$ – КПД насоса;

$\eta_{дв}$ – КПД двигателя;

• при равномерной в течение суток работе насосной станции с разнотипными насосами:

$$\eta_{НС} = \frac{Q_{НС}}{\sum_{i=1}^{n} Q_1\eta_1},$$

где

$Q_{нс}$ – общая подача насосной станции;

Q_1 – подача i-го насосного агрегата при его совместной работе с другими насосами:

$$(\sum_{i=1}^{n} Q_1 = Q_{НС}),$$

η_1 – КПД i-го насосного агрегата при его совместной работе с другими насосами;

• при двухступенчатом режиме работы насосной станции в течение суток ($t_1 + t_2 = 24$ ч) с двумя одинаковыми рабочими насосами, когда на I ступени работает один насос, а на II ступени – два насоса совместно:

$$\eta_{НС} = \frac{Q_1 H_1 t_1 + Q_2 H_2 t_2}{\frac{Q_1 H_1 t_1}{\eta_1} + \frac{Q_2 H_2 t_2}{\eta_{1+2}}},$$

где

Q_1, H_1, t_1 – соответственно подача, напор и продолжительность работы на I ступени;

Q_2, H_2, t_2 – соответственно подача, напор и продолжительность работы на II ступени;

η_1 – КПД одного работающего агрегата;

η_{1+2} – КПД одного насосного агрегата при его совместной работе с другим агрегатом;

При большем числе ступеней работы насосной станции и при большем количестве насосных агрегатов (одинаковых или разнотипных) в формулы добавляют соответствующие члены.

Теоретической **удельной нормой расхода электроэнергии** является расход электроэнергии кВт·ч на подачу 1000 т перекачиваемой жидкости на высоту 1 м при режиме работы насоса и электродвигателя с максимальным КПД:

$$N_{уд} = \frac{2{,}724}{\eta_{НС}}$$

Удельную норму расхода электроэнергии для насосного агрегата можно определить по формуле:

$$N_{уд} = \frac{2{,}724}{\eta_{НАС}\eta_{ДВ}}$$

Принимая паспортные значения $\eta_{нас}$ и $\eta_{дв}$ можно получить идеальную теоретическую норму расхода электроэнергии для насосного агрегата. Сравнение фактического удельного расхода электроэнергии в данных условиях работы агрегата с теоретической позволяет судить экономическом эффекте работы агрегата.