

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет водохозяйственного строительства и мелиорации, водоснабжения и водо-
отведения**

Кафедра комплексных систем водоснабжения

Л.В. Аракельян, В.В. Ванжа, В.Г. Гринь

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ УЗЛЫ МАШИННОГО
ВОДОПОДЪЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**КРАСНОДАР
2014**

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет водохозяйственного строительства и мелиорации, водоснабжения и водо-
отведения**

Кафедра комплексных систем водоснабжения

Л. В. Аракельян, В. В. Ванжа, В. Г. Гринь

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ УЗЛЫ МАШИННОГО
ВОДОПОДЪЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**КРАСНОДАР
2014**

УДК 628.12 (075.8)
ББК38.77
А79

Рецензенты:

А. А. Удалов - технический директор ОАО «Кубаньводпроект»
заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения,
Е. В. Кузнецов – д.т.н., профессор Кубанского ГАУ.

© Аракельян Л.В., Ванжа В.В., Гринь В.Г., 2014
© ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет, 2014

Аракельян Л.В.

А79 Гидротехнические узлы машинного водоподъема водоснабжения: учеб. пособие -/Л.
В. Аракельян, В. В. Ванжа, В. Г. Гринь Краснодар: КГАУ, 2014 – 254 с.

2-е издание переработанное

Учебное издание

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие детально рассматривает вопросы устройства и проектирования узлов машинного водоподъема из поверхностных и подземных источников для целей водоснабжения. Оно является вторым изданием, дополненным и переработанным, вышедшего в 2011 году в Кубанском государственном аграрном университете учебного пособия «Гидротехнические узлы машинного водоподъема водоснабжения при водозаборе из поверхностных источников» (авт. Л.В. Аракельян, В.В. Ванжа В. Г. Гринь). В процессе изучения дисциплин «Водозаборные сооружения поверхностных и подземных вод», «Насосные станции систем водоснабжения и водоотведения», «Машины и оборудование для природообустройства и водопользования».

Будущий специалист должен не только изучить назначение, классификацию, структуру, состав сооружений, их типы и конструктивные решения, схемы компоновки и взаимоувязки различных сооружений узла машинного водоподъема, но и изучить принципы и приемы их проектирования. В процессе проектирования обучаемый должен получить практические навыки проектирования узлов машинного водоподъема при водозаборе из поверхностных и подземных источников водоснабжения.

Предлагаемое учебное пособие включает объем теоретического материала, обобщает практические рекомендации по проектированию сооружений, содержит основные требования ГОСТ и СНиП в области природообустройства. Оно призвано организовать самостоятельную работу бакалавров и магистров (очной и заочной форм обучения) по направлению обучения 20.0302, 20.0402 – «Природообустройство и водопользование», помочь в выборе оптимальных инженерно-технических решений.

Методические рекомендации и приложения, предлагаемые в пособии, дополняют учебную, нормативную, справочную и другую техническую литературу, которой должны пользоваться бакалавры в процессе обучения и дальнейшей работы.

1 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

1.1 Общие положения и терминология

Водозаборные сооружения должны обеспечивать подачу воды потребителю в необходимом объеме и требуемого качества при всех расходах и уровнях водоисточника не меньше минимального расчетного.

Их следует проектировать так, чтобы подача воды была гарантирована при самых неблагоприятных условиях: гидрологических, геологических, ледовых и др., такие сооружения должны защищать систему водоснабжения от попадания в нее наносов, плавающего и влекомого мусора, водорослей, планктона, льда, биологических обрастателей и др., предотвращать попадание в водоприемник рыб и их травмирование.

Безупречная работа водозабора в значительной степени определяет надежность функционирования всей системы водоснабжения. Водозабор должен обеспечивать устойчивую подачу воды в систему в условиях осложненных уменьшением расходов и уровней водоисточника, образованием внутриводного льда и шуги, увеличением транспорта влекомых и взвешенных наносов, судоходством, лесосплавом, регулированием стока или связанным с работой ГЭС или выполнением ирригационного графика работы водохранилища.

Водозаборные сооружения хозяйственно-бытового назначения должны удовлетворять санитарным требованиям и место их расположения должно позволять организацию зон санитарной охраны, кроме того они должны быть практичными, устойчивыми, удобными в эксплуатации и экономичными.

Надежность забора воды заданного расхода и качества, как свидетельствует опыт эксплуатации водозаборных сооружений, зависит в первую очередь от природных условий выбранного участка водотока или водоема, а также от возможности их последующего изменения. Местные условия на прилегающих участках водотока или водоема обычно индивидуальны. Они формируются совокупностью сложных взаимно обусловленных топографических, геологических, метеорологических, гидрологических, гидроморфологических, гидротермических, гидробиологических и других факторов и процессов.

Раньше считали, что условия забора воды из водоемов более благоприятны, чем из естественных водотоков (рек). Водозаборные сооружения на водоемах проектировались и строились обычно по аналогии с речными. В расчетах дополнительно учитывались только элементы волн, ожидаемая переработка берега и прибрежного склона, колебания уровня воды и величины придонных скоростей. Исходя из условий волнового воздействия водозаборные сооружения размещают преимущественно на укрытых от интенсивного волнения акваториях – в бухтах, заливах, за выступающими в водоем берегами и т. п. Такой подход является причиной захвата в водоприемные устройства воды с повышенным содержанием наносов, мусора, шуги и льда, их завала

продуктами переработки берегов и прибрежных склонов, что вызывает необходимость переустройства водозаборных сооружений.

Обобщение опыта эксплуатации водозаборных сооружений на водоемах показало, что условия забора воды из водотоков и водоемов принципиально различны. В отличие от водотоков в прибрежной зоне водоемов одновременно с волнением появляются сосредоточенные вдольбереговые, инерционные, градиентные и другие разновидности течений. Вследствие взаимодействия с сопутствующими факторами и процессами эти течения обычно транспортируют массы воды с повышенным содержанием наносов, водорослей, мусора, что и является причиной упомянутых последствий.

При проектировании водозаборных сооружений мы будем пользоваться ниже следующей общепринятой терминологией:

- *источник водоснабжения* - водоток или водоем, используемый для водоснабжения.

- *забор воды* - процесс отбора воды из источника водоснабжения

- *место водоотбора* - участок источника водоснабжения, в пределах которого забираемая водоприемником вода оказывает влияние на перемещение наносов, мусора, шугольда, планктона, а также на направление течений, возбуждаемых другими факторами

- *местные условия источника водоснабжения* - совокупность топографических, геологических, метеорологических, гидрологических, гидроморфологических, гидротермических, гидробиологических и других факторов выбранного или заданного участка источника.

- *плотностная стратификация* - изменение плотности воды по глубине водотока или водоема. Она может возникнуть за счет перепада температур или солености воды между поверхностным и придонным слоями, а также за счет поступления масс воды с повышенным содержанием наносов.

- *селективный водоотбор* - послойный забор воды из источника за счет разности ее плотности в придонном и поверхностном слоях.

- *критическое положение поверхности раздела* - предельное положение поверхности раздела, при котором в водоприемник не забирается вода из верхнего слоя.

- *водозаборные сооружения (водозабор)* - комплекс гидротехнических сооружений, обеспечивающих забор воды из источника, ее предварительную очистку и подачу водопотребителям с требуемыми расходом и напором.

- *водоприемник (водоприемное устройство)* - сооружение, с помощью которого осуществляются забор воды из водотока или водоема и ее предварительная очистка от мусора и т. д.

- *глубинный водоотбор* - процесс отбора воды из нижних слоев источника водоснабжения.

- *прибойная зона* - прибрежная полоса водоема, в пределах которой происходит разрушение волн.

1.2 Классификация водозаборных сооружений

Водозаборные сооружения могут классифицироваться по следующим признакам:

по виду водоисточника – речные, озерные, водохранилищные, из каналов, морские;

по назначению – хозяйственно-питьевые, технические;

по производительности – малые (расход меньше $1 \text{ м}^3/\text{с}$), средние (расход $1 \dots 6 \text{ м}^3/\text{с}$), большие (расход свыше $6 \text{ м}^3/\text{с}$);

по характеру компоновки основных элементов водозабора – совмещенные и отдельные;

по степени стационарности – стационарные и нестационарные (плавающие, передвижные, фуникулерные).

по месту расположения водоприемника – береговые, русловые, приплотинные и др;

Различают также водозаборные сооружения на реках по наличию в их составе регулирующих или подпорных сооружений, служащих для регулирования стока или увеличения глубин воды у водоприемника – бесплотинные, приплотинные и др. Кроме того применяют водозаборы с подводными каналами и водоприемными ковшами.

По требуемой категории надежности подачи воды водозаборные сооружения разделяют на три категории. К 1-й категории относятся хозяйственно-питьевые водопроводы в населенных пунктах с числом жителей свыше 50 тыс. человек; ко 2-й – водопроводы в населенных пунктах с числом жителей до 50 тыс. человек и групповые сельскохозяйственные водопроводы; к 3-й – водопроводы в населенных пунктах с числом жителей до 5 тыс. человек.

1.3 Требования, предъявляемые к источнику водоснабжения

Выбор источника водоснабжения осуществляется на основе геодезических, геологических, гидрогеологических, гидрологических, гидротермических, ихтиологических, гидрохимических, гидробиологических инженерных изысканий, санитарных и других исследований, а также технико-экономических расчетов.

Источник водоснабжения должен удовлетворять следующим требованиям:

обеспечивать отбор воды необходимого количества с учетом роста водопотребления на перспективу;

обеспечивать бесперебойное снабжение водой потребителей;

иметь воду такого качества, которое в наибольшей степени отвечает нуждам потребителей или позволяет достичь его путем экономически оправданной очистки;

обладать объемом, позволяющим производить забор воды из него без нарушения сложившейся экологической системы;

обеспечить возможность подачи воды потребителю с наименьшей затратой средств.

Выбор источника водоснабжения по нескольким вариантам должен производиться на основании тщательного изучения и анализа перспективного использования водных ресурсов района, в котором он расположен.

При оценке использования водных ресурсов следует учитывать:

расходный режим, водохозяйственный баланс и устойчивость ложа водотока, поймы или берегов с прогнозом на 15 – 20 лет;

требования к качеству воды, предъявляемые потребителями;

качественную характеристику воды в источнике с прогнозом возможного ее изменения;

качественные и количественные характеристики мутности, водной растительности, планктона, биообрастателей и сора, их режимы и перемещение донных отложений;

наличие вечномёрзлых грунтов, возможность промерзания и пересыхание источника, наличие снежных лавин и селевых явлений, а также других стихийных явлений в водосборном бассейне источника;

шуголедовые явления в источнике в осенне-зимний период;

температуру воды по периодам года и ее стратификацию;

характерные особенности весеннего половодья и прохождения паводков;

требования органов по регулированию использования и охране вод, санитарного надзора, охраны рыбных запасов и др.;

возможность организации зон санитарной охраны при необходимости забора воды на хозяйственно-питьевые нужды;

техничко-экономическую оценку условий комплексного использования вод различных источников рассматриваемого района.

При оценке достаточности водных ресурсов источника следует учитывать обеспечение гарантированного расхода воды после ее забора.

В случае недостаточности водных ресурсов источника следует предусматривать регулирование естественного стока воды в пределах одного года (сезонное регулирование) или многолетнее регулирование, а также возможность переброски воды из других более многоводных источников.

Во всех системах водоснабжения необходимо предусматривать мероприятия для предотвращения механического, биологического и минералогического загрязнений воды, отбираемой водоприемниками, при последующем ее транспортировании по каналам и водоводам.

При отборе воды из источников, имеющих рыбохозяйственное значение, следует предусматривать рыбозащитные устройства.

1.4 Условия отбора воды из рек

Надежность забора воды водозаборными сооружениями, определяется в первую очередь совокупностью топографических, геологических, гидроло-

гических, гидроморфологических, гидротермических и других факторов и процессов или местных условий избранного участка водотока.

Местные условия избранного участка водотока могут изменяться вследствие:

- последующей деформации ложа и берегов водотока или его меандрирования;
- неоправданного или необоснованного размещения и компоновки конструктивных элементов водозабора в зоне затопления;
- изъятия или свала в водоток твердого стока в процессе дноуглубительных работ;
- строительства прочих инженерных сооружений (мостовые переходы, порты, лесотоварные биржи и т.д.) в значительной удаленности от створа водозабора;
- сброса в водоток более теплой или загрязненной воды на вышерасположенном участке, а также других факторов.

По категории надежности водоподдачи определяют расчетную обеспеченность суточных расходов и уровней воды в водоисточнике (таблица 1).

Класс капитальности водоподъемных и водохранилищных плотин, входящих в состав водозаборного узла, следует принимать в соответствии с (таблица 2).

Схема водозабора и тип водоприемных устройств принимаются в зависимости от требуемой категории обеспеченности подачи воды и сложности природных условий ее забора.

Таблица 1 - Расчетная обеспеченность суточных расходов и уровней воды в открытых источниках

Категория надежности подачи воды	Расчетная обеспеченность, %		
	максимальных уровней	минимальных	
		расходов	уровней
I	1	95	97
II	2	90	95
III	3	85	90

Водозаборные сооружения должны быть простыми по конструкции, удобными для эксплуатации и дешевыми. При установлении их экономичности следует учитывать также затраты, которые могут возникнуть при непредвиденных нарушениях работы водозабора.

Таблица 2 - Класс капитальности сооружений

Категория надежности подачи воды	Класс капитальности сооружений
I	II
II	III
III	IV

1.5 Выбор места водоприемника

При выборе места для устройства водоприемника необходимо руководствоваться следующими соображениями:

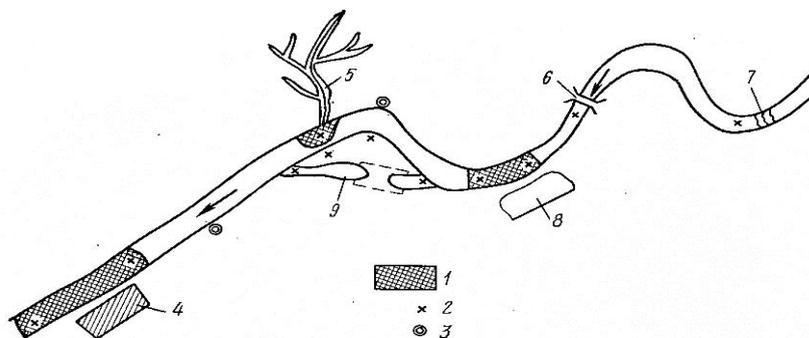


Рисунок 1 – Схема выбора местоположения водоприемника

зона загрязнения; 2 – устройство водоприемника в этом месте нецелесообразно; 3 – устройство водоприемника при прочих благоприятных условиях возможно; 4 – населенный пункт; 5 – приток или овраг; 6 – мост; 7 – пороги и быстрины; 8 – свалки или какой – либо очаг загрязнения; 9 – староречье.

- обследовать на достаточной длине участок реки и отметить все очаги возможного ее загрязнения. Установить их влияние на качество воды в реке и примерные границы распространения загрязнений. Водоприемник должен быть размещен вне зоны загрязнения.

- не размещать водоприемник у устья притоков, так как возможно загрязнение воды и закупорка водоприемника наносами, (рисунок 1).

- не располагать водоприемники в староречье, заводях и других подобных местах, так как качество воды в них хуже, чем в главном течении, они обычно постепенно заносятся наносами.

- не устраивать водоприемники ниже порожистых мест, долго не замерзающих быстрин, мостов с русловыми быками, так как обычно поверхность реки вблизи таких участков долго не покрывается льдом, что способствует интенсивному образованию внутриводного льда, закупоривающего водоприемные отверстия.

- водоприемники, в зависимости от качества воды, устраивают на берегу или в русле. Береговые в большинстве случаев дешевле и удобнее в эксплуатации. Поэтому в русле водоприемники располагают только в тех случаях, когда качество воды у берега значительно хуже, чем в русле.

- при выборе берега учитывать общий режим реки. Если река не размывает берегов, скорость движения воды в ней сравнительно невелика и наносов нет, то водоприемник можно устраивать у любого берега (вогнутого,

выпуклого, прямого). Если берега размываются, река моет вогнутые берега и откладывает наносы на выпуклых, то на выпуклом берегу водоприемник будет быстро занесен наносами. Следовательно, его лучше располагать на вогнутом, укрепленном от размыва берегу;

- избегать мест с неблагоприятным для устройства водозабора и насосной станции геологическим строением (оползни, болотистые и вообще неустойчивые грунты).

- желательно иметь в месте водозабора минимальную глубину воды в реке 2...3 м, но возможен забор и при меньшей глубине.

- учитывать возможные изменения условий движения воды в реке вследствие устройства водоприемника (например, если водоприемник сопрягается с берегом затопляемой или незатопляемой дамбой, она может отклонить течение реки к противоположному берегу)

- при всех прочих одинаковых условиях выбирать место для водозабора, ближайшее к водопотребителю.

1.6 Общая технологическая схема водозаборов

Общая схема водозаборов систем водоснабжения имеет две характерные компоновки - совмещенная и раздельная, отличающиеся расположением насосной станции относительно других сооружений и два характерных типа - береговой и русловой, различающихся между собой расположением места забора воды относительно берега.

Схема *раздельного* водозабора *руслового* типа (рисунок 2а) независимо от вида водоема включает: 1) водоприемник; 2) самотечные или сифонные трубы; 3) сеточный береговой колодец; 4) насосную станцию I подъема;

5) камеры переключений и предохранительных приборов. Эту схему часто применяют для водозаборов малой производительности.

Схема *раздельного* водозабора *берегового* типа (рисунок 3) отличается размещением водоприемника на берегу, совмещением его с сеточным береговым колодцем, который в этом случае называется береговым водоприемно-сеточным колодцем, и отсутствием самотечных линий. Эта схема применяется при достаточных глубинах вблизи берега.

При достаточно крутом береговом откосе водозаборные сооружения устраивают берегового типа с раздельной или совмещенной компоновкой. Водоприемники при таких водозаборах размещают в береговых откосах с обеспечением постоянного эксплуатационного обслуживания водоприемных окон в любое время года.

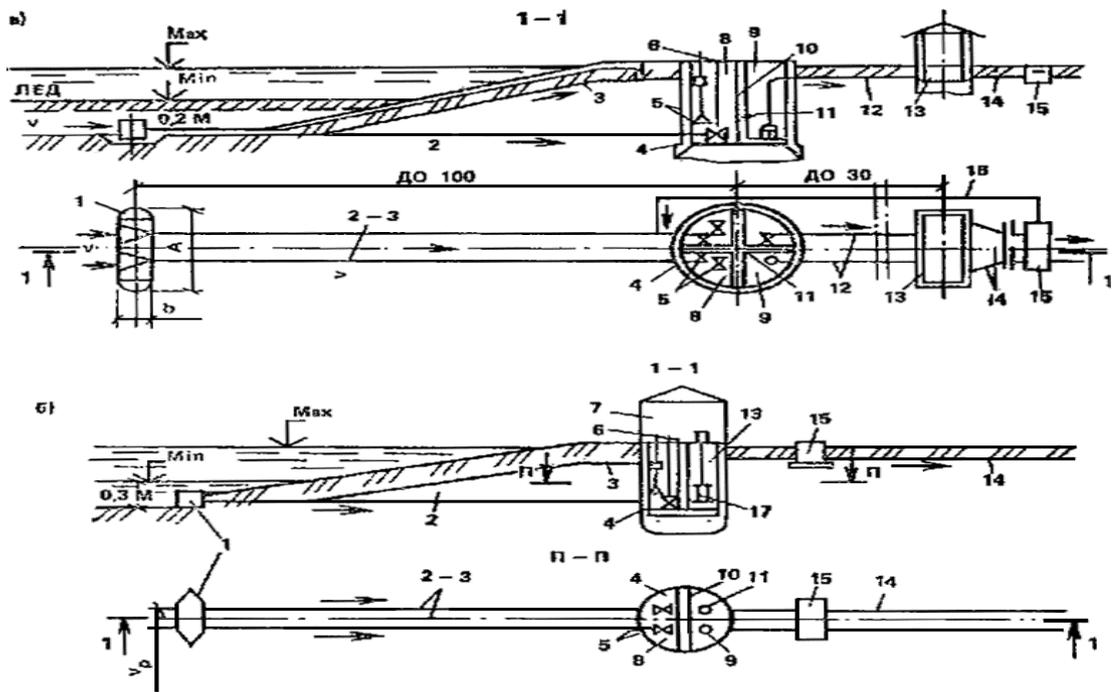


Рисунок 2 – Принципиальные схемы речных русловых водозаборов с береговым колодцем и русловым водоприемником

1 – оголовок; 2 – самотечный водовод; 3 – сифонный водовод; 4 – водоприемный берего-сетчатый колодец; 5 – задвижки; 6 – колонки управления задвижками; 7 – надземный павильон берегового водоприемного колодца; 8 – водоприемное отделение берегового колодца; 9 – всасывающее отделение берегового колодца; 10 – разделительная стенка колодца; 11 – плоская съемная сороудерживающая сетка; 12 – всасывающий трубопровод; 13 – насосная станция первого подъема; 14 – напорный водоводы; 15 – камера переключения; 16 – промывочный трубопровод; 17 – вертикальные насосы.

Раздельной а компоновки; б – совмещенной компоновки;

При раздельной компоновке насосную станцию первого подъема устраивают отдельно от берегового водоприемного колодца и подача воды к насосам осуществляют через всасывающие водоводы. Вода из реки поступает в водоприемные входные окна водоприемника, которые располагаются в передней стенке водоприемного колодца, как правило, в несколько ярусов по высоте. Ярусное расположение водоприемных отверстий обеспечивает отбор воды лучшего качества в зависимости от уровневого режима водотока.

Водоприемные отверстия оборудуют пазовыми конструкциями, в которые в зависимости от гидрологической и ихтиологической обстановки на водотоке могут опускаться: сороудерживающие решетки, рыбозащитные пакеты, решетки-реостаты.

Дополнительно для защиты водоприемных отверстий от плавающих мусора, щепы, шуги, а также для отвода рыбной молоди из зоны водоотбора перед водоприемником могут устанавливаться запани различных конструкций или устраиваться пневмозавесы.

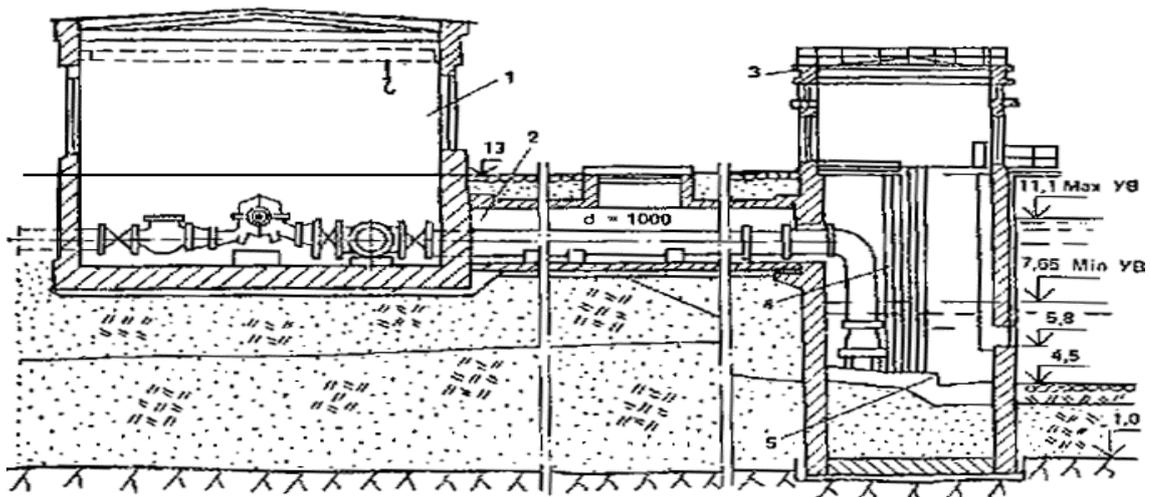


Рисунок 3 – Водозаборные сооружения берегового раздельного типа
 1 – насосная станция; 2 – галерея всасывающих водоводов; 3 – водоприемник; 4 – сороудерживающие плоские сетки; 5 – эжектор.

С внутренней стороны водоприемные отверстия оборудуют укороченными задвижками, клапанами или щитами, позволяющими в любое время полностью или частично перейти в заборе воды с одного яруса на другой.

Внутри берегового водоприемного колодца находятся сороудерживающие сетки (плоские съемные или вращающиеся), обеспечивающие более полную очистку воды от сора и разделяющие колодец на два отделения: водоприемное (перед сеткой) и всасывающее (за сеткой).

Для предотвращения заиливания водоприемно-сетчатый колодец должен быть оборудован илоудаляющими устройствами: эжекторами, всасывающими водоводами грязевых насосов, специальными приемками, а при больших расходах - взмучивающими водоводами. Водоприемный колодец делают в основном из железобетона прямоугольным или круглым в плане в зависимости от места его расположения на берегу и способа возведения, а в водотоке также он может быть овальной формы или состоящим из двух полуокружностей с прямыми вставками, когда размещение водоприемных отверстий требует значительной площади. Для обеспечения бесперебойной работы, \ периодической очистки и ремонта без прекращения подачи воды водоприемный колодец должен быть разделен продольными перегородками на несколько (не менее двух) параллельно работающих секций.

Размеры и площадь водоприемных отверстий колодца определяются исходя из допустимых скоростей по условиям рыбозащиты, защиты от шуголедовых помех и допустимых гидравлических сопротивлений. Размеры берегового водоприемного колодца в плане определяются габаритами водоприемных отверстий и сеток, числом и диаметром всасывающих водоводов.

Размеры водоприемников, совмещенных с насосной станцией, зависят от числа и типа установленных насосов. Высота водозабора зависит от амплитуды колебания уровней воды в реке, толщины ледового покрова и грунтовых условий.

Предпочтение следует отдавать схемам *руслового* и *берегового совмещенного* водозабора, т. е. совмещению берегового сетчатого колодца и насосной станции в одном сооружении. Эти схемы применяют для водозаборов средней и большой производительности (рисунок 4).

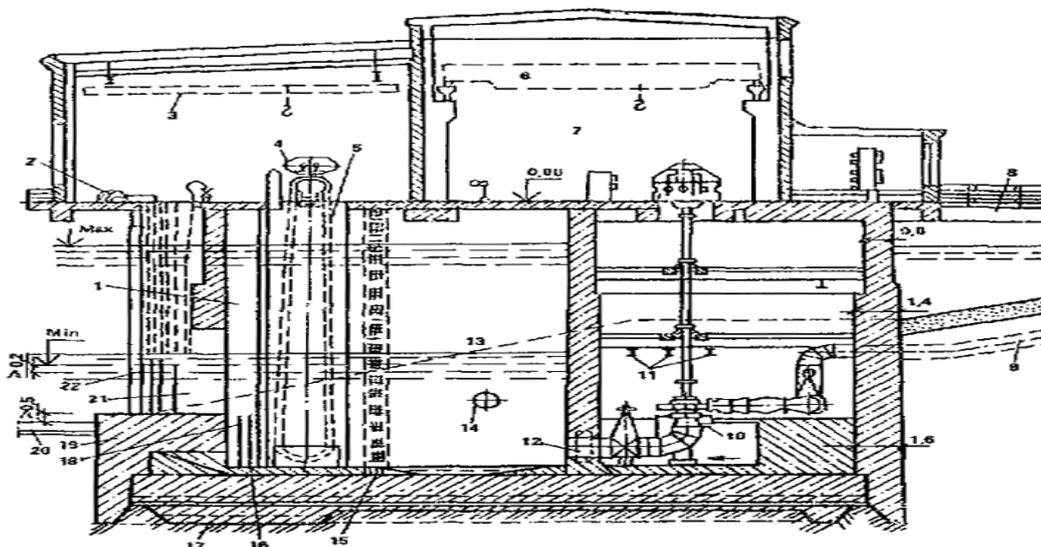


Рисунок 4 – Береговой водозабор совмещенной компоновки

1 – водоприемное отделение берегового сетчатого колодца; 2 – механизм подъема промывного устройства рыбозаградительной сетки; 3 – кран-балка; 4 – привод в промывное устройство вращающейся сорорудерживающей сетки; 5 – вращающаяся сорорудерживающая сетка; 6 – мостовой кран; 7 – насосная станция первого подъема; 8 – соединительный мостик; 9 – напорный трубопровод; 10 – насос; 11 – монорельс; 12 – всасывающий трубопровод; 13 – всасывающее отделение берегового сетчатого колодца; 14 – перепускной патрубков; 15 – лестница-стремянка с ограждением; 16 – перфорированная труба для взмучивания осадка; 17 – зумпф строительный; 18 – всасывающая труба грязевого насоса; 19 – рыбозаградительная сетка; 20 – каменная наброска крепления дна реки; 21 – водоприемные окна; 22 – промывное устройство рыбозаградительной сетки.

В схемах должно предусматриваться секционирование водозабора, создающее необходимую маневренность для обеспечения бесперебойности водоподачи.

Число независимо работающих секций для всех водозаборов постоянного типа I и II категории надежности водоподачи не должно быть меньше двух.

Секционирование обязательно для водоприемников, самотечных линий и сетчатых колодцев и не обязательно для водозаборов временного типа.

В зависимости от природных условий, в которых находится створ сооружений, один и тот же водоприемник может иметь разную степень надежности забора воды.

В средних условиях при выборе технологической схемы отдается предпочтение водоприемникам, отверстия которых либо хорошо защищены от воздействия неблагоприятных, природных факторов (например, в ковшах), либо легкодоступны для обслуживания в любое время (в береговых водоприемниках).

У затопленных русловых водоприемников, практически недоступных для обслуживания в периоды шуго- и ледохода, могут быть кратковременные перерывы в заборе воды или его снижения. В легких природных условиях эти водоприемники, могут быть отнесены к I степени надежности забора воды, в средних условиях – ко II степени.

В тяжелых природных условиях надежность забора воды и у береговых водоприемников снижается до – II степени.

В тяжелых условиях для создания водозаборов – I категории надежности, водозаборные сооружений, расчлняют на два узла, устраиваемые на разных водоемах или в разных местах и створах водоема.

Производительность каждого такого узла, в зависимости, от местных условий и особенностей водопотребителя устанавливается от 50 до 75% потребной производительности водозабора. Для повышения эффекта от расчленения водозабора на каждом водозаборном узле применяют разные способы забора воды. Возможны и такие сочетания природных условий, при которых расчлняют лишь водоприемные устройства (комбинированный водозабор).

Основными факторами, влияющими на выбор типа и конструктивной схемы водозаборных сооружений, являются:

- гидрологические характеристики источника водоснабжения в естественном его состоянии: скорости, расходы, глубины и колебания уровней воды, наличие наносов, ледовый режим;
- топография русла и берегов - плановое очертание, извилистость русла, высота берегов, удаленность от потребителя;
- геология русла и берега в районе водозабора (влияют на выбор схемы ввиду необходимости выбора основания под сооружения, определения степени размываемости русла и установления мероприятий для защиты водозабора от наносов);
- система водоснабжения предприятия (прямоточная, обратная и пр.);
- потребление и качество воды;
- категория водозабора по надежности подачи воды;
- особенности местных условий строительства сооружений;
- требуемый расход воды и намечаемое увеличение производительности водозабора;
- экономические соображения;

ихтиологическая обстановка в месте расположения водозабора: видовой состав рыб, время нереста и ската рыбной молоди.

Необходимая надежность от завала наносами подходов к береговому водозабору может быть достигнута выполнением водозабора со смешанным или комбинированным приемом воды, когда одновременно устраиваются береговой и русловой водоприемники.

Существенным упрощением технологической схемы является широко применяемое совмещение колодца и насосной станции в одном сооружении. Подобное совмещение необходимо в случаях применения насосов с малой высотой всасывания, значительной амплитудой колебания уровней воды в

реке (большей 10 м), повышенных требований к бесперебойности работы насосной станции I подъема, удовлетворяемых установкой насосов «под залив». В других условиях более приемлемой может оказаться отдельная компоновка водозабора.

На реках, где глубины в зимний период очень малы, применяют подрусовые водоприемники - инфильтрационные и фильтрующие. При этом для исключения перемерзания самотечные водоводы в береговой зоне вечномерзлых грунтов укладывают в утепляемых штольнях.

На водотоках, где осуществляется сплав леса плотами, русловые затопленные водоприемники делают массивными, с плавными внешними формами.

При неблагоприятных условиях забора воды, не поддающихся улучшению в результате проведения приемлемых по стоимости мероприятий или при специальных требованиях водозаборные сооружения устраивают либо с водоприемниками двух типов, либо разделенными на два узла, которые располагают на разных водотоках или в разных местах и створах. Производительность каждого из таких водозаборных узлов в зависимости от местных природных условий и особенностей водопотребителя назначают в пределах 50-100 %-ной полной производительности водозабора.

1.7 Оборудование водозаборов

В состав оборудования водозабора входят:

- решетки, защищающие приемные отверстия от попадания в них сора и плавающих предметов;
- рыбозаградительные фильтры и сетки с промывными устройствами, сетка для процеживания воды;
- подъемные, транспортные и промывные устройства для подъема и промывания сеток;
- насосы или эжекторы для очистки береговых колодцев от наносов;
- насосы основного оборудования;
- насосы вспомогательного оборудования (дренажные для откачки фильтрата, вакуумные - для пуска насосов), а также вентиляторы для создания искусственной циркуляции воздуха;
- подъемные и транспортные приспособления к устройствам для монтажа и демонтажа оборудования и коммуникаций;
- электрооборудование, обычно работающее от двух независимых источников электроэнергии;
- телемеханические устройства и приспособления для полного или частичного автоматического управления работой водозабора;
- затворы (щиты, дроссели, задвижки и т. п.) для управления коммуникациями и оборудованием водозабора;
- обратные клапаны для поддержания напора в водоводах при внезапной остановке одного из насосов;

- предохранительные клапаны для защиты водоводов и коммуникаций от гидравлических ударов;
- водомеры.

1.8 Водоочистные и рыбозащитные устройства водозаборов насосных станций 1-го подъема.

Стержни сорорудерживающих решеток выполняют из полосовой стали и устанавливают с прозором в свету 50 – 100 мм в труднодоступных водоприемных отверстиях и 50 мм - во всех других случаях. Для опускания и подъема решеток устраивают специальные пазовые устройства. При боковом приеме воды из рек стержни решеток следует располагать по нормали к направлению течения воды в русле.

На береговых водоприемниках как одно из средств борьбы с обмерзанием и закупоркой решеток внутриводным льдом применяют их электрообогрев. На русловых водоприемниках решетки покрывают резиной, а также предусматривают промывку решеток обратным током воды или импульсную промывку.

Если скорость течения в реке, обычно равная 0,3 – 0,4 м/с, в 3 – 4 раза превышает скорость втекания воды в отверстия, решетка является эффективным рыбозаградителем. В этих случаях скорость входа снижают до 0,10 – 0,075 м/с за счет соответствующего увеличения площади водоприемных отверстий. Если соотношение скоростей течения в водотоке и водоприемных отверстиях менее 3–4, необходимы специальные рыбозаградительные устройства.

Наиболее широкое применение нашли рыбозащитные устройства: плоская сетка, сетчатый конус, сетчатый барабан, фильтрующие кассеты, электрорыбозаградители пневматические РЗУ и др.

Рыбозащитные устройства плоской сетки применяются на подводных каналах с различными расходами воды от 1 м³/с и более, при этом сетчатое полотно, натянутое на каркас прямоугольной формы, может быть расположено в одну линию под углом 16°–17,5° к потоку (рисунок 5 а) и зигзагообразно (рисунок 5, б - в). Сетки очищаются водоструйными флейтами, которые смывают мусор и молодь рыб в рыбоотвод, предназначенный для отвода молоди за пределы водозабора. Рыбоотвод может быть самотечным и принудительным.

Плоские сетки выполняют из латунной, стальной оцинкованной или стальной нержавеющей проволоки диаметром 2 мм с размером ячеек (в среднем) 5×5мм либо из капрона. Эти сетки закрепляются по контуру рамы и опираются на жесткие стержни и поддерживающую сетку, выполненную из более толстой проволоки. Плоские съемные сетки применяют на водозаборах малой производительности, забирающих воду из малозасоренных водоемов.

Необходимая площадь сетки определяется из условия рыбозащиты по следующей зависимости:

$$S_1 = Lh = \frac{Q}{V_n}, \quad (1.1)$$

где h – глубина потока перед сетчатым полотном;

L – рабочая длина полотна;

V_n – величина скорости в аванкамере на подходе к сетчатому полотну по нормали к сетке ($V_n = 0,12$ м/с для молоди рыб с длиной тела $l_m = 12$ мм).

Затем проверяют площадь сетки по наибольшей допустимой скорости течения воды в сжатом сечении отверстий сетки по формуле

$$S_2 = \frac{\varphi \cdot k_3 \cdot Q}{\mu \cdot k_\omega \cdot V_{\text{доп}}}, \quad (1.2)$$

где φ – коэффициент скорости, принимаемый при предварительных расчетах равным $0,97 \div 1,0$;

k_3 – коэффициент, учитывающий степень засорения сетки, принимается равным $12, -1,3$;

k_ω – коэффициент живого сечения сетки, принимается равным $0,7$;

$V_{\text{доп}}$ – допускаемая скорость течения струи воды, вытекающей из отверстия сетки, не должна превышать $1,2$ м/с;

μ – интегральный коэффициент расхода через отверстия сетки. Значение коэффициента μ определяют по формуле:

$$\mu = m \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (1.3)$$

где m – коэффициент расхода воды через отверстия сетки; определяемый по формуле:

$$m = 0.2(1 + 7 \sin Y), \quad (1.4)$$

где Y – угол установки сетчатого полотна в камере по отношению к оси потока ($Y = 168^\circ \div 178^\circ$);

k_3 – коэффициент, учитывающий влияние скоростной структуры потока на входном участке сеточной камеры ($k_3 = 1$);

k_2 – коэффициент живого сечения сетки, определяется зависимостью:

$$k_2 = 0,15 + 0,35 \cdot \left(\frac{k_3}{k_1 \cdot \omega} \right)^{2/3} \quad (1.5)$$

Большее из двух значений S_1 и S_2 принимается за расчетное.

С учетом коэффициента стеснения сетки каркасом ($k_4 = 1,2$) площадь (м^2) сетчатого заграждения (брутто) составит:

$$S = h \cdot L \cdot k_4 \quad (1.6)$$

Сетчатое полотно устанавливают на пороге высотой $\nabla h = 0,2-0,3$ м.

Рабочая высота сетки (м):

$$h_{\text{сет}} = h - \nabla h \quad (1.7)$$

Длина сетчатого ограждения (м):

$$L = \frac{S}{h_{\text{сет}}} \quad (1.8)$$

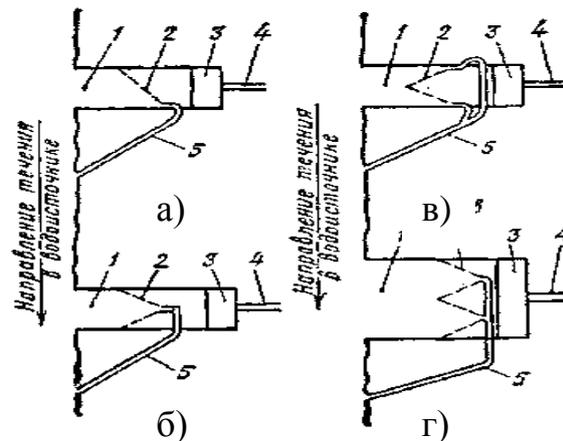


Рисунок 5 - Схемы компоновки плоских сеток на водозаборных сооружениях

1 – подводный канал; 2 – плоская сетка; 3 – насосная станция; 4 – напорный трубопровод; 5 – рыбоотвод.

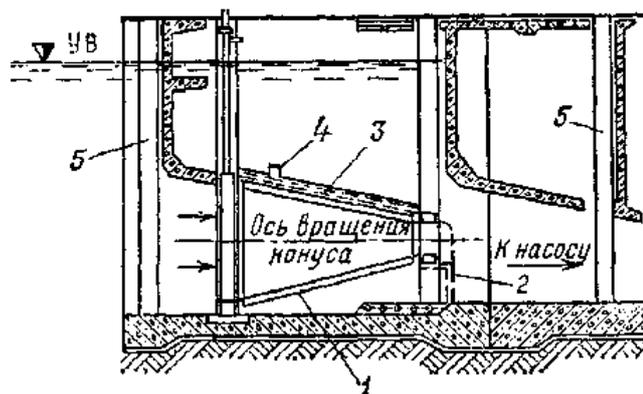


Рисунок 6 – Схема конусного сетчатого рыбозащитного устройства

1 – конусный рыбозаградитель; 2 – рыбоотводящий тракт; 3 – промывная труба; 4 – подвод промывной воды; 5 – пазы ремонтных затворов

Рыбозащитное устройство типа сетчатого конуса (КРЗ) применяют при расходах до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ и устанавливают в береговых колодцах насосных станций, в водоприемных камерах совмещенных водозаборов на реках и каналах,

в специальных сооружениях на подводящих каналах на любой расход. РЗУ этого типа представляет собой каркас с натянутым на него сетчатым полотном и имеет форму усеченного конуса (рисунок 6).

Рыбозащитные устройства типа сетчатого барабана могут быть установлены на затопляемых оголовках, береговых водоприемниках, плавучих насосных станциях в основном на расходы $4 \text{ м}^3/\text{с}$. Рыбозаградительные сетки из нержавеющей стали с отверстиями $2 - 4 \text{ мм}$, промываемые на месте установки, применяют в береговых водоприемниках в форме сетчатых барабанов и стенок, которые на время ската рыбной молоди опускают в пазы водоприемных окон. Сетчатые стенки промывают подвижной флейтой, а сетчатые барабаны – струереактивным устройством с давлением $0,35 - 0,4 \text{ МПа}$. На водозаборных сооружениях, перед оголовками которых имеются ковши или подводящие каналы, применять сетчатые барабаны не рекомендуется.

РЗУ данного типа представляет собой каркас и натянутое на него сетчатое полотно и имеет цилиндрическую или близкую к ней форму. Рыба отводится течением водотока, при этом скорость течения в водотоке должна быть не менее максимальной средней скорости течения (фильтрации) потока в ячейках сетки. Рыбозащитное устройство снабжается промывным приспособлением. Ось сетчатого барабана может быть горизонтальной или вертикальной.

Диаметр барабана D следует принимать равным $D = 2d$ (d – диаметр всасывающей трубы). Высота барабана B определяется по соотношению $D / B = 5/3$ при этом на сетчатом полотне должна быть обеспечена скорость воды $V_c \leq 0,12 \text{ м/с}$.

Вращающиеся сетки бывают с лобовым, внешним, внутренним и лобово-внешним подводом. Применяют их на водоемах, сильно загрязненных сором, а также при больших расходах воды.

Сетки с лобовым подводом воды (рисунок 7 а) следует предпочитать при заборе воды из относительно чистых водоемов с тяжелыми шуголедовыми условиями. Применение этих сеток для очистки сильно загрязненной воды допустимо лишь для тех водопотребителей, которые допускают временную неудовлетворительную работу промывных устройств сеточного агрегата.

Сетки с внешним подводом воды (рисунок 7 б) обладают большой надежностью в работе и обеспечивают высокое качество процеживания. Они наиболее удобны на водозаборах большой производительности, а также при установке их непосредственно в водоеме, т. е. без специального сеточного сооружения.

Сетки с внутренним подводом воды (рисунок 7 в) применяют на водозаборах малой производительности, устраиваемых на реках с умеренным шуголедовым режимом для водопотребителей, требующих высокого качества процеживания.

На водозаборах средней производительности сетки с внешним подводом располагают с поворотом оси сетки на 90° , что обеспечивает лобовой

подход воды к восходящему полотнищу. Эти сетки условно называют сетками с лобово-внешним подводом воды (рисунок 7 г).

При проектировании промывных устройств и вращающихся сеток следует учитывать специфику загрязнений. Так, например, загрязнения нефтепродуктами могут быть смыты лишь горячей водой; трудно удаляются ракушки; в неблагоприятных условиях в сеточную камеру может в больших количествах попадать шуга и др.

Перепад на сетках по опытным данным не допускают более 10–15 см; по достижении этой величины сетки автоматически включают на промывку.

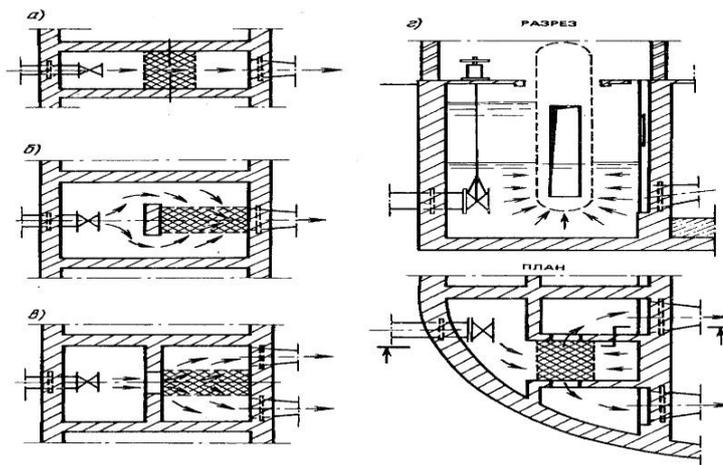


Рисунок 7 – Вращающиеся сетки с лобовым (а), внешним (б), внутренним (в) и лобовым внешним (г) подводом воды.

К фильтрующим рыбозащитным сооружениям относятся каменно-набросные плотины (дамбы), кассеты с различного рода заполнителями (щебень, керамзит и др.) и т. д.

Кассету (рисунок 8) устанавливают в пазы перегораживаемого сооружения, для очистки их периодически вынимают и промывают на специальных площадках. Разработаны конструкции кассет с «флейтовой» промывкой под водой.

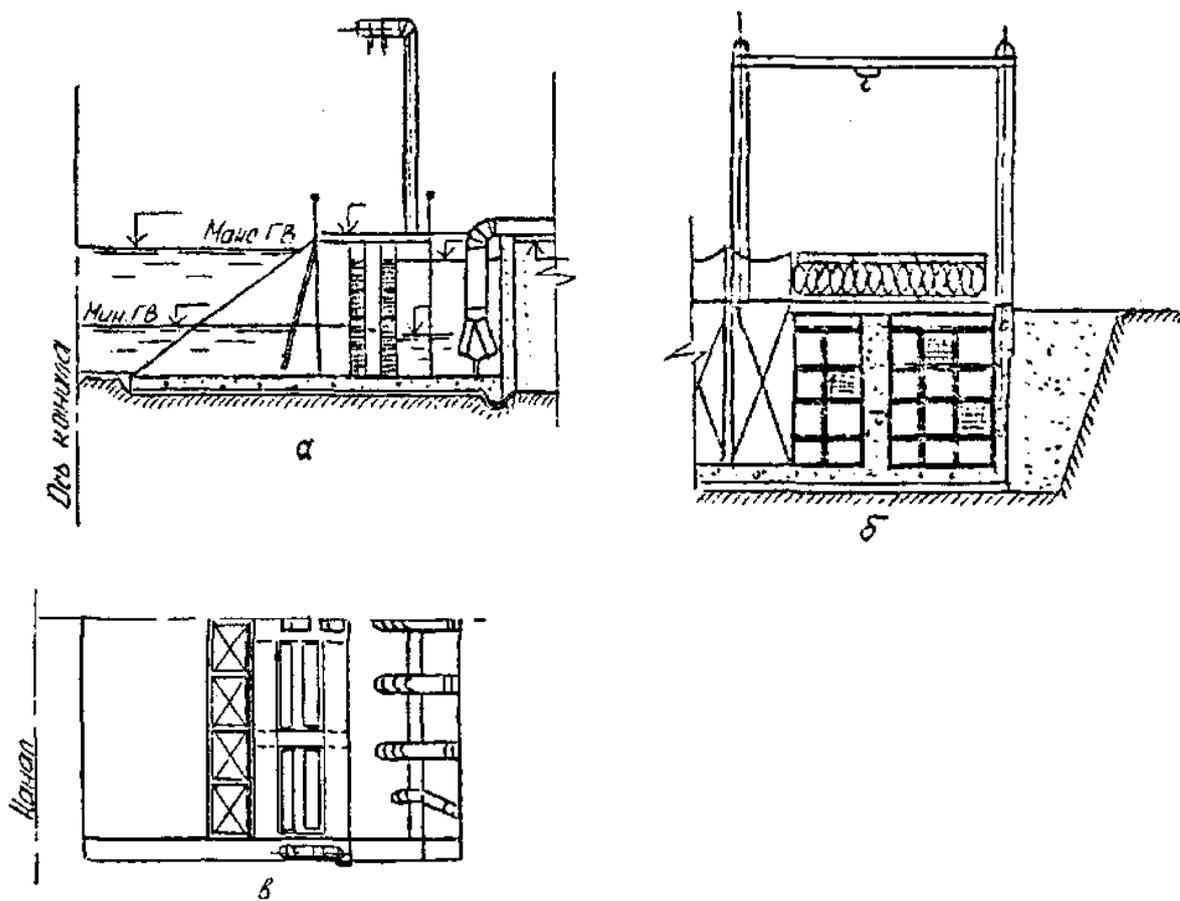


Рисунок 8 – Рыбозащитное устройство из фильтрующих кассет

а – продольный разрез, б – поперечный разрез, в – план

2 ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ РЕЧНЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1 Водоприемники водозаборных сооружений

Речные водозаборы в зависимости от соотношения требуемого расхода Q_B и минимального расхода в реке Q_{MIN} на малых и средних реках устраивают бесплотинными при $Q_B < Q_{MIN}$, приплотинными при $Q_B \leq Q_{MIN}$ и водохранилищными при $Q_B > Q_{MIN}$. Все бесплотинные водозаборы в благоприятных для этого условиях выполняют береговыми и совмещенными.

Отсутствие таких условий вынуждает применять русловые водозаборы, водоприемники которых выбирают в зависимости от их производительности, типа водотока, особенностей водопотребления и местных условий.

Приплотинные водозаборы, как правило, устраивают с промывными шлюзами, в береговых устоях которых размещают водоприемники.

Типы применяемых плотин разнообразны, но в их использовании для целей водоснабжения имеются определенные особенности. Так, например, плотины применяют для улучшения условий забора воды только в низкую межень, поэтому условия прохода половодий и паводков стремятся чаще всего сохранять неизменными и порог щитовых плотин размещают либо на уровне русла дна, либо даже несколько ниже его (при существенном стеснении потока плотиной).

Отметку нормального подпорного уровня обычно устанавливают возможно меньшей; это обуславливает и наименьшее переформирование русла и незначительное изменение бытового шуголедового режима реки, при котором образование шугозажоров перед плотиной будет исключено. Для создания необходимых глубин у места приема воды отметку дна промывного шлюза обычно принимают на 0,7–1 м ниже уровня дна реки.

При заборе воды из глубоководных рек, когда водоприемные отверстия представляется возможным располагать на глубинах 6–10 м, затопленные водоприемники малой производительности могут представлять собой простой раструб (оголовок) с решеткой, установленной в конце самотечной трубы.

На реках с ограниченными глубинами, где возможны динамические воздействия топляков, карчей и т. п., водоприемные отверстия и раструбы в конце самотечных труб должны быть встроены в прочные и массивные конструкции затопленного водоприемника, верх которого должен быть ниже нижней кромки ледяного покрова, не менее чем на 0,2 м, а порог водоприемных отверстий должен быть расположен над дном водоема не менее чем на 0,5 м.

На судоходных реках верх водоприемника должен быть заглублен не менее чем на 1–1,5 м от уровня самого низкого положения киля судна. Если это требование не может быть выполнено из-за небольших глубин в реке, водоприемник необходимо располагать за пределами судового хода. Во всех случаях отметка верха и место его расположения должны быть приняты с учетом требований речного судоходства.

На судоходных и сплавных реках применяют специальные конструкции бетонных водоприемников с обтекаемыми формами. Для оголовков изготавливают металлическую оболочку, которую на плаву буксируют к месту установки, где ее затапливают и после установки под водой заполняют по специальным трубам) бетоном. Раструбы самотечных труб заранее укрепляют на в каркасе. На слабых грунтах в основании устраивают свайный ростверк.

При малых скоростях входа, принимаемых по условиям борьбы с шугой или рыбозащиты, требуется водоприемный фронт значительной площади и длины. Равномерная работа водоприемных отверстий в этих случаях достигается применением вихревых камер с щелевым входом, которые располагают в теле водоприемника, одновременно используя их для обеспечения равномерной обратной промывки водоприемных отверстий. Для этого в каждой панели входной щели устанавливают две-три струенаправляющие диафрагмы, а промывной струе на подходе к отверстию придают два поворота, благодаря которым она расширяется и по ширине и по высоте отверстия.

Водоприемник с телескопической формой щелевой вихревой камеры рассчитан на расход воды до $0,75 \text{ м}^3/\text{с}$ при скорости ее входа около $0,1 \text{ м/с}$ (рисунок 9). Водоприемник односекционный; для двухсекционного водозабора вторая секция водоприемника изготавливается зеркально отраженной, а секции в реке располагаются впритык.

Дно реки вокруг оголовков всех типов укрепляется каменными отсыпями, часто по тьюфякам, когда оно сложено размываемыми грунтами.

Если по условиям рыбозащиты необходимы фильтрующие водоприемники, то в приведенных выше типовых решениях сороудерживающие решетки заменяют фильтрующими кассетами с соответствующим пересчетом производительности водоприемника.

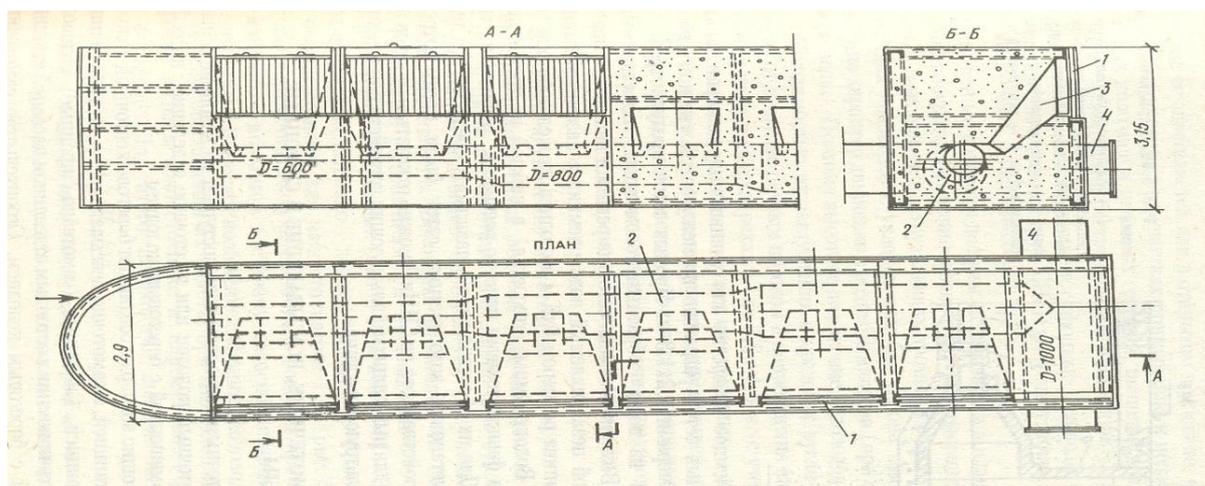


Рисунок 9 – Водоприемник с вихревой камерой

1 – водоприемное отверстие; 2 – вихревая камера; 3 – бункерная камера; 4 – патрубок водоприемника

При возможности расположения фильтрующего водоприемника у затопляемого меженного берега реки применяется конструкция, показанная на рисунок 10.

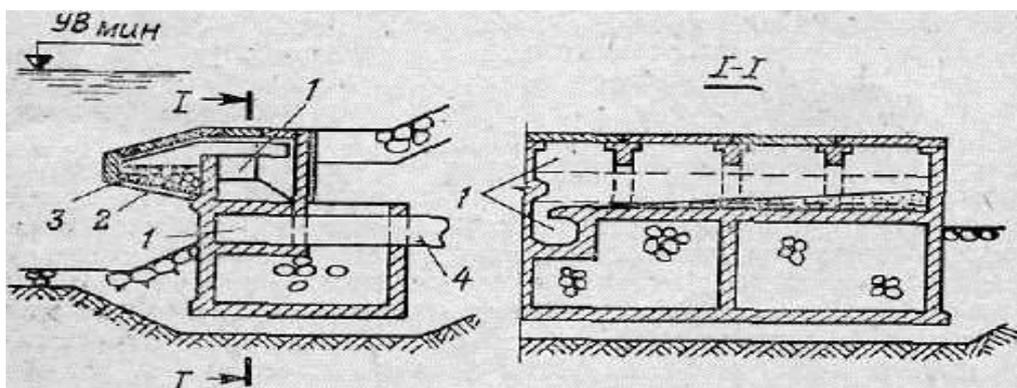
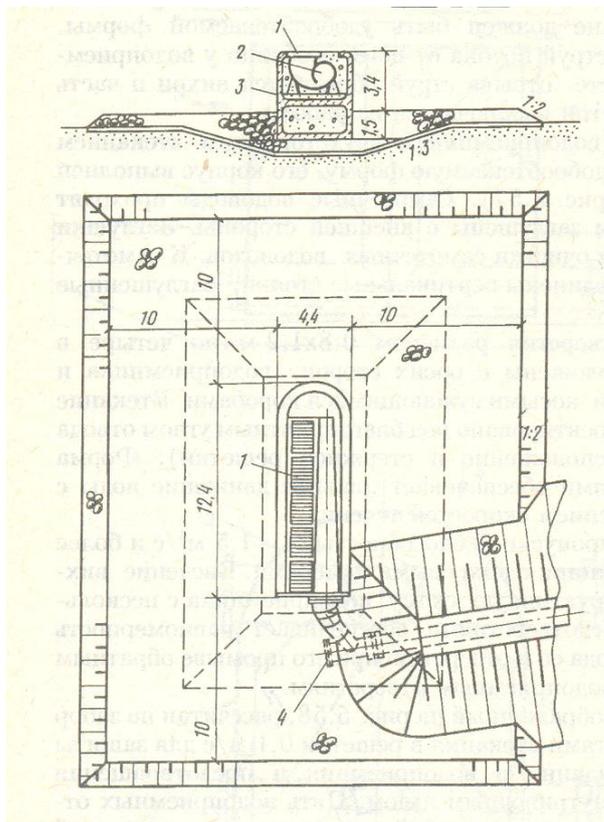


Рисунок 10 – Фильтрующий железобетонный водоприемник с вихревыми камерами, двухзвенный

1 – вихревые камеры; 2 – водоприемные отверстия; 3 – галечный фильтр, (d = 60 – 80 мм)

Водоприемник, изображенный на рисунок 11, рассчитан на забор 1 м³/с воды при скорости входа в решетки 0,1 м/с для защиты молоди рыб от попадания в водоприемник и предотвращения закупорки решеток внутриводным льдом.

Днище оголовков обычно заглубляют под уровень дна реки на 1–1,5 м, но при слабом основании заглубление должно быть соответственно обосновано.



1 – водоприемные отверстия; 2 – вихревая камера (водосбросной коллектор); 3 – корпус железобетонный; 4 – отвлечение на самотечном водоводе на случай его очистки

Рисунок 11 – Затопленный водоприемник с вихревой камерой

Самотечные трубы и сифоны выполняют в основном из стальных труб, заранее сваренных в плети требуемой длины.

Самотечные и сифонные трубопроводы должны проектироваться не заиливающимися. Соединение самотечных труб применяют муфтовое (надвижная муфта) или фланцевое (для труб больших диаметров).

Перед укладкой стальные трубы следует покрывать надежной изоляцией.

На сплавных реках, по которым сплав осуществляется плотами, самотечные трубы должны быть заглублены под уровень дна не менее чем на 1 м. Незаглубленные самотечные трубы должны быть защищены от истирания донными наносами.

Самотечные трубы могут засоряться песком, илом, щепой и обрастать ракушками, поэтому необходимо предусматривать возможность прямой или обратной промывки или даже механической очистки труб.

Применение сифонов облегчает строительные работы, но несколько усложняет эксплуатацию. Для удаления воздуха при зарядке и при работе сифона необходимо предусматривать воздухоотборники, вакуум-насосы или эжекторы. Трубы укладывают с непрерывным подъемом к воздухоотборнику, устанавливаемому на самом высоком участке трубы. При включении сифона не следует сразу включать насос на его полную подачу.

2.2 Русловые водозаборы

При пологих берегах и неустойчивых грунтовых основаниях водоприемники удаляют от берега. В этом случае водозаборное сооружение называется русловым водоприемником (рисунок 12). Русловой водоприемник соединен с береговым колодцем сифонной линией или обычной самотечной линией.

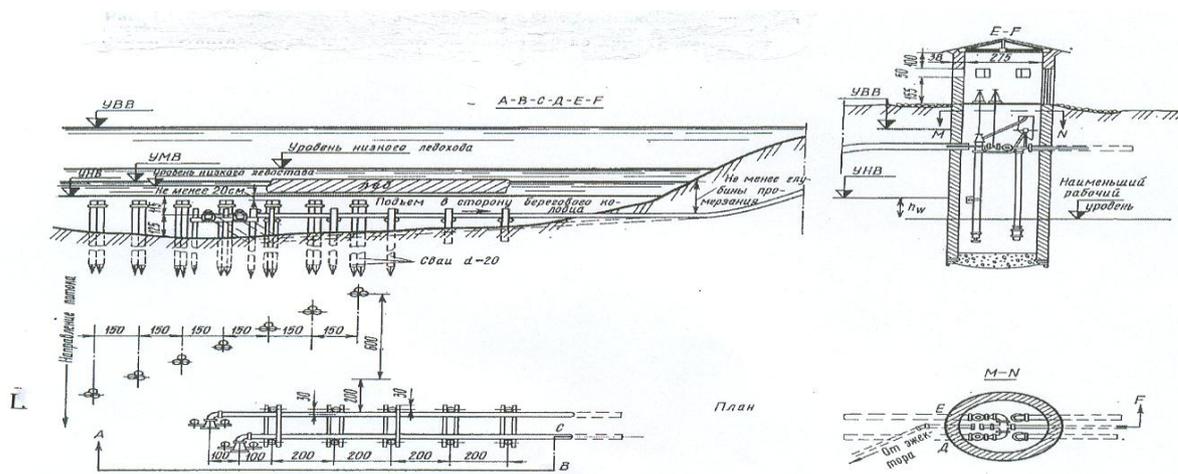


Рисунок 12 – Русловой водозабор с трубчатым водоприемником, защищенным кустами свай

Пунктиром показан вариант укладки труб по дну. (Размеры указаны в сантиметрах).

Сооружения с совмещенной компоновкой. Сеточный береговой колодец совмещают с насосной станцией при высоте всасывания насосов менее 3 – 4 м и необходимости установки насосов под залив.

Сооружения с раздельной компоновкой (рисунок 13). При низкой, сильно заливаемой пойме, ограниченной крутым уступом надпойменной тер-

расы, сеточный береговой колодец устраивают в пределах ее уступа. Насосная станция располагается в 15–20 м от сеточного колодца.

При высокой и широкой пойме, сложенной слабыми или сильно водоносными грунтами, самотечные линии заменяют сифонами, устройство которых значительно снижает строительную стоимость узла сооружений.

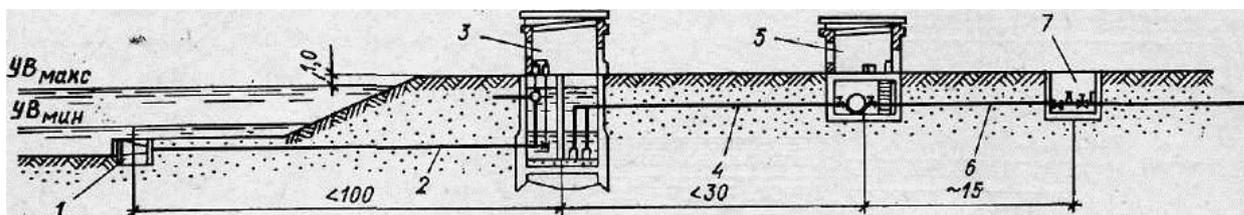
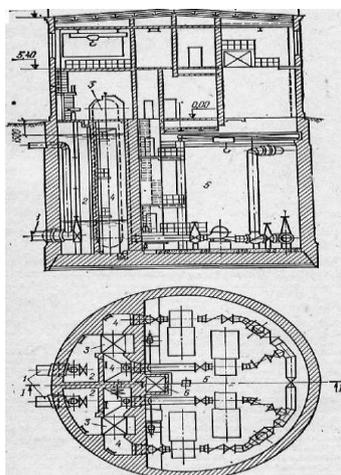


Рисунок 13 – Русловый водозабор раздельного типа

1 – затопленный водоприемник; 2 – самотечные трубы; 3 – сеточный колодец; 4 – всасывающие трубы; 5 – насосная станция; 6 – напорные трубы; 7 – камера переключения.

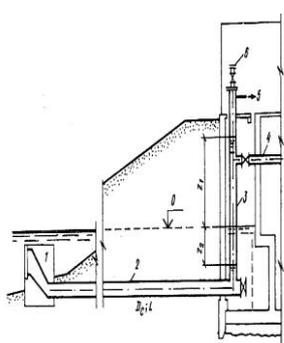


Русловые совмещенные водозаборы (рисунок 14), как правило, выполняются в цилиндрических железобетонных монолитных конструкциях с водоприемными камерами разной формы в плане, не вызывающей неблагоприятных особенностей гидравлического режима в них. Выпуск потока из самотечных труб непосредственно на полотнище водоочистной сетки, а также циркуляция у восходящего полотнища сетки недопустимы. В случае необходимости сетки должны быть приспособлены и к извлечению из камер поступивших туда комьев шуги. На самотечных трубах устанавливают укороченные задвижки.

Рисунок 14 – Русловой водозабор совмещенного типа

1 – самотечные трубы; 2 – приемные камеры; 3 – седаи для очистки воды; 4 – камеры всасов; 5 – насосная станция; 6 – пассажирский лифт

Иногда перед затворами устанавливаются вакуум-колонны для возбуждения колебаний в самотечных трубах при импульсной промывке отверстий руслового водоприемника (рисунок 15).



1 – водоприемники; 2 – самотечный водовод; 3 – вакуум-стояк; 4 – подвод воды для промыва обратным током воды; 5 – труба к вакуум – насосу; 6 – клапан для впуска воздуха в вакуум – стояк.

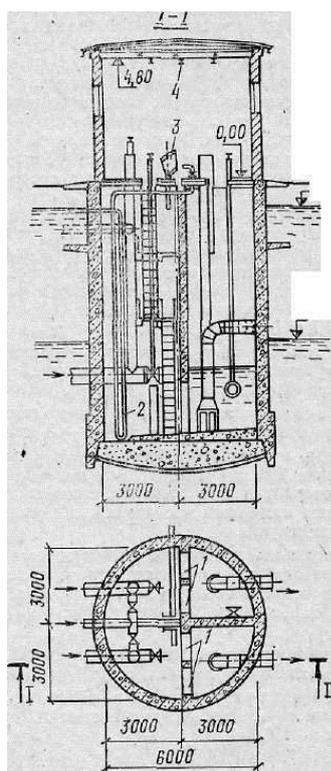
Рисунок 15 – Оборудование водозаборных колодцев

Внутри колодца к самотечным линиям или к вакуум-колонне присоединяют трубы для обратной промывки. В колодце размещают лестницу-стремянку и эжектор для удаления осадка.

Отметка верхнего перекрытия колодца принимается на 0,6...1,0 м выше уровня высоких вод, а в водохранилищах - с учетом волнового воздействия. В надземном павильоне размещаются подъемные устройства, приспособления для промыва сеток и колонки для управления задвижками (рисунок 16).

В водозаборах большой производительности число секций многосекционных водоприемно-сеточных колодцев, оборудованных вращающимися сетками, рекомендуется принимать равным числу насосов.

Обычно бытовые глубины рек недостаточны для размещения под уровнями межени требуемого числа водоприемных отверстий, вследствие чего перед водоприемником устраивают углубления русла в виде затопленных самопромывающихся ковшей.



Для предотвращения сдвига и подмыва колодцев применяют:

- дополнительное заглубление основания берегового водоприемника под дно русла, если на практически достигаемой глубине имеются прочные или плотные грунты;

- шпунтовые коробки, ограждающие основание водоприемного колодца от подмыва и улучшающие условия его работы на сдвиг. Тело дамбы, сопрягающего сооружения с берегом, может подвергаться некоторым деформациям и в целях повышения надежности работы водозабора устраивают опорные эстакады или галереи для размещения в них всасывающих трубопроводов. Галереям придают необходимую водонепроницаемость, конструктивную жесткость, проходимые габариты. Для спуска в галерею устраивают колодец.

Сеточные и водоприемно-сеточные колодцы должны быть оборудованы приборами для замера перепада воды на решетках и очистных сетках.

Рисунок 16 – Водоприемный колодец

1 – плоские сетки; 2 – эжектор; 3 – устройство для промыва сеток; 4 – таль ручная грузоподъемностью 1 т.

2.3 Береговые водозаборы

Как отдельные сооружения береговые сеточные колодцы чаще всего применяют для малых расходов ($1 - 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$), допускающих установку плоских съемных сеток.

Береговые сеточные колодцы проектируют из железобетона, двухсекционными, круглыми в плане, диаметром от 4 до 8 м.

Отметку дна колодца устанавливают исходя из высоты рабочей части полотнища сеток, отсчитываемой от минимального уровня воды. На дне колодца делают приямок для осадка глубиной 0,7 м. Пазы для сеток устраивают

двойными для того, чтобы на время промывки сеток пользоваться запасным их комплектом (рисунок 17).

Всасывающие трубы диаметром d должны заглубляться под минимальный уровень воды в колодце не менее чем на 0,6–1 м.

Входное сечение следует размещать от дна на расстоянии, не меньшем $0,8 d_{вх}$. Расстояния от стен до трубопроводов должны быть не менее диаметра труб. Желательно иметь независимые всасывающие линии для каждого насоса.

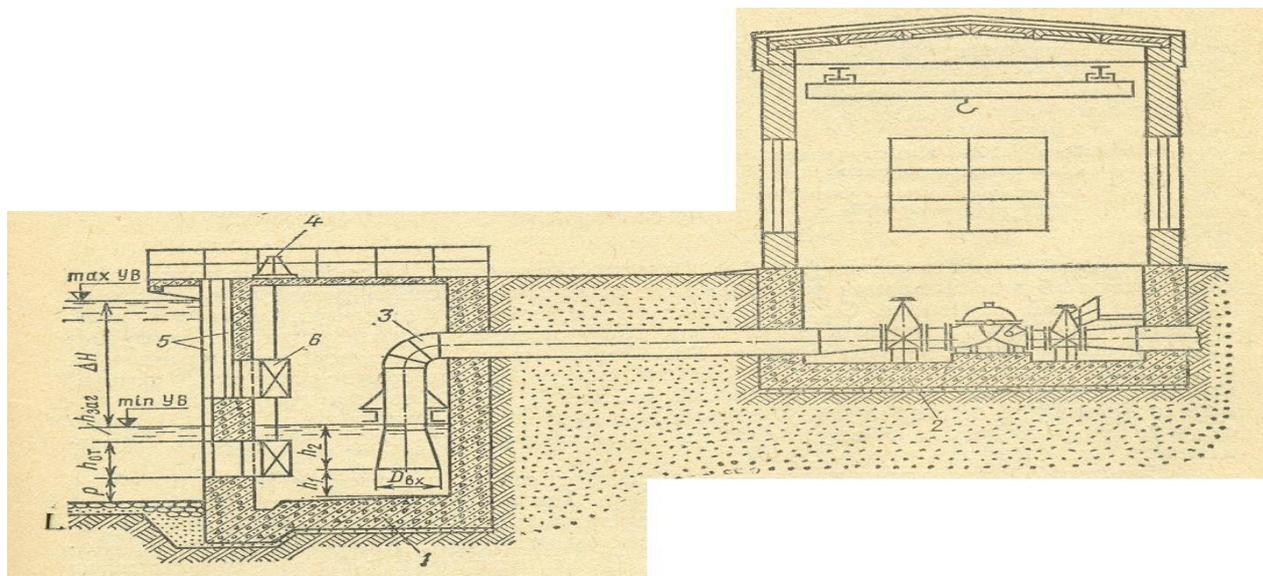


Рисунок 17 – Конструкция берегового отдельного водозаборного сооружения.

1 – береговой колодец; 2 – здание насосной станции; 3 – всасывающий трубопровод насоса; 4 – колонка управления дроссельными затворами; 5 – пазы для решеток и ремонтных затворов; 6 – дроссельный затвор.

Береговые водозаборы устраивают отдельными и совмещенными. Конструктивные и технологические особенности их колодцев и насосных станций те же, что и в русловых водозаборах. Однако береговые водозаборы, вследствие доступности их водоприемных отверстий для обслуживания в любое время, имеют более высокую категорию надежности водоподачи.

В области водоснабжения береговые водозаборы имеют производительность от нескольких литров в секунду до одного-двух десятков кубических метров в секунду.

Для средней и малой производительности береговые водозаборы чаще всего выполняют совмещенными и круглыми в плане (рисунок 18). При большой производительности или же в случаях скальных оснований береговым водозаборам придают прямоугольную форму.

Для устройства берегового водозабора необходимы сравнительно большие межвенные глубины у места приема воды. При их отсутствии водозабор размещают внутри ковша, обеспечивающего требуемую глубину. Однако и в этом случае необходимую по условиям рыбозащиты площадь водоприемных отверстий часто не удается получить на ограниченной длине

внешней оmyваемой потоком грани сооружения. Поэтому, когда необходимость в рыбозащите ограничивается только теплым периодом года, временное увеличение площади водоприемных отверстий может быть достигнуто заменой сороудерживающих решеток либо рыбоотводными барабанными сетками, либо рыбозащитными плоскими сетчатыми стенками, которые опускаются в пазовые устройства решеток.

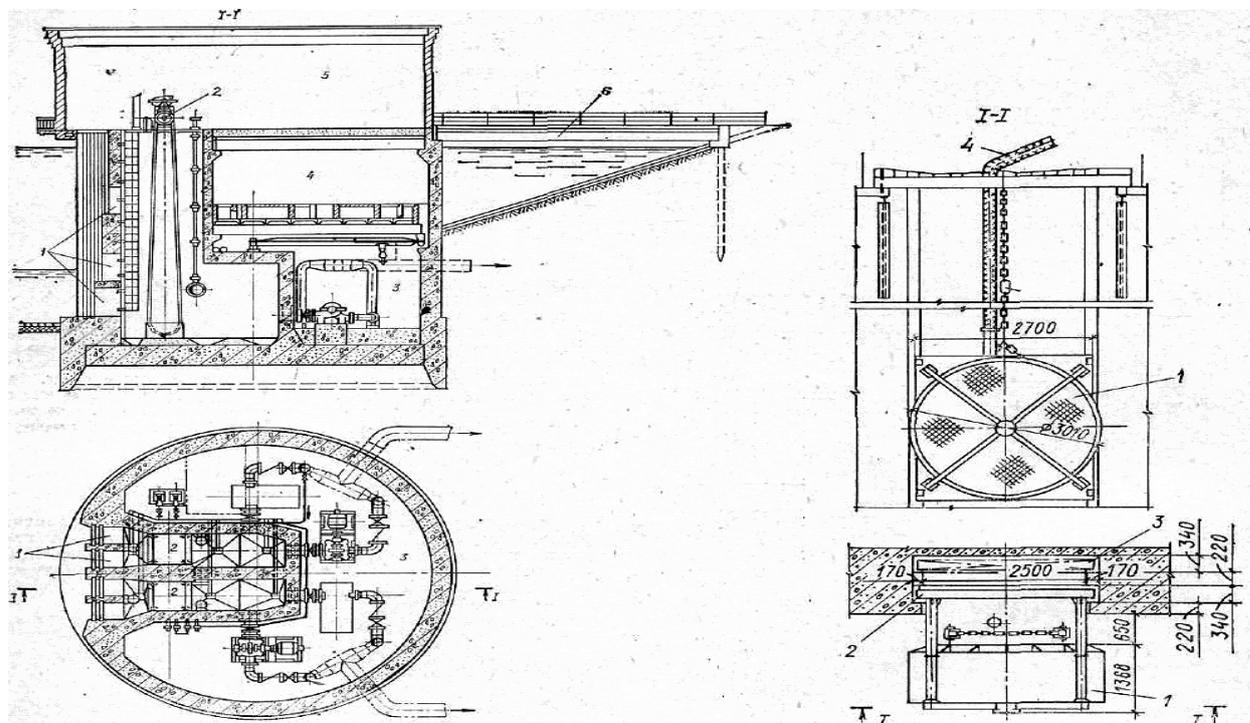


Рисунок 18 – Береговой водозабор совмещенного типа

1 – водоприемные отверстия; 2 – вращающиеся сетки; 3 – машинный зал; 4 – помещение для электрооборудования; 5 – наземный павильон; 6 – мост.

Барабанная сетка промывается с помощью вращающегося внутри барабана струереактивного промывного устройства, а сетчатая стенка – с помощью подвижной промывной флейты, опускаемой с верхнего перекрытия и балкона. Для удаления наносов, скапливающихся в приемке для сбора осадка, служит эжектор (рисунок 19).

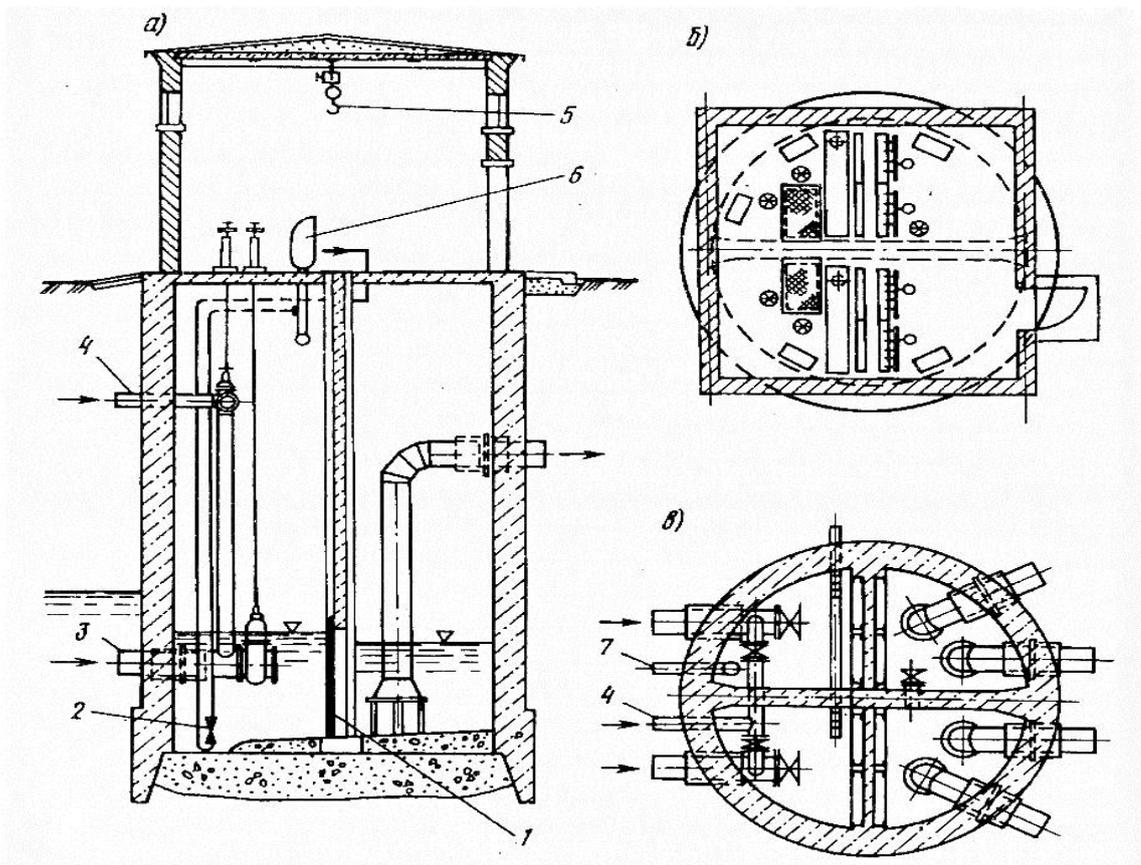


Рисунок 19 – Береговой сеточный колодец

а – разрез; б – план наземного навешельона; в – план подземной части; 1 – сетка плоская; 2 – эжектор; 3 – самотечный водовод; 4 – подвод воды для промыва сеток и самотечных водоводов; 5 – кошка с подъемным механизмом; 6 – ванна с экраном для промыва сеток; 7 – подвод воды из реки к самописцу уровней воды.

В тех случаях, когда перед водоприемными отверстиями необходимы постоянно действующие рыбозаградители, возможно применение комбинированного водозабора, который состоит из совмещенного берегового сооружения и фильтрующего двухзвенного водоприемника с вихревыми камерами, устанавливаемого у берега.

Трубопроводы, соединяющие сооружения, вводят через проемы окон и оборудуют устройствами для промывания водоприемных отверстий обратным током воды или волной давлений, возбуждаемой с помощью вакуум-колонны (см. рисунок 15).

2.4 Ковшовые водоприемники

Ковшовые водоприемники применяют только для забора больших количеств воды. Они представляют собой ковшеобразный затон, устраиваемый у берега посредством дамбы или искусственного, вырытого в берегу залива. Ковшовые водоприемники устраивают главным образом при необходимости предохранения водоприемных отверстий от закупоривания донным льдом и шугой или для уменьшения в воде, поступающей в насосы и далее на очистные сооружения, содержания взвесей. Выполнению этих задач ковшовым во-

доприемником способствуют, прежде всего, малые скорости движения воды в нем (0,05...0,10 м/с). Благодаря малой скорости движения, взвеси, содержащиеся в речной воде, осаждаются в ковше, и в водоприемный колодец, устраиваемый в конце ковша, поступает менее мутная вода.

По той же причине (малая скорость) поверхность воды в ковше при первых же морозах быстро покрывается льдом. Ледяной покров предохраняет ковш от образования в нем донного льда. Кроме того, если отдельные частички шуги и попадут из реки в ковш, то вследствие крайне незначительной скорости течения воды они не успевают доплыть до водоприемных отверстий, тают или, всплывая вверх, утолщают ледяной покров. Таким образом, ковш предохраняет водоприемные отверстия от закупоривания внутриводным льдом.

В ковш верхового питания поступают поверхностные струи речного потока, а донные его обходят. Ковш низового питания верхние слои речного потока обходят и в него поступают донные струи. Поэтому, если назначение ковша - уменьшить поступление в водоприемник наносов и взвесей, его следует устраивать по принципу верхового питания. В ковш будут тогда поступать осветленные поверхностные слои речного потока. Если ковш должен служить для защиты водоприемника от шуги, пływущей в верхних слоях, необходимо строить ковш низового питания (рисунок 20).

Для задержания наносов и шуги, следует строить ковши двухстороннего питания. В этом случае вода при шугоходе забирается из части ковша, питаемой снизу, а в остальное время подают воду в водоприемник из части ковша верхового питания.

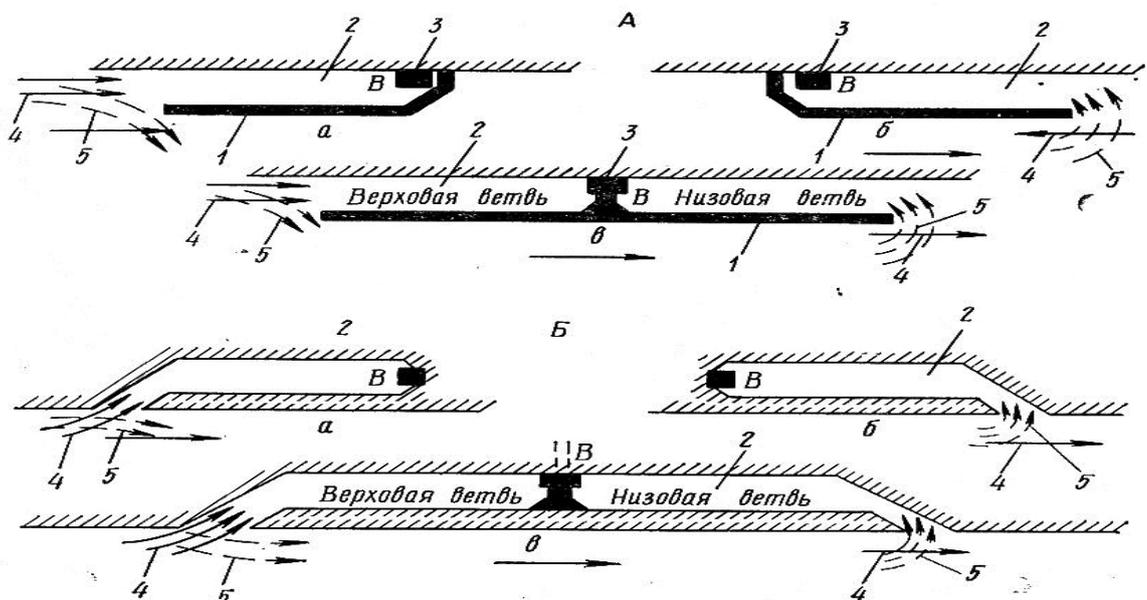


Рисунок 20 – Схемы ковшового водоприемника

выдвинутого в реку (А); заглубленного в берег (Б); а – ковш верхового питания; б – ковш низового питания; в – ковш двухстороннего питания; 1 – дамба; 2 – ковш; 3 – водоприемник; 4 – поверхностные токи; 5 – донные токи.

Для образования ковша устраивают земляную дамбу, ограждающую некоторый прибрежный участок реки или выемку в берегу. Отметка верха дамбы должна быть выше отметки уровня высоких вод. Откосы дамбы, особенно у входа, должны быть хорошо защищены от размыва. Ширина ковша, помимо удовлетворения требованиям гидравлического расчета, должна быть достаточна для выполнения работ по очистке ковша от наносов. Если ковш очищают плавучими снарядами, то ширина его должна быть достаточной для входа и выхода из него земснарядов.

Повороты ковша в плане должны выполняться плавными закруглениями с радиусом не менее 2...3-кратной его ширины. Водоприемный колодец в ковше устраивают обычно берегового типа.

Водоприемные ковши применяют для улучшения местных условий забора воды из шугоносных рек, чаще всего для исключения шуголедовых помех при водозаборе, для борьбы с донными наносами и для создания необходимых глубин у места приема воды.

Использование ковшей специально для отстоя мелких взвешенных частиц обычно нецелесообразно, для этой цели рекомендуется устраивать на незатопляемом берегу отстойники.

Эффективность работы водоприемных ковшей полностью определяется особенностями гидравлического режима, формирующегося как вне, так и внутри ковша. Гидравлический режим внутри ковша, в свою очередь, зависит от особенностей режима речного потока и от внешних и внутренних форм сооружения.

В зависимости от особенностей режима реки и основного назначения ковша целесообразно различать:

- незатопляемые ковши – для защиты водозаборов средней и большой производительности от шуголедовых помех на реках с высокими уровнями воды в шугоход и в зимний период
- ковши, затопляемые в периоды половодий, но незатопляемые при значительно более низких уровнях осеннего шугохода (обеспеченностью не меньше 25 %), – для защиты водозабора от шуголедовых помех и донных наносов; ковши, затопляемые в периоды половодий и паводков, самопромывающиеся – для поддержания необходимых глубин у места приема воды и для направления донных наносов в обход водозабора.

Незатопляемые ковши устраивают либо полностью заглубленными в берег (с углом отвода $\varphi = 135^\circ$ и суженным на 35 % входом), либо частично выдвинутыми в русло и имеющими открытые или огражденные низовые входы (движение воды, входящей в такой ковш, имеет направление, противоположное течению в основном русле).

Особенности гидравлики водоприемных ковшей этого типа заключается в том, что транзитный поток, несущий расход из реки к водоприемнику, имеет малую ширину, которая занимает небольшую часть поперечного сечения ковша и характеризуется малым углом бокового расширения ($0^\circ 30' - 3^\circ$), поэтому для этих ковшей следует различать среднюю скорость течения: по

сечению ковша (т. е. отнесенную ко всей площади живого сечения ковша) и в транзитной струе.

Несмотря на большую площадь сечения ковша, скорости могут быть значительны, так как их величина зависит от скорости течения в реке, а не от ширины ковша.

Транзитный поток, как правило, всегда входит в ковш у низового борта. С расположением граней последнего связано расположение транзитного потока внутри ковша. Поэтому низовой борт необходимо использовать как струенаправляющее устройство, придав ему необходимую для этого форму.

На реках с уровнями половодья, значительно превышающими уровни шугохода, защита от шуголедовых помех достигается устройством экономичных, затопляемых, самопромывающихся ковшей. Дамбы такого ковша при уровнях межени используются как противо-шуговое ограждение места приема воды, а при уровнях половодий – как руслорегулирующие сооружения, поддерживающие местное увеличение глубин у водоприемника. В связи с этим формы ковшей этого типа более разнообразны и зависят от топографических, гидрологических, гидравлических и других особенностей места водозабора.

На рисунок 21 показаны ковши с низовым входом, сильно вынесенный в русло. Ковш имеет затопляемую в паводок верховую дамбу и незатопляемую низовую дамбу, что обуславливает самопромывание ковша в паводок.

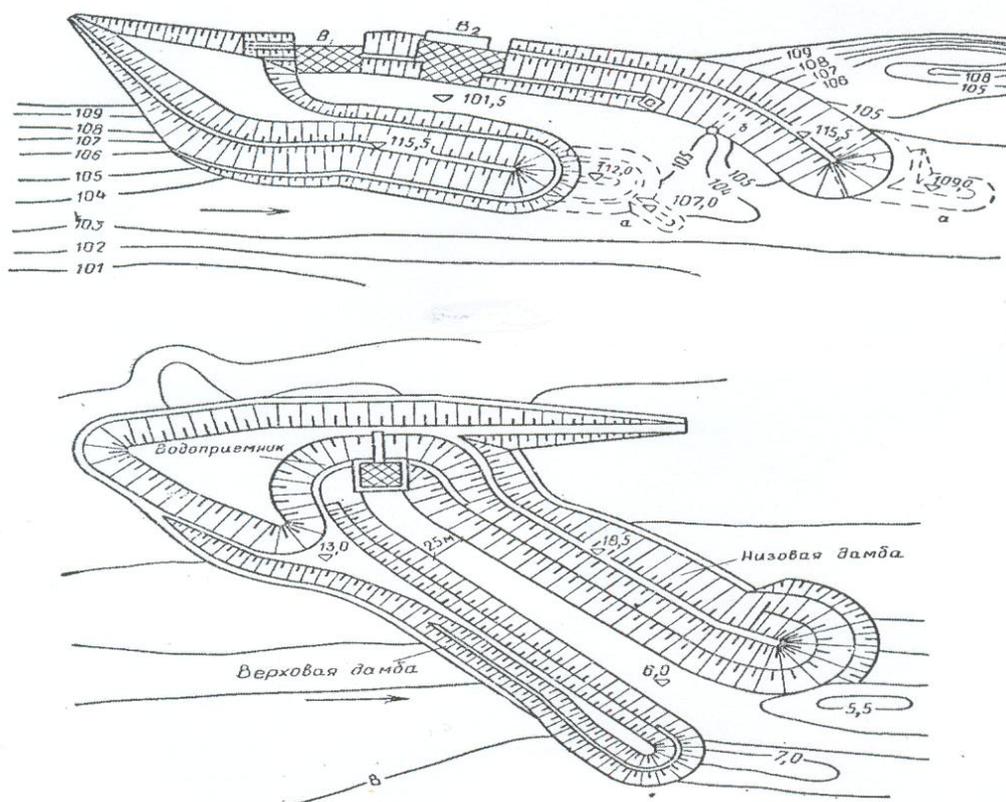


Рисунок 21 – Ковши низового питания

Но во всех случаях гребень верховой дамбы ковша устраивается на высоте уровня шугохода с обеспеченностью $\sim 25\%$, а отметка гребня низовой дамбы принимается на 1–2 м большей. Меньшая разность в высоте дамб принимается при необходимости небольшого углубления дна у места водозабора.

Для того чтобы в паводки и половодья ковш действовал как самопромывающийся, необходимо верховую дамбу расположить в свободно набегающем на нее половодном или паводочном потоке. Кроме того, в береговой части ковша откос низовой дамбы целесообразно проектировать более крутым, вплоть до вертикального - это усилит течения вдоль ковша и вымывание наносов в русло по низовому откосу верховой дамбы.

2.5 Приплотинные водозаборы

При наличии плотин водозаборы совмещают с сооружениями плотинного узла. Водоподъемные водозаборные плотины устраивают для увеличения глубин и создания необходимого режима течения у места приема воды; повышения надежности и размера водоотбора из русла, осуществления декадного или месячного регулирования стока.

В водозаборном узле чаще всего устраивают водоприемный карман или промывной шлюз, из которого и забирается вода в водоприемник или на насосную станцию, располагаемые в береговом устье. Очертание карманов и промывников может быть криволинейным. При небольших подпорах плотин дно кармана целесообразно назначать на 1 м ниже дна русла реки. Ширина кармана принимается равной 4–5 м, а иногда и более. Большая часть отверстия кармана должна быть перекрыта забральной стенкой, а меньшая (нижняя) - плоским щитом. В зимний период карман играет роль своеобразного ковша, поскольку бьеф перед приподнятым порогом плотины быстро заносится наносами.

На равнинных реках применяют плотины островного типа, создающие подпор лишь меженному потоку и почти не стесняющие паводочные и половодные потоки реки. Наибольшие подпоры на плотине в этот период не должны превышать 0,3–0,4 м. Порог этих плотин располагается на уровне дна реки; отверстия, рассчитанные также на пропуск льда, перекрываются плоскими или сегментными щитами. Плотины с приподнятым порогом и без затворов применяют на реках предгорий, обычно не имеющих пойм и обладающих крупнозернистыми руслами. В связи с отсутствием опасности обхода потоком плотин этого типа перепад на них в паводок допускается большим (0,4–0,6 м и более), чем в плотинах островного типа. На реках горного типа в пороге водоподъемных плотин может устраиваться водоприемник, отверстие которого перекрывается накладной решеткой.

Обычно же водозабор у плотин осуществляется из кармана или из промывного шлюза. Наиболее целесообразной схемой компоновки водозабора является совмещение водоприемника с насосной станцией и с устьем водоподъемной плотины. В этом случае водоприемник или примыкает к берего-

вому устью плотины, или входит в конструкцию устья, которому придаются увеличенные размеры (рисунок 22).

Насосная станция непосредственно примыкает к водоприемнику. Такое совмещение позволяет почти во всех случаях установить в водоприемнике водоочистные сетки.

Смыв наносов у водоприемника выполняется обычно периодически, а если отсутствует необходимость экономить воду, смыв может производиться непрерывно.

Совмещение водозаборных сооружений с сооружениями водохранилищного плотинного узла обладает рядом существенных преимуществ, вследствие чего водозабор устраивается при плотине во всех случаях, когда расположение водопотребителя относительно водохранилища допускает такое решение. При совмещении водозабора с донным водоспуском в трубах могут быть установлены конусные вращающиеся сетки ВНИИ ВОДГЕО, являющиеся одновременно и рыбозаградительными.

Конструктивное решение башни донного водоспуска и водоприемных сооружений зависит от типа плотины. Наиболее простые решения получают при бетонных водохранилищных плотинах. При плотинах земляных и из каменной наброски башня донного водоспуска проектируется в виде сооружения, отдельно стоящего от плотины или соединенного с гребнем последней.

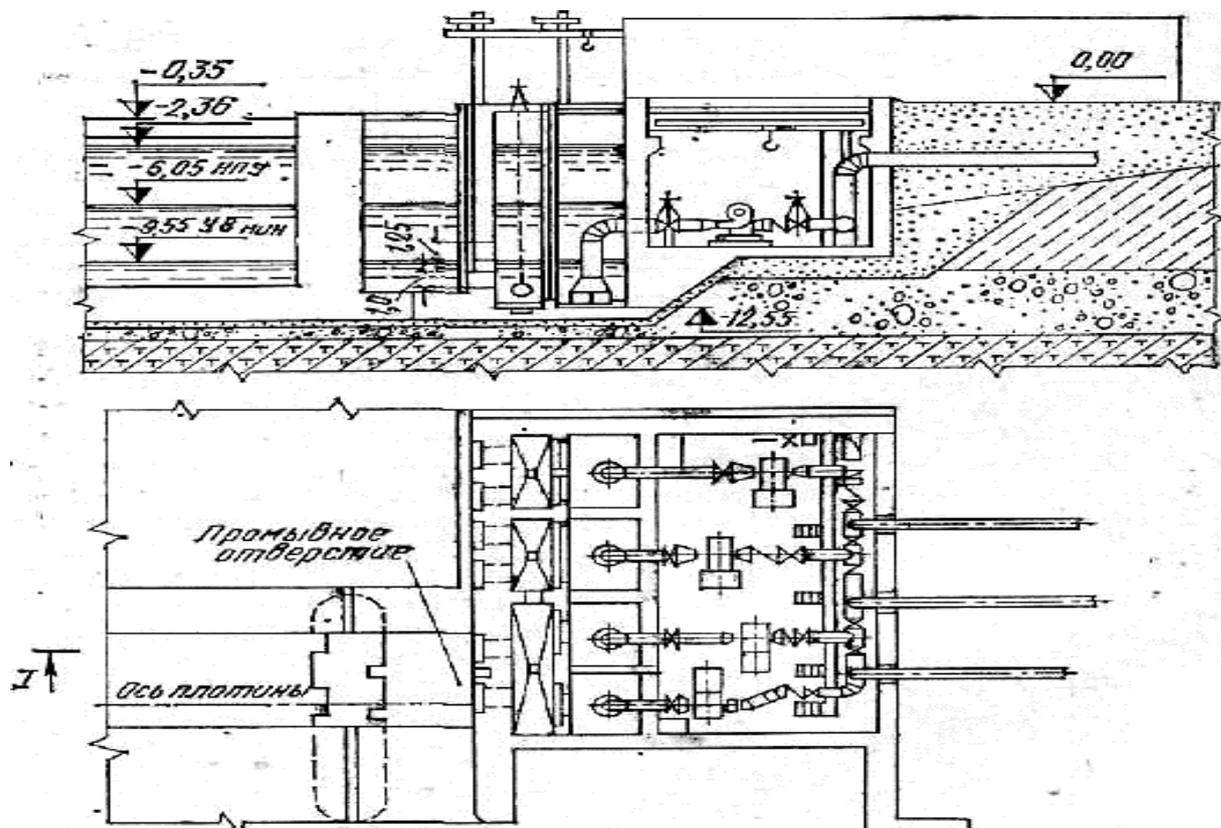


Рисунок 22 – Водозабор, расположенный в устье плотины

Приплотинные водохранилищные водозаборы обладают следующими особенностями: насосная станция часто располагается в нижнем бьефе; в ка-

честве водоприемного колодца обычно используется башня донного водоспуска; у места приема воды, относительно легко доступного с берега, всегда обеспечены достаточно большие глубины и возможность забора воды из тех слоев, которые по температуре, солености, загрязнению и т. п. наиболее благоприятны (рисунок 23).

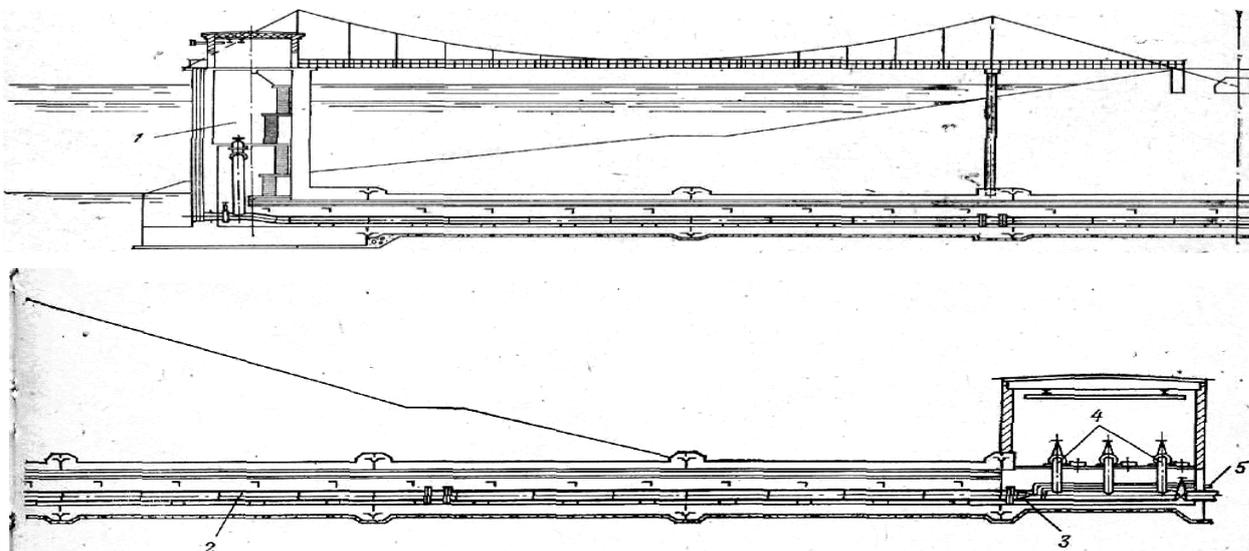


Рисунок 23 – Приплотинный водозабор

1 – башня; 2 – водовод; 3 – конусная вращающаяся сетка; 4 – водоводы к насосам; 5 – напорный трубопровод.

2.6 Нестационарные водозаборные сооружения

При необходимости организации срочного водоотбора, в сложных гидроморфологических условиях - при большой амплитуде колебания уровня воды, сильно неустойчивом русле, непригодности грунтов для оснований сооружений, могут устраиваться нестационарные водозаборы.

Нестационарные водозаборы подразделяются на следующие типы:

- фуникулерные, перемещаемые по рельсовым путям, проложенным по спланированному береговому склону (рисунок 24);
- подвижные, смонтированные на салазках или тележках, позволяющих в зависимости от положения уровня воды в водотоке перемещать их с помощью трактора или автомобиля на заранее подготовленные площадки;
- плавучие, смонтированные на понтоне и удерживаемые в створе сооружений с помощью якорей.

В состав водозабора фуникулерного типа входят: водоприемное устройство, рельсовые пути для его перемещения, напорный водовод с патрубками, расположенными через определенные расстояния, электрифицированная лебедка.

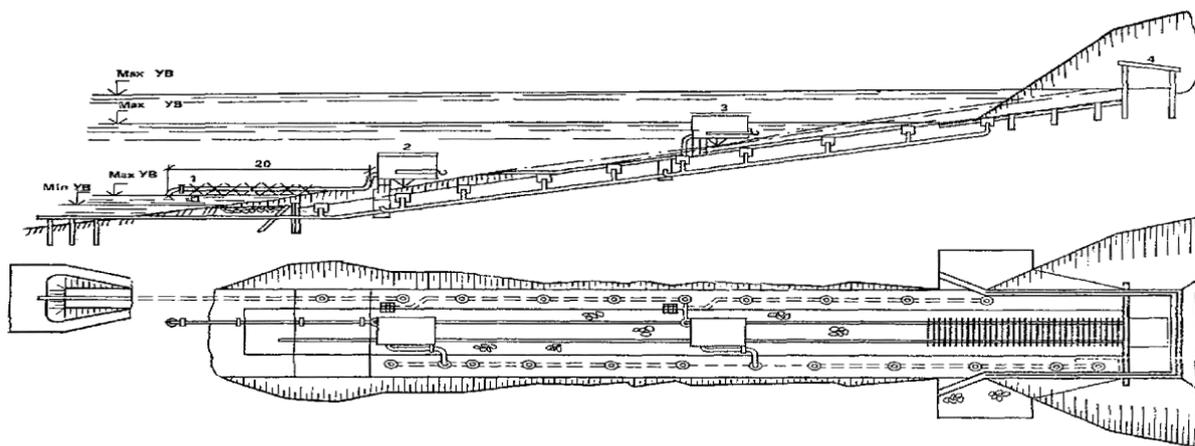


Рисунок 24 – Водозаборное сооружение фуникулерного типа

1 – аварийный всасывающий водовод на козлах; 2 – положение насосной станции при работе с использованием аварийного всасывающего водовода; 3 – положение насосной станции при работе во время ледохода; 4 – будка для подъемной лебедки

Водозабор дублируют из расчета, что один работает, а второй перемещается при подъеме или понижении уровня воды в реке.

Водоприемное устройство включает тележку, на которой смонтирован насос с всасывающим водоводом, обратный клапан и водоприемную сетку, или рыбозаградитель. На тележке монтируются также вакуум-насосная установка и павильон облегченной конструкции.

Рельсовый путь укладывают по спланированному и укрепленному от размыва речным потоком берегу. Напорный водовод укладывают в земле параллельно рельсовому пути, патрубки располагают в колодце, где установлены задвижки. Расстояние между патрубками выбирается с условием удобства присоединения насоса при его перемещении в новое положение с помощью гибкого водовода.

Лебедка для передвижения водозаборного устройства располагается на незатопляемых отметках. Здесь же сооружаются и подсобные помещения.

Подвижные водозаборные сооружения устраивают аналогично фуникулерным. Они могут перемещаться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении с перекладкой напорного водовода.

Плавающие водозаборы (рисунок 25) удобны на реках с обильными наносами, нестационарным ложем и незначительным ледоходом. На реке с интенсивным ледоходом плавающие водозаборные сооружения могут применяться при условии расположения в защищенных акваториях.

В состав плавучего водозаборного сооружения входят: пантон, на котором монтируются насосные агрегаты, рыбозащитные устройства, электро-техническое оборудование, транспортно-подъемные механизмы, гибкие напорные водоводы (подвижные или наплавные), береговые опоры, соединительный мостик.

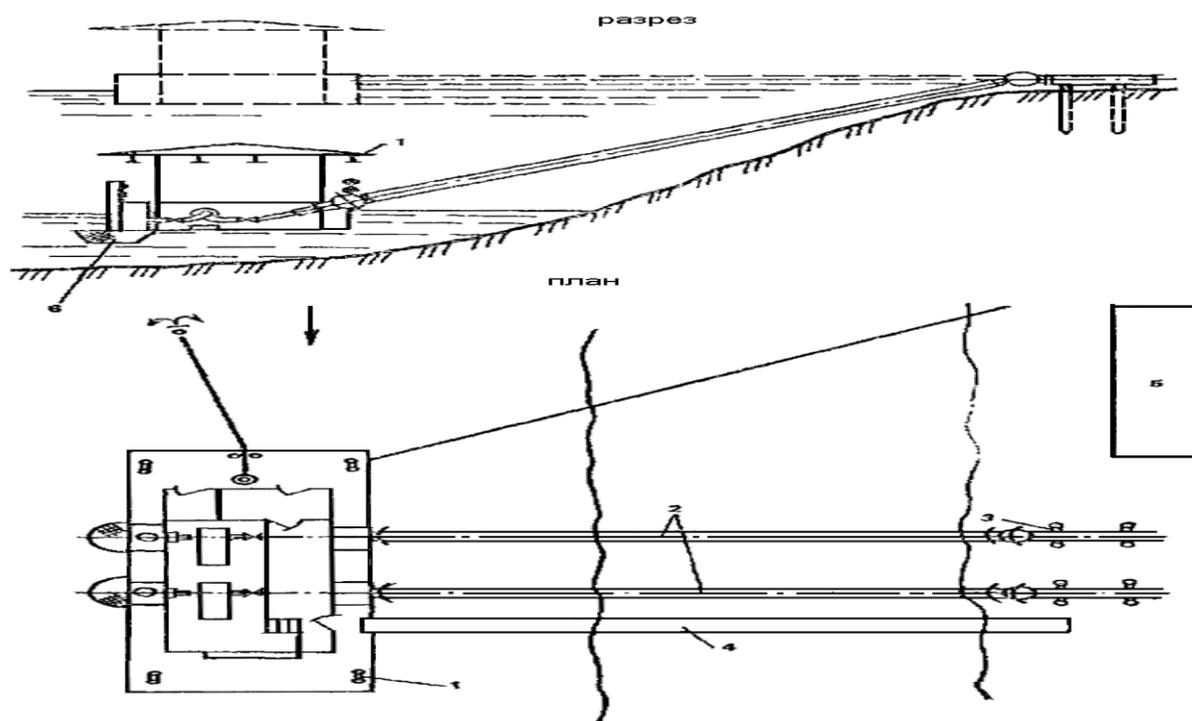


Рисунок 25 – Общая схема плавучего водозаборного сооружения

1 – понтон; 2 – гибкие напорные водоводы; 3 – береговые опоры; 4 – соединительный мостик; 5 – трансформаторная подстанция; 6 – рыбозащитные устройства

Водоприемные отверстия, перекрываемые рыбозащитным устройством или решетками, устраивают в бортах понтона.

При большой амплитуде колебания уровня воды в реке применяется многопозиционная установка понтона с устройством причальной эстакады.

3 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРОВ

Расчет русловых водозаборов

Водозабор должен обеспечить пропуск максимального суточного расхода $Q_{\text{max.сут}}$ в соответствии с режимом работы сооружений.

Русловый водозабор состоит из приемного оголовка, самотечной линии и берегового приемного колодца (рисунок 26).

Для определения плановых размеров и вертикальной привязки водозаборных сооружений проводится гидравлический расчет, в результате которого определяются геометрические размеры трубопроводов и потери напора в проектируемой сети.

Согласно СНиП 2.04.02–84 верх оголовка должен размещаться ниже кромки льда не менее чем на 0,2 м, а низ должен быть выше дна водоема не менее чем на 0,5 м.

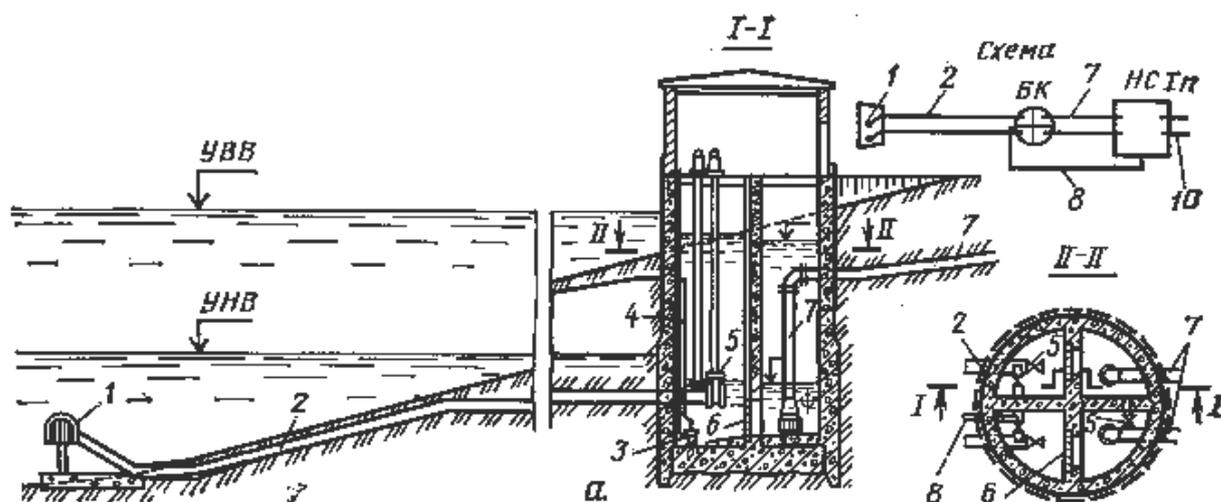


Рисунок 26 – Русловой водозабор

1–оголовок; 2–самотечные трубы; 3–эжектор; 4–трубы эжектора; 5– задвижка; 6–сетка; 7, 10–всасывающие и нагнетательные трубы; 8– подача воды от напорной линии на промывку самотечных труб.

Водоприемник устраивается в виде наклонного стояка с воронкой (рас-трубом). Входные отверстия воронок располагаются по течению реки и пере-крываются сороудерживающими решетками.

Площадь входных отверстий водоприемников определяем, исходя из скорости входа воды с учетом стеснения сороудерживающими решетками по формуле:

$$F_{\text{бр}} = 1,25 \frac{Q_{\text{расч}}}{v_{\text{вх}}} K \quad (3.1)$$

1,25 – коэффициент, учитывающий засорение отверстий;

$q_{\text{расч}}$ – расчетный расход одной секции, одного трубопровода, м³/с;

$$q_{\text{расч}} = \frac{aQ_{\text{макссут}}}{T_i \cdot 3600} \quad (3.2)$$

a – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды водопровода, принимаем $a=1,09...1,1$;

$Q_{\text{макссут}}$ – максимальный суточный расход, м³/сут;

T – продолжительность работы насосной станции I подъема, принимаем круглосуточную; $T = 24$ ч;

$V_{\text{вх}}$ – скорость входа воды в водоприемные отверстия, (по СНиП 2.04.02-84 $V_{\text{вх}} = 0,1...0,3$ м/с);

K – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решетки;

$K = (a + c) / a$; a - расстояние между стержнями в свету, см; c - толщина стержней, см;

Для фильтрующего водоприемника с учетом рыбозащиты $K = 2$.

Диаметр входной воронки:

$$D = \sqrt{4F_{\text{ор}}/\pi} \quad (3.3)$$

Расчет самотечной линии заключается в определении диаметра водовода и потерь напора в нем, исходя из следующих требований: скорость течения воды в трубе должна быть не менее скорости течения в реке при УКВ $V_{\text{реки}} = 0,5$ м/с и не менее незаилающей скорости 0,7 м/с (СНиП 2.04.02–84).

$$F_{\text{сам}} = \pi d^2 / 4 = 0,785d^2, \quad (3.4)$$

Приравниваем:

$$F_{\text{сам}} = \frac{q_{\text{расч}}}{V_{\text{расч}}} \quad (3.5)$$

откуда диаметр самотечных труб (м)

$$d = \sqrt{q_{\text{расч}} / 0,785 \cdot V_{\text{расч}}} \quad (3.6)$$

При эксплуатации не исключено засорение входных решеток и труб. Для удаления сора и наносов их промывают обратным током воды. Воду на промывку подают по нагнетательной линии от насосной станции.

Скорость воды при промывке определяется по зависимости:

$$V_{\text{пром}} = A(Dd)^{0,25} > 2,5 \text{ м/с}, \quad (3.7)$$

A – коэффициент, согласно СНиП $A = 7,5...10$,

D – диаметр самотечной линии, м;
 d – диаметр промывных частиц, мм

Расход промывной воды определится по зависимости:

$$Q_{\text{пром}} = V_{\text{пром}} \cdot F_{\text{сам}} \quad (3.8)$$

Между приемным и всасывающим отделениями устанавливают плоскую съемную сетку, размеры которой определяют по скорости V_c прохода воды через ячейки в свету (принимают не более 0,4 м/с при отсутствии внешних рыбозаградителей).

Расчетную площадь сеток определяют по формуле:

$$F_{\text{бр}} = K_1 K_2 K_3 \frac{Q_{\text{расч}}}{v_c \cdot n} \quad (3.9)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от типа и конструкции сеток; $K_1 = 1,15 \dots 1,25$; для крупных для крупных стержней $K_1 = 1,15$, для прямоугольных $K_1 = 1,25$;

K_2 – коэффициент стеснения;

$$K_2 = \left(\frac{a+d}{a} \right)^{2(1+p)} \quad (3.10)$$

где a – размер ячейки сетки в свету, мм;

d – диаметр проволоки, мм;

p – часть общей площади, занимаемой опорными рамами; $p = 0,1 \dots 0,15$;

K_3 – коэффициент загрязнения сеток, для плоских сеток. $K_3 = 1,15$, для вращающихся $K_3 = 1,2$;

v_c – скорость, с которой вода проходит через сетку, для плоских сеток $v_c = 0,2 \dots 0,4$ м/с, для вращающихся сеток $v_c = 0,8 \dots 1,2$ м/с;

n – число секций.

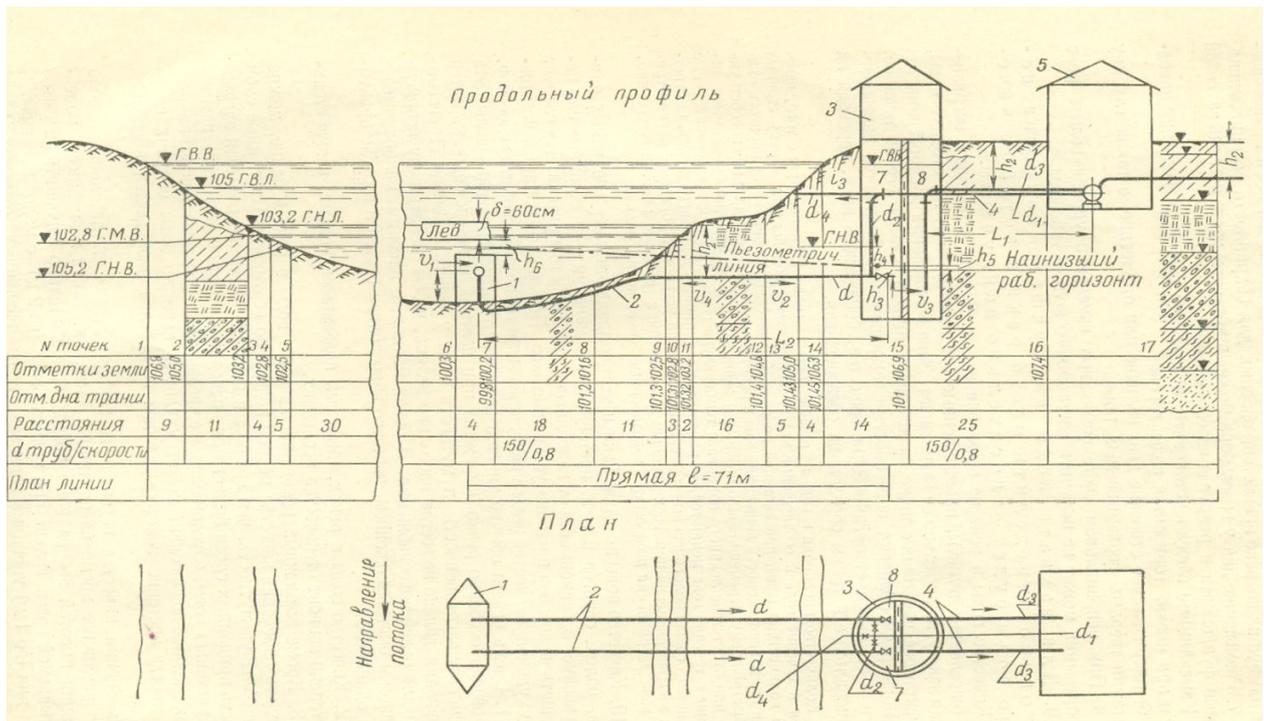


Рисунок 27 – Профиль и геологический разрез по створу водозаборных сооружений на реке

1 – водоприемник; 2 – самотечные трубы; 3 – береговой колодец; 4 – всасывающие трубы насосов первого подъема; 5 – насосная установка; 6 – труба от эжектора; 7 – песколовка; 8 – помещение для всасывающих труб.

Отметки воды в береговом колодце определяют в зависимости от уровня воды в реке и потерь напора при разных режимах работы самотечных труб: при уровне низких вод (УНВ), при уровне высоких вод (УВВ) и при аварии.

В межень (УНВ) при работе двух линий:

$$\nabla z_1 = \nabla z_{\text{УНВ}} - \sum h_{\text{УНВ}} \quad (3.10)$$

В межень при аварийной работе одной линии:

$$\nabla z_2 = \nabla z_{\text{УНВ}} - \sum h_{\text{ав}} \quad (3.11)$$

В паводок при работе одной линии:

$$\nabla z_3 = \nabla z_{\text{УВВ}} - \sum h_{\text{УВВ}} \quad (3.12)$$

Отметки уровней воды в отделении всасывающих линий принимают ниже, чем в приемном, на 0,1 м:

$$\nabla z'_1 = \nabla z_1 - 0,1; \quad (3.13)$$

$$\nabla z'_2 = \nabla z_2 - 0,1; \quad (3.14)$$

$$\nabla z'_3 = \nabla z_3 - 0,1 \quad (3.15)$$

Отметка пола берегового колодца:

$$\nabla z_4 = \nabla z_{y_{BB}} + 1 \quad (3.16)$$

Отметка выхода самотечных труб в приемное отделение берегового колодца должна быть ниже наинизшего уровня воды в нем не менее чем на 0,3 м:

$$\nabla z_5 = \nabla z_{\min \text{ прием}} - 0,3 = \nabla z'_2 - 0,3 \quad (3.17)$$

Верх сетки устанавливают на 10 см ниже минимального уровня воды во всасывающем отделении, поэтому

$$z_6 = z'_2 - 0,1 \quad (3.18)$$

Нижнее основание будет ниже на высоту сетки P_c на отметке:

$$z_7 = z_6 - P_c \quad (3.19)$$

Отметка дна колодца на 0,5 м ниже:

$$z_8 = z_7 - 0,5 \quad (3.20)$$

где 0,5 – высота порога между приемным и всасывающим отделением, который устраивают для предотвращения попадания песка и ила во всасывающее отделение колодца, м.

По условиям монтажа оборудования допускается округление отметок. Для удаления песка и ила из первого отделения береговой колодец периодически промывают при помощи эжекторной установки, работающей от напорной линии насосной станции I подъема.

Размеры колодца в плане находят из условия размещения оборудования в приемных и всасывающих секциях (отделениях). Диаметр самотечных труб, тип и размеры промывного оборудования определены выше. Находим диаметры всасывающих труб и связанного с ними оборудования.

Диаметр всасывающей линии определим по расчетному расходу одной секции и скорости во всасывающей трубе $V_{вс}$:

$$d_{вс} = \sqrt{q_{расч} / (0,785 \cdot V_{вс})} \quad (3.21)$$

Принимаем $V_{вс} = 1,5$ м/с ($V_{вс} = 1,2 \dots 2$ м/с), принимаем стандартный диаметр $d_{вс}$. Находим диаметр воронки на концах всасывающих труб:

$$d_{вор} = 1,3 \dots 1,5 d_{вс} \quad (3.22)$$

Расстояние от дна колодца до сетки на концах всасывающих труб должно быть не менее $2d_{вор} = 0,12$ м. Расстояние от дна колодца до раструба всасывающей трубы принимаем 1 м. Заглубление воронки под уровень

должно быть не менее $d_{\text{вор}}$. Из условия монтажа оборудования и эксплуатации назначаем диаметр колодца и толщину стенок (рисунок 28).

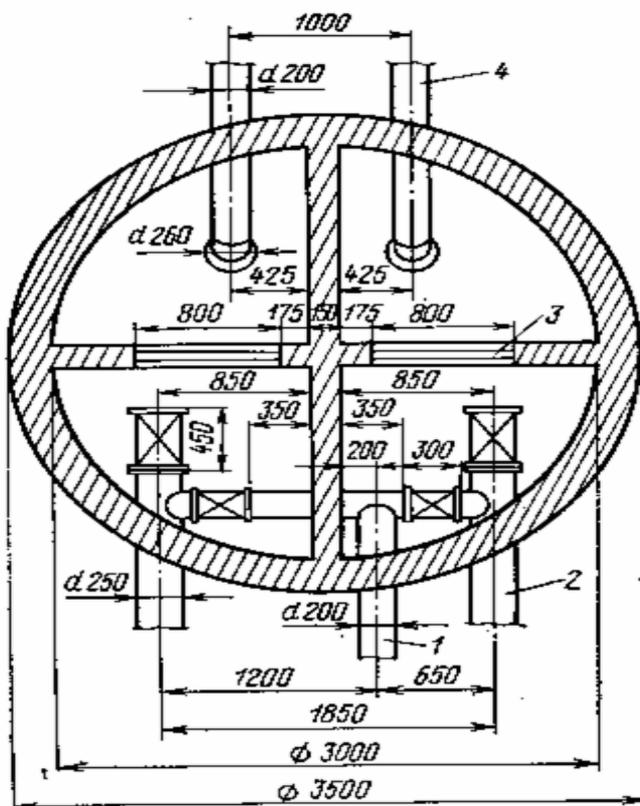


Рисунок 28 – План подземной части берегового колодца

1 – труба для подачи воды на промывки; 2,4 – самотечные и всасывающие трубы; 3 – сетка.

3.2 Расчет береговых водозаборов

Береговой тип водозаборных сооружений применяют при крутых берегах, больших глубинах воды у берега, значительных колебаниях уровней в водоисточнике и при большой производительности водозабора.

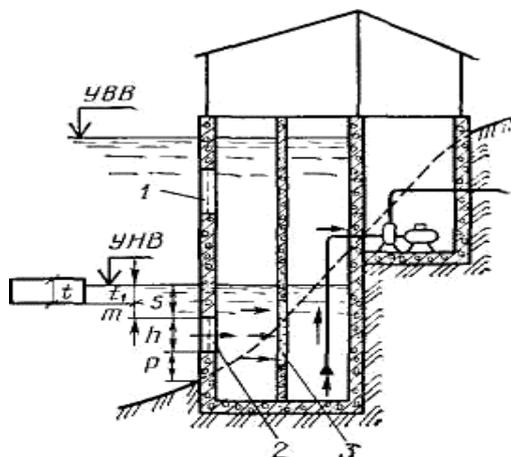


Рисунок 29 – Береговой тип водозаборного сооружения совмещенного типа

1, 2 – верхние и нижние окна с решетками; 3 – сетка

Эти сооружения часто совмещают с насосной станцией I подъема (рисунки 29).

Наименьшую глубину (м) реки (не покрытую льдом) в месте расположения водоприемных отверстий (окон) вычисляют по формуле:

$$H_{\min \text{ расч}} = p + h + s \quad (3.23)$$

где p – высота порога от дна реки до низа водоприемных отверстий, м (принимают не меньше 0,5 м); h – высота приемных окон, м (определяют гидравлическим расчетом); s – конструктивная величина от верха водоприемных отверстий до ложбинки волны, но не менее 0,5 м.

$$h = \sqrt{F_{\text{бр}}} \quad (3.24)$$

При наличии льда расчетная глубина (м)

$$H_{\min \text{ расч}} = p + h + m + t_1 \quad (3.25)$$

где m – расстояние от верха водоприемных окон до нижней кромки льда, м; t_1 – толщина льда, находящаяся ниже УНВ, м; $t_1 = 0,9t$; t – толщина льда, $t = 0,5$ м.

Форма водоприемника берегового типа в плане зависит от размещения оборудования и условий производства работ и может быть круглой, эллипсоидальной или прямоугольной.

Размеры водоприемных окон, решеток, сеток, труб определяют гидравлическим расчетом и обязательно в увязке с режимом работы насосной станции I подъема.

Суммарная площадь входных окон при нормальной работе двух секций с учетом закрытия окон решетками согласно СНиП 2.04.02–84:

$$F_{\text{вх}} = 1,25(q_{\text{расч.водоз}} / V_{\text{вх}})K \quad (3.25)$$

где, $V_{\text{вх}}$ – скорость входа без учета требований рыбозащиты, принимают $V_{\text{вх}} = 0,2 \dots 0,6$ м/с;

K – коэффициент; учитывающий стеснение отверстий стержнями решетки; Для фильтрующего водоприемника с учетом рыбозащиты $K = 2$;

$q_{\text{расч.водоз}}$ – расчетный расход водозаборного сооружения, м³/с.

Для рыбозащиты могут быть поставлены рыбозаградительные сетки

Число и размеры входных окон назначают с учетом эксплуатации и конструктивных соображений. Чтобы решетки были удобны для подъема, рекомендуют высоту их назначать больше ширины. При образовании в водоеме шуги и внутриводного льда предусматривают их электрообогрев, обработку горячим паром и др.

Приемное и всасывающее отделения берегового колодца разделены стенкой, имеющей отверстия для сеток, которые могут быть плоские и вращающиеся.

Размеры отделений берегового колодца определяют из условия размещения оборудования, по конструктивным и эксплуатационным соображениям, которые должны обеспечивать эксплуатацию, осмотр и ремонт оборудования. Соотношения размеров в плане должны обеспечивать по-возможности плавное движение воды от входных окон к сеткам, от сеток к всасывающим трубам.

3.3 Расчет ковшевых водоприемных сооружений

На основании исследований А. С. Образовского рекомендуется устраивать водоприемные ковши с низовым входом (рисунок 30, а, г), с углом отвода 135° (угол, образуемый осью ковша с направлением течения реки).

Водоприемные ковши с верховым входом (рисунок 30, б, в) или углом отвода меньше 90° применяют только для борьбы с наносами. Забор воды из ковша осуществляется при помощи незатопляемого водоприемника берегового типа, совмещенного с насосной станцией и располагаемого в конце ковша (см. рисунок 29).

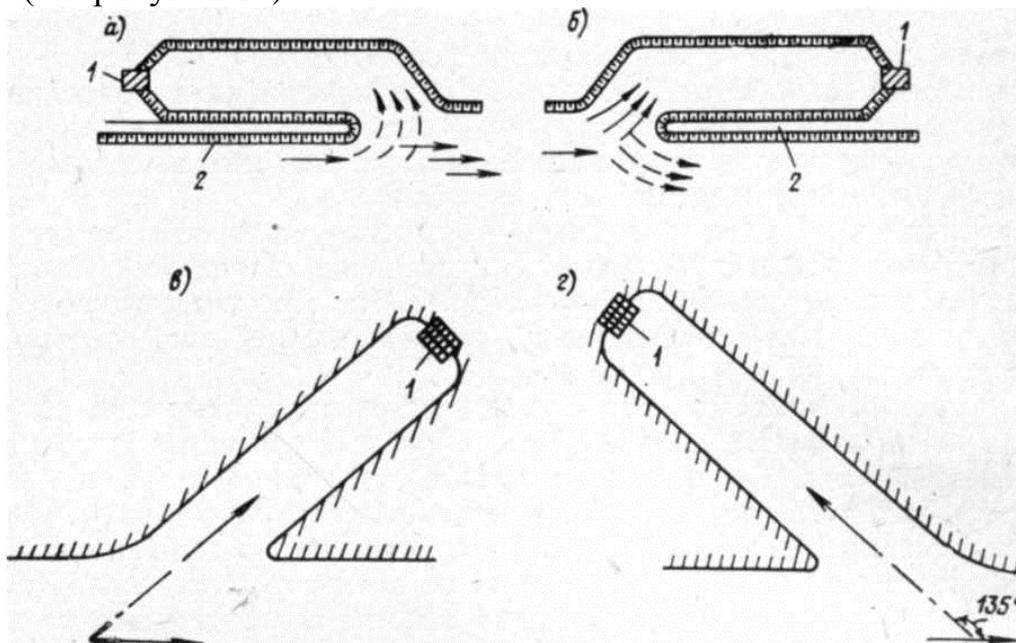


Рисунок 30 – Схемы ковшовых водозаборов.

а и г – с низовым входом; б – и в – с – верховым входом; 1 – водоприемное сооружение; 2 – дамба.

В водоприемных ковшах, устраиваемых для улучшения условий подвода воды из русла реки к водоприемнику, дно заглубляют на 1–0,5 м ниже дна реки, в связи с чем отпадает необходимость в сооружении водоподъемной плотины.

Целесообразно сооружать ковши путем устройства выносной разделительной дамбы в русле реки (см. рисунок 30, а, б). Если водоприемный ковш предназначен для борьбы с шугой, то отметка гребня дамбы должна быть выше уровня воды в период шугообразования, но может заливаться паводковыми водами. В ковшах, предназначенных для борьбы с наносами, дамбу устраивают незаливаемой. Если стеснение русла реки разделительной дамбой недопустимо, то ковш отрывают в береге реки (см. рисунок 30, в, г).

Гидравлический расчет ковша производится в предположении его работы как шугоотстойника по средним уровням периода шугохода.

Отметку дна ковша находят по минимальному уровню воды в конце зимы $V_{МЗУ}$ и глубине под ледяным покровом, которая не должна быть менее 2 – 2,5 м.

Основные размеры ковша определяют из расчета его как шугоотстойника по средним уровням периода шугохода.

Условную среднюю скорость течения в ковше v_k для этих условий принимают 0,05 – 0,15 м/с в зависимости от степени шугоносности речного потока, причем эту скорость принимают тем меньшей, чем сложнее шуголедовая обстановка.

При получившихся расчетных результатах ширины ковша $B_d < 0$ - ширина ковша по дну назначается конструктивно 5–8 м (по габаритам землечистительных машин).

Зная расход воды и приняв среднюю скорость движения воды в ковше, можно определить его длину L и ширину B . Габариты ковша, обеспечивающие всплывание шуги, можно определить по формулам, предложенным А. С. Образовским:

$$B_d = \frac{Q_s}{v \cdot h} - m(2 + h); \quad (3.26)$$

$$L = L_{ex} + L_{ш} + L_m, \quad (3.27)$$

где B_d - ширина ковша по дну в м;

Q_s - расход водозабора в м³/сек;

m - коэффициент заложения откосов ковша;

v - средняя скорость движения воды в ковше в л/сек;

h - глубина воды между ледяным покровом и отложениями наносов в ковше в м;

$L_{вх}$ - длина входной части ковша в м, охватываемая входным водоворотом и равная (1–1,5) B_y ,

B_y - ширина ковша по урезу воды;

$L_{ш}$ - длина участка ковша, где происходит интенсивное отложение шуги под ледяным покровом за весь период шугохода, принимается равной 5 - 35 м;

L_r - рабочая длина ковша, оказавшаяся в действии в конце периода шугохода и равная:

$$L_{\tau} = 28,7 \left(\sqrt{b_{\text{н}}^2 + \frac{0,105}{u_{\text{ш}}} Q_{\text{в}}} - b_{\text{н}} \right) \quad (3.28)$$

где $b_{\text{н}}$ – начальная ширина транзитной струи на входе в ковш в м, равная:

$$b_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{в}}}{H \cdot v_{\text{вх}}} \quad (3.29)$$

H – глубина ковша в м; $v_{\text{вх}}$ - скорость движения воды на входе в ковш;
 $u_{\text{ш}}$ – расчетная гидравлическая крупность шуги, равная 0,016–0,02 м/сек.

Глубину ковша следует определять с учетом специфики его работы, условий забора воды водоприемником берегового типа при минимальном зимнем горизонте, принимая, что толщина льда в ковше будет на одну треть больше расчетной толщины льда в русле реки.

4 ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

4.1 Условия залегания подземных вод

Подземными называют все воды, находящиеся ниже поверхности земли.

Широкое использование подземных вод объясняется тем, что при их использовании не нужны сложные и дорогостоящие сооружения по очистке воды. Отказ от использования этих вод обычно объясняется или потребностью в больших количествах воды, чем могут дать ее подземные запасы, или чрезмерной, с точки зрения потребителя, их минерализацией.

Подземные воды находясь в пустотах внутри горных пород заполняют поры того или иного грунта образуют водоносные пласты, а в трещинах и пещерах они протекают в виде подземных водотоков. Условия движения подземных вод в пористых водоносных пластах и трещинах горных пород различны, поэтому и способы добывания воды из них также различны.

Водоносный пласт подстилается водоупорным пластом, называемым водоупором. Пласты породы, перекрывающие водоносный пласт, называются его кровлей.

Безнапорные подземные воды насыщают водоносный пласт не на всю его толщину, а имеют свободную поверхность, называемую зеркалом грунтовых вод. Уровень воды в колодцах в таком пласте, устанавливается на той же отметке, на которой вода была встречена при вскрытии пласта. Давление над свободной поверхностью грунтовых вод в этом случае равно атмосферному.

Мощность водоносного пласта определяется слоем грунта от водоупора до зеркала грунтовых вод.

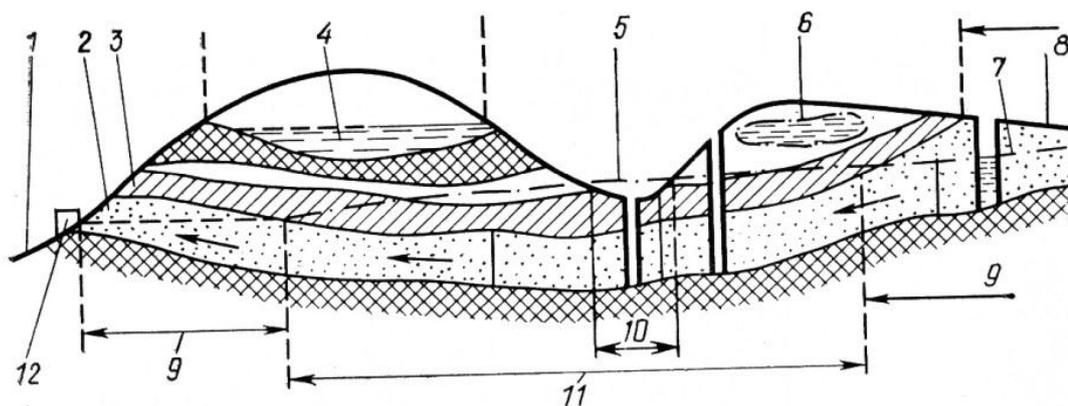


Рисунок 31- Общая схема залегания подземных вод

1 – водонепроницаемый подстилающий слой (водоупор); 2 – водоносный пласт; 3 – водонепроницаемый верхний подстилающий слой (кровля); 4 – грунтовый бассейн; 5 – линия пьезометрического напора; 6 – верховодка; 7 – свободная поверхность грунтовых вод; 8 – область питания; 9 – область безнапорных грунтовых вод; 10 – зона фонтанирующих вод; 11 – область напорных (межпластовых) вод; 12 – родники

Подземные воды, полностью заполняющие водоносный пласт, перекрытый сверху водонепроницаемыми грунтами, и обладающие пьезометрическим напором, называются напорными. Они характеризуются подъемом уровня воды в колодцах выше отметки, на которой вода встречается при устройстве колодца. Давление под кровлей напорного пласта больше атмосферного.

В местах выхода водоносных пластов на поверхность образуются родники или ключи. Родники появляются также в тех местах, где вода из напорных водоносных пластов поднимается на поверхность земли по отдельным трещинам и пустотам водонепроницаемых пород, перекрывающих водоносный пласт.

В верхних слоях иногда встречаются воды, обычно называемые верховодкой. Они характеризуются непостоянством и неопределенностью залегания. Водоупорный слой, подстилающий верховодку, в ряде случаев обнаружить и установить невозможно. Также неопределенно бывает распространение верховодки в горизонтальном направлении (в плане).

При решении вопроса об использовании подземной воды необходимо своевременно установить, залегает она в виде грунтового потока, т. е. водоносного пласта, по порам которого она непрерывно движется, или грунтового бассейна – водоносного пласта, содержащего в своих пустотах некоторый запас неподвижной воды, пополняемой различными путями.

В грунтовом потоке свободная, или напорная, поверхность подземных вод имеет некоторый уклон в направлении движения потока, а в грунтовом бассейне она горизонтальна.

Схема залегания подземных вод изображена на рисунке 31.

Запасы подземных вод можно разделить на динамические и статические.

К динамическим запасам относится количество воды, протекающей в определенный период через какое-либо сечение водоносного пласта. К статическим запасам относится весь запас подземных вод, сосредоточенный в пустотах данного объема грунта и периодически пополняемый за счет инфильтрации, конденсации или некоторого непостоянного притока со стороны. Деление это условно, так как если из водоносного пласта забирать воду в количестве, превышающем приток к нему, то будут расходоваться не только динамические, но и статические запасы воды.

Определение запаса подземных вод требует предварительных гидрогеологических изысканий, которые должны установить все условия залегания подземных вод и условия питания водоносного пласта.

При решении задачи добывания подземных вод для целей водоснабжения необходимо определять эксплуатационные запасы, т. е. то количество воды, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями при заданном режиме эксплуатации и качестве воды в течение всего расчетного срока водопотребления. Выбор и оценку качества воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения выполняют по ГОСТ Р 51232 – 98.

4.2 Типы сооружений для забора подземных вод

Изучение условий залегания и движения подземных вод необходимо для установления наилучшего способа их захвата при помощи особых сооружений, называемых водозаборными, или каптажными.

При проектировании водозабора должно быть обеспечено решение следующих основных задач: добывание из водоносного пласта требуемого количества воды; постоянство и надежность действия каптажа; предохранение воды от возможного ухудшения ее качества при переходе из водоносного пласта в водозаборные сооружения.

Для решения первой задачи необходимо:

1) Вскрыть водоносный пласт так, чтобы общая площадь всех вскрытых пустот (поры или трещины) обеспечивала приток воды в каптажное сооружение в достаточном количестве;

2) Соединить пустоты грунта с каптажным сооружением так, чтобы все количество воды, притекающей к сделанному разрезу водоносного пласта, полностью принималось в каптаж без образования подпора и вымывания частиц грунта.

Для решения второй задачи следует:

1) Каптажное сооружение по возможности основать на водоупорном подстилающем пласте.

2) Правильно организовать охрану дебита каптажа и качества воды получаемой из водоносного пласта.

3) Обеспечить равенство количества притекающей к каптажному сооружению доброкачественной воды и количества воды, забираемой из каптажа и таким образом предупредить возможность поступления недоброкачественных вод.

Для решения последней задачи необходимо место контакта каптажа с водоносным пластом и каптажное сооружение оградить от проникновения в добываемую воду поверхностных загрязнений.

Подземные воды в зависимости от местных условия каптируют различными способами. В каждом случае надо учитывать местные особенности залегания, питания и движения подземных вод.

По методу вскрытия и захвата водоносного пласта каптажные сооружения можно разделить на вертикальные, горизонтальные, лучевые водозаборы и каптажные камеры.

Вертикальный водозабор представляет собой цилиндрическую или призматическую вертикальную выработку в водоносном и перекрывающих его пластах (шахтный колодец, буровая скважина). Вертикальные водозаборы обычно применяют в условиях: глубокого залегания водоносного пласта (более 7 -10м);

большой мощности водоносного пласта, когда устройство горизонтального водозабора вследствие большой стоимости водоотлива нецелесообразно;

этажного залегания водоносных пластов, т. е. в случаях каптирования нескольких водоносных пластов или водоносного пласта, сложенного из ряда чередующихся водоносных и водонепроницаемых слоев.

При горизонтальном водозаборе водоносный пласт вскрывается выработкой, вытянутой в горизонтальном направлении (дренажные трубы, галереи).

Горизонтальные водозаборы обычно применяют при неглубоком залегании водоносного пласта (6...7 м) и сравнительно небольшой его мощности или при каптировании водоносного пласта на горных склонах, когда удобно устройство самотечного водоотлива.

При каптаже родников, приуроченных в большинстве случаев к месту выхода на поверхность водоносного пласта, осуществляют очистку от завалов и осыпей постороннего грунта и захват ключа каптажной камерой.

Окончательный выбор того или иного типа водозабора должен быть обоснован технико-экономическими расчетами.

4.3 Определение производительности вертикальных водозаборов. Типы вертикальных водозаборов и методы их расчета

Вертикальные водозаборы по способу их выполнения и крепления принято делить на трубчатые, шахтные и комбинированные колодцы.

Трубчатые колодцы устраивают посредством бурения; стенки их укрепляют обсадными трубами из различных материалов. Диаметр трубчатых колодцев сравнительно невелик (0,1...0,6 м), но известны случаи применения больших диаметров (0,8...1 м).

Шахтные колодцы имеют в плане различную форму (круглую, прямоугольную, квадратную, многоугольную) и большие размеры в диаметре (1...5 м). Их роют землеройными механизмами или вручную. Стенки шахты крепят различными материалами (деревом, бетоном, камнем и т. д.).

Комбинированный колодец сочетает в себе элементы шахтного (в верхней части) и трубчатого водозабора (в нижней). Несмотря на различие конструкций трубчатого, шахтного и комбинированного колодцев, приток воды к ним определяют одинаковыми методами.

При расчетах притока к вертикальному колодцу соблюдаются следующие допущения:

- 1) Зеркало грунтовых вод считается горизонтальным.
- 2) Поверхность подстилающего водоупорного слоя также горизонтальна.
- 3) Грунт водоносного пласта принимается однородным и, следовательно, коэффициент фильтрации для всех его точек одинаков.
- 4) Движение притекающих к колодцу подземных вод имеет ламинарный характер.

Схема притока подземной воды к колодцу, опущенному в безнапорный водоносный пласт, показана на рисунке 32.

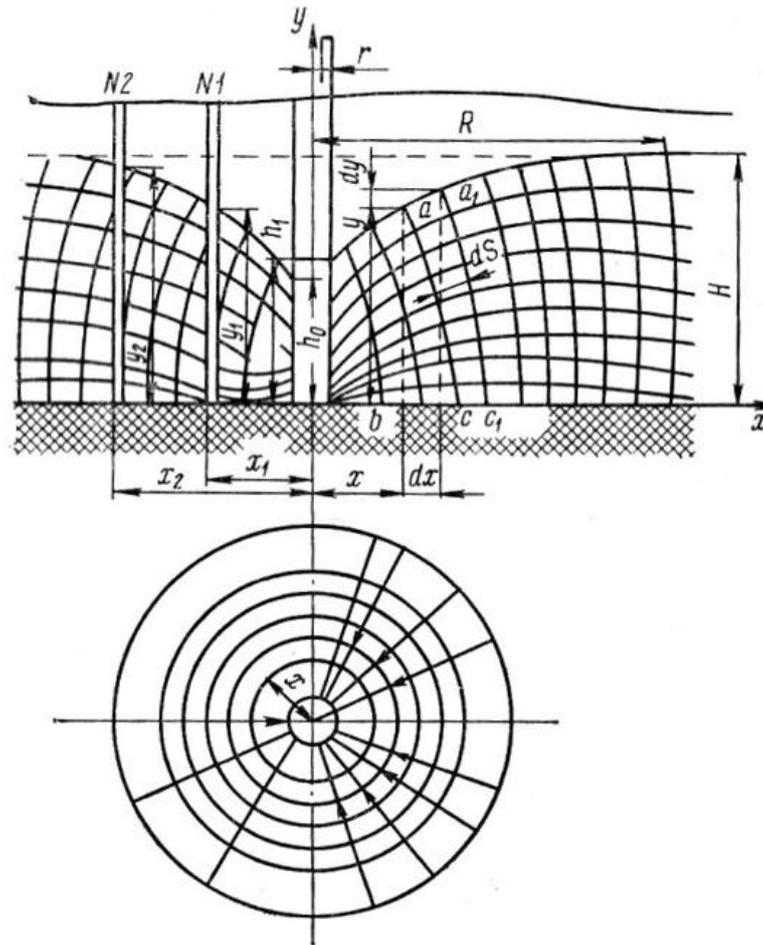


Рисунок 32 – Схема притока воды к колодцу в безнапорном водоносном неограниченном пласте.

Согласно сделанным допущениям зеркало грунтовых вод до откачки из него воды было горизонтально, т. е. колодец опущен в грунтовый бассейн, а не в грунтовый поток. Вокруг колодца при откачке воды образуется воронка депрессии. Сечения этой воронки вертикальными плоскостями, проходящими через ось колодца, в любом направлении дадут симметричные кривые депрессии. Расстояние от оси колодца до точки касания линии первоначального (до откачки) статического горизонта грунтовых вод кривой депрессии называется радиусом влияния колодца и обозначается в дальнейшем R_d ;

При сделанных допущениях геометрическое место точек касания кривых депрессий и непониженной поверхности грунтовых вод представляет в плане окружность, описанную из центра колодца радиусом R_d .

Для определения количества воды, притекающей к колодцу, необходимо найти значения площади какой-либо поверхности равного напора ω_3 (например, ac в разрезе) и скорости фильтрации.

При известном коэффициенте фильтрации K_ϕ количество воды, протекающей через эту поверхность, будет равно

$$q = \omega_3 K_\Phi \frac{dy}{dS} \quad (4.1)$$

где dy – разность отметок напора на эквипотенциальной поверхности ac и ближайшей эквипотенциальной поверхности a_1c_1 , находящейся от первой по линии токов на расстоянии dS .

При сравнительно небольших понижениях уровня воды в колодце и, следовательно, незначительном уклоне касательной к кривой депрессии для упрощения расчета можно принять, что поверхности равного напора цилиндрические и что $dy/dS \approx dy/dx$ (напор на эквипотенциали, находящейся от оси колодца на расстоянии x , равен y).

Тогда, с указанными выше допущениями, приток воды к колодцу будет

$$q = 2\pi x y K_\Phi (dy/dx); \quad (4.2)$$

разделяя переменные, получим:

$$q (dx/x) = 2\pi K_\Phi y dy,$$

где x изменяется от r_0 до R_D и y – от h_0 до H .

Интегрируя в этих пределах

$$q \int_{r_0}^{R_D} \frac{dx}{x} = 2\pi K_\Phi \int_{h_0}^H y dy, \quad (4.3)$$

получим:

$$q = (\ln R_D - \ln r_0) = 2\pi K_\Phi \frac{H^2 - h_0^2}{2} \quad (4.4)$$

или

$$q = \pi K_\Phi \frac{H^2 - h_0^2}{\ln \frac{R_D}{r_0}}. \quad (4.5)$$

Переходя к десятичным логарифмам, имеем:

$$q = 1,36 K_\Phi \frac{H^2 - h_0^2}{\lg \frac{R_D}{r_0}}. \quad (4.6)$$

При двух наблюдательных скважинах № 1 и №2 (рисунки 32) можно интегрировать для x в пределах от x_1 до x_2 и для y от y_1 до y_2 ; тогда

$$q = 1,36 K_\Phi \frac{y_2^2 - y_1^2}{\lg \frac{x_2}{x_1}} \quad (4.7)$$

Если взять пределы интегрирования от x до R_0 и от y до H , получим уравнение кривой депрессии

$$y^2 = H^2 - q \ln \left(\frac{R_0}{x} \right) \quad (4.8)$$

Или

$$y^2 = H^2 - q \lg_{10} \left(\frac{R_0}{x} \right) \cdot 1.36 K_\phi \quad (4.9)$$

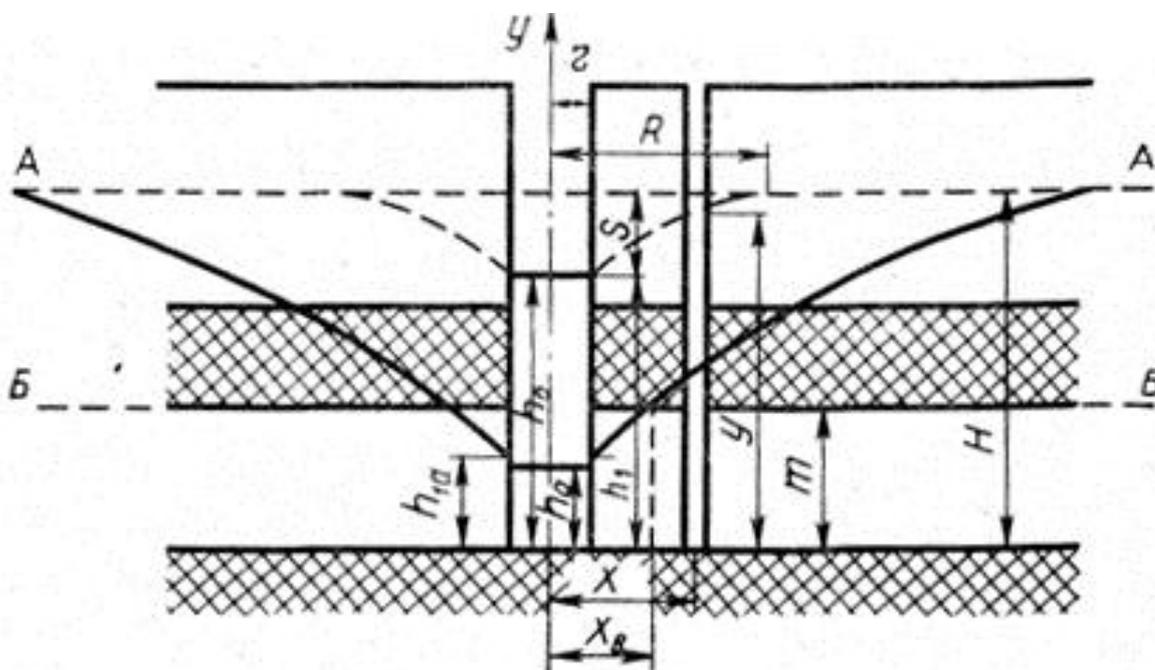


Рисунок 33 – Схема притока воды к колодецу в напорном водоносном пласте.

Если колодец опущен в напорный водоносный пласт (рисунок 33), то пьезометрическая поверхность подземных вод находится выше кровли пласта BB . Количество воды, протекающей через цилиндрическую поверхность, находящуюся на расстоянии x от оси колодца, составит:

$$q = 2\pi x m K_\phi \cdot \left(\frac{dy}{dx} \right) \quad (4.10)$$

Разделяя переменные, получим:

$$q \cdot \frac{dx}{dy} = 2\pi K_\phi dy \quad (4.11)$$

Интегрируя в пределах для x от r_0 до R_d и для y от h_0 до H , получим

$$q = 2\pi m K_{\phi} \frac{H-h_0}{\ln \frac{R_d}{r_0}}. \quad (4.12)$$

Переходя к десятичным логарифмам, имеем

$$q = 2,72 m K_{\phi} \frac{H-h_0}{\ln \frac{R_d}{r_0}}. \quad (4.13)$$

Уравнение (4.13) справедливо лишь при понижениях уровня воды в колодце, при которых $h_0 > m$.

4.4 Характеристика исходных данных для расчета вертикального водозабора

Радиус воронки депрессии увеличивается как при откачке воды с постоянным дебитом (рисунок 34, а), так и при откачке с сохранением постоянной отметки уровня воды в колодце (рисунок 34, б). В последнем случае производительность колодца непрерывно уменьшается.

Скорость расширения воронки депрессии зависит от водопроницаемости пласта $K_{\phi} h_{cp}$ и водоотдачи породы μ , соотношение которых называется *коэффициентом уровнепроницаемости* водоносного пласта a_y м/сут

$$a_y = \frac{(K_{\phi} h_{cp})}{\mu}, \quad (4.14)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации

Размерность a_y при K_{ϕ} в м/сут и h_{cp} в м будет м²/сут. Значение $h_{cp} = (H + h_1)/2$ (см. рисунок 32)

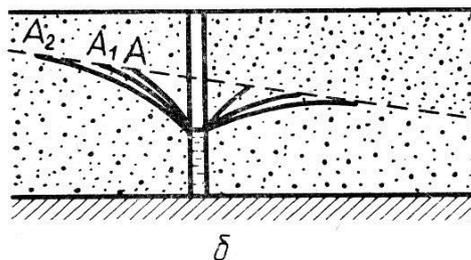
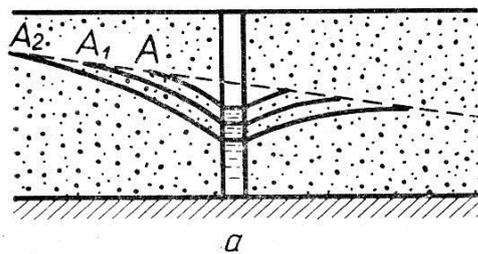


Рисунок 34 – Схема формирования воронки депрессии при постоянном дебите колодца – а; при постоянном уровне воды – б.

В напорных водоносных пластах при откачке создается депрессионное понижение в пьезометрической поверхности пласта, аналогичное воронке депрессии в свободной поверхности безнапорного пласта (см. рисунок 34).

Таблица 3 - Ориентировочные значения K_{ϕ} и μ

Породы	K_{ϕ} , м/сут	μ
Глинистые грунты, суглинки	0,01...0,1	0,01...0,05
Пески пылеватые, супеси	0,1...1,0	0,1...0,15
Пески мелкие	1...5	0,15...0,2
Пески средней крупности и гравелистые	5...30	0,2...0,25
Галечно-гравелистые отложения	100...200	0,25...0,3
Известняки	20...50	0,005...0,1
Песчаники	10...20	0,001...0,003

Скорость распространения давления в пласте характеризуется **коэффициентом пьезопроводимости** a_{π}

$$a_{\pi} = \frac{K_{\phi}}{r\beta_b + \beta_c}, \quad (4.15)$$

где r – пористость пласта;

$\beta_b \approx 2,7...2,5 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент объемной упругости воды (размерность m^{-1});

$\beta_c \approx 0,3...2,0 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент объемной упругости горных пород водоносного пласта, (размерность m^{-1});

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации пласта, м/сут.

Значения K_{ϕ} и μ приведены в таблице 3.

Зависимость понижения уровня воды S_i в любой точке зоны влияния колодца от продолжительности откачки воды W . Н. Щелкачевым выражена формулой

$$S_i = \frac{Q}{4\pi K_{\phi} m \cdot \left[-E_i \cdot \left(\frac{-r_i^2}{4at} \right) \right]}, \quad (4.16)$$

где S_i – понижение напора в точке, отстоящей от оси колодца на расстоянии r_i , спустя t сут (если K_{ϕ} в м/сут) от начала откачки;

E_i –интегральная показательная функция, которая при ее аргументе $r_i^2/(4at) < 0,1$ (т. е. в огромном большинстве случаев) может быть заменена логарифмической и формула (1.10) преобразуется

$$S = \left(\frac{Q}{4\pi K_{\phi} m} \right) \cdot \ln 2.25 \frac{at}{r_i^2} \quad (4.17)$$

Тогда, принимая $R_{\Pi}^2 = 2.25 at$, получаем

$$R_{\Pi} = 1.5\sqrt{at} \quad (4.18)$$

где a – коэффициент уровнепроводимости безнапорного водоносного пласта или коэффициент пьезопроводимости напорного пласта, $m^2/сут$;

t – продолжительность откачки воды из колодца, сут. Обычно принимают $t = 10\,000$ сут., т.е. 27 лет.

Понижение уровня воды в скважине при откачке продолжительностью t сут в напорном пласте определяют по формуле

$$S = \frac{Q}{2\pi K_{\phi} m} \ln \left(\frac{R_n}{r_0} \right) = \frac{Q}{2\pi K_{\phi} m} \ln \left(\frac{1.5\sqrt{a_n t}}{r_0} \right) \quad (4.19)$$

где r_0 – радиус скважины.

В безнапорном водоносном пласте понижение уровня в любой точке зоны влияния на расстоянии r_i от скважины

$$S_i = H_i - \sqrt{H_i^2 - (Q_i/\pi K_{\phi i}) \ln 1.5\sqrt{a_y t}/r_i} \quad (4.20)$$

Для одиночной скважины понижение уровня воды определяют по формуле (4.20), в которой принимают $S_i = S_0$ и $r_i = r_0$. С достаточной для практики точностью можно в безнапорном пласте определять глубину понижения уровня воды в зоне влияния скважины по формуле (4.19), принимая $r_0 = r_i$, т.е. расстояние от скважины до точки, для которой определяется глубина откачки.

По исследованиям Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (В. С. Усенко и М. О. Чабан), возможную ошибку в процентах (δS) можно определить в этом случае по кривым устойчивости (рисунок 35). По оси абсцисс отложены значения S_0/H для скважины, из которой откачивается вода, по оси ординат отношения значений глубины понижения S_i (в точке i в зоне влияния скважины) к мощности водоносного пласта H . Чем больше S_0/H , тем больше погрешность при определении небольших понижений уровня воды в отдаленных от скважины зонах.

В формулах (4.19) и (4.20) величина $\ln(R_{\pi}/r)$ характеризует гидравлическое сопротивление от гидрогеологических условий, которое в общем виде может быть выражено формулой

$$R = R_0 + \beta\xi, \quad (4.21)$$

где $R_0 = \ln R_{\pi}/r_0$, $\beta = Q_0/Q$ – отношение дебита данного колодца к дебиту всего водозабора. Для одиночной скважины $\beta = 1$;

ξ – дополнительное сопротивление, определяющее фильтрационное несовершенство колодца (см. рисунок 40).

Производительность водозабора для напорных пластов:

$$Q = \frac{2\pi K_{\phi} m S_{\text{доп}}}{R_0 + \beta\xi}, \quad (4.22)$$

для безнапорных пластов

$$Q = \frac{\pi K_{\phi} m S_{\text{доп}} (2H - S_{\text{доп}})}{R_0 + \beta\xi}, \quad (4.23)$$

где $S_{\text{доп}}$ – оптимальное понижение уровня воды в колодце, м; H – бытовая мощность водоносного пласта, м.

Влияние на дебит колодца слоя воды в нем $h_0 = H - S$ имеет огромное практическое значение. Откачкой воды можно изменять положение уровня воды в колодце, а следовательно, регулировать производительность колодца.

Отметка уровня воды снаружи колодца всегда выше отметки уровня воды в нем. Эта разность отметок при увеличении глубины понижения уровня воды в колодце возрастает. Скачок напоров увеличивается при повышении количества откачиваемой из колодца воды.

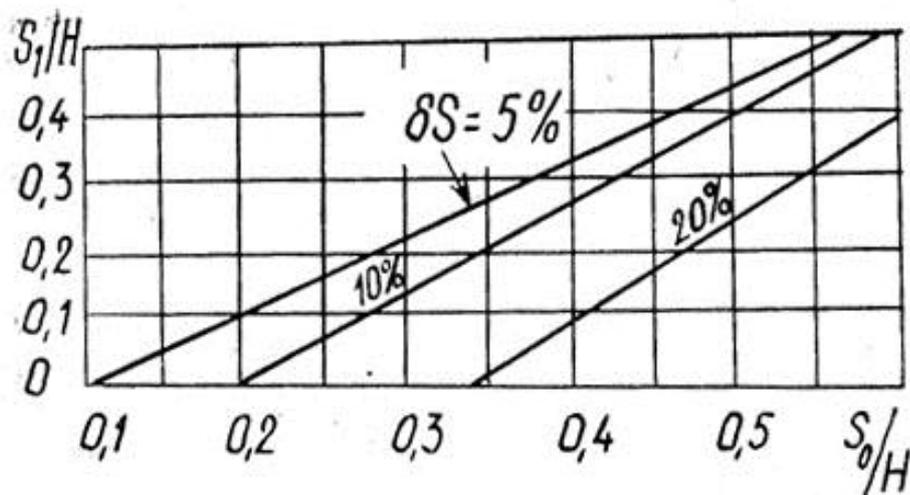


Рисунок 35 – Погрешность δS при замене безнапорного режима напорным

Чем больше водопроницаемость грунта, тем меньшее значение Δh . Кроме того, некоторое дополнительное понижение уровня воды в колодце, а следовательно, и увеличение Δh обусловлены потерями напора при втекании воды в колодец.

Для правильного проектирования фильтра в скважине необходимо знать значения разрыва уровней Δh (или так называемый участок высачивания в скважинах с незатопленным фильтром). В напорных пластах будет разрыв пьезометрических поверхностей.

С.К. Абрамов предложил следующую эмпирическую формулу, учитывающую влияние на Δh основных факторов:

$$\Delta h = a \sqrt{\frac{QS}{K_{\phi} F}} \quad (4.24)$$

где Δh – скачок уровней, см;

Q – дебит колодца, м³/сут;

S – понижение уровня воды внутри колодца при откачке, м;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут;

F – рабочая площадь фильтра, м², равная πdl , где $\pi=3,14$;

d – внешний диаметр фильтра, м;

l – длина фильтра, м.

В таблице 4 представлены значения коэффициента a .

Таблица 4 - Значения коэффициента a даются только для совершенных трубчатых колодцев в зависимости от конструкции их фильтров:

Тип фильтра	a
для сетчатых и гравийных фильтров	15...25
для дырчатых и проволочных фильтров	6...8

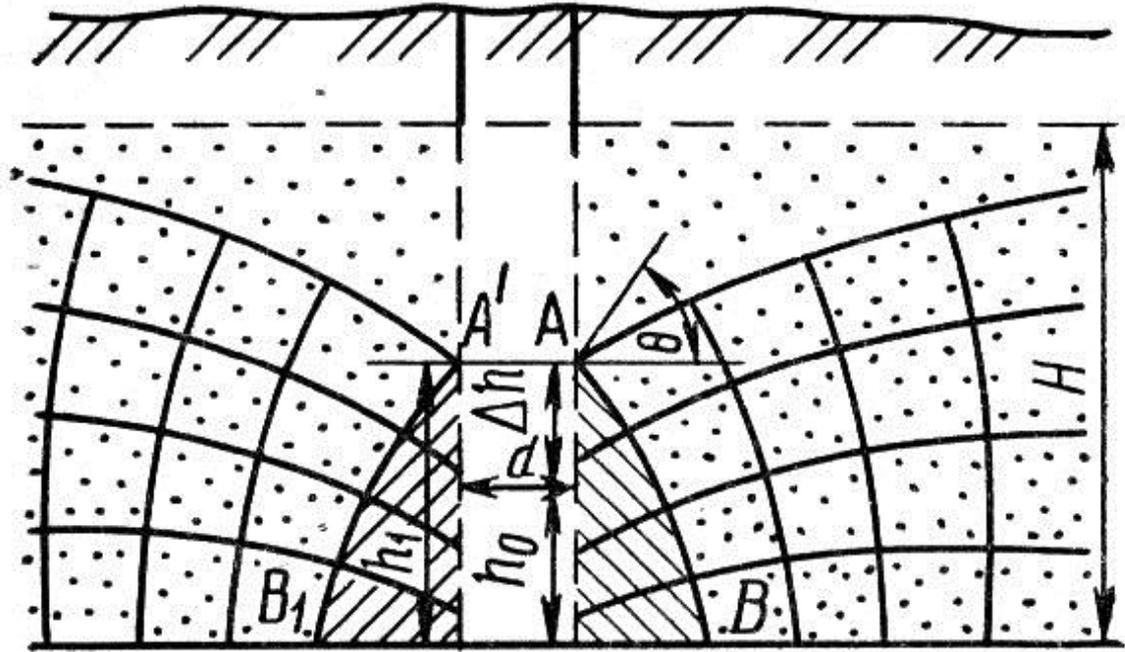


Рисунок 36 – Схема фильтрационных токов у стен колодца и образования прыжка уровней.

Для скважин несовершенного типа С. К. Абрамов рекомендует увеличивать значение коэффициента a в 1,25...1,5 раза и тем больше, чем выше степень несовершенства колодца. Максимальное значение Δh будет при $S = H$, т. е. когда слой воды в колодце $h_0 = 0$. Слой воды у наружной поверхности колодца при этом будет минимальным $h_1 = h_0 + \Delta h = \Delta h$. Дебит же колодца должен быть в этом случае максимальным.

Технически этого возможно достигнуть только при некотором заглублении дна колодца в водоупор. В этот случае в зумпф вода будет стекать по стенкам колодца.

Дебит колодца будет расти при изменении h_0 от H до 0. Однако практически нет нужды понижать уровень воды в колодце более некоторого предела, так как дальнейшее понижение очень незначительно увеличивает дебит колодца и повышает стоимость подъема воды из него.

На рисунке 37 показана взаимозависимость h_0/H и $\Delta h/H$. Разность $h_1/H - h_0/H = \Delta h/H$ возрастает при уменьшении диаметра колодца и уменьшается при увеличении водопроницаемости грунта водоносного пласта. Это хорошо иллюстрируется рисунком 38.

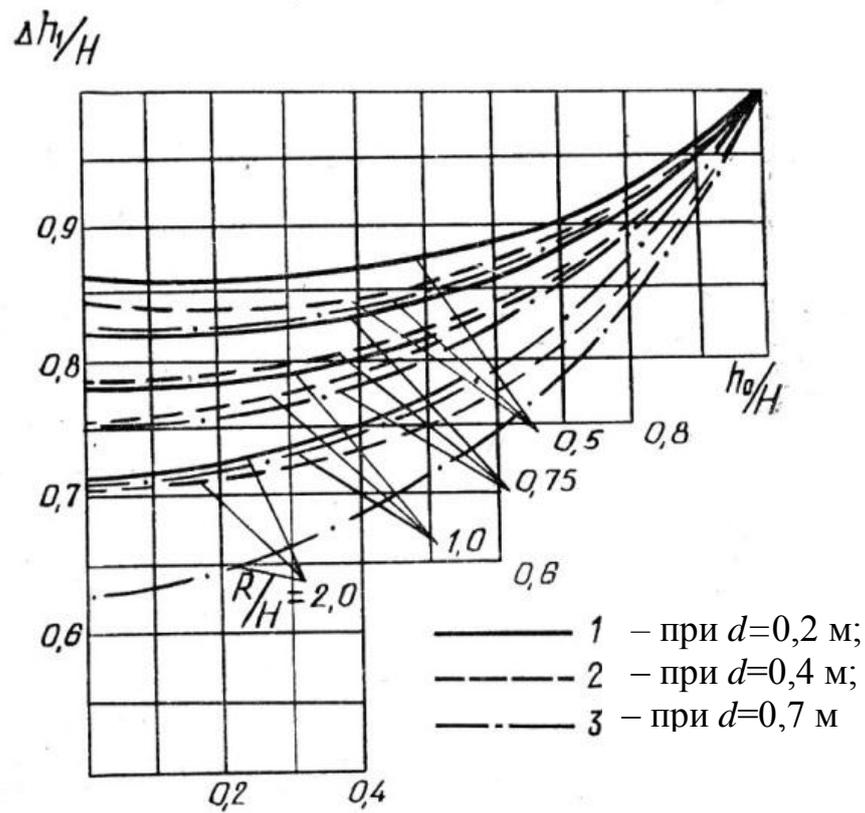


Рисунок 37 – График к определению участка высачивания для совершенной скважины с незатопленным фильтром .

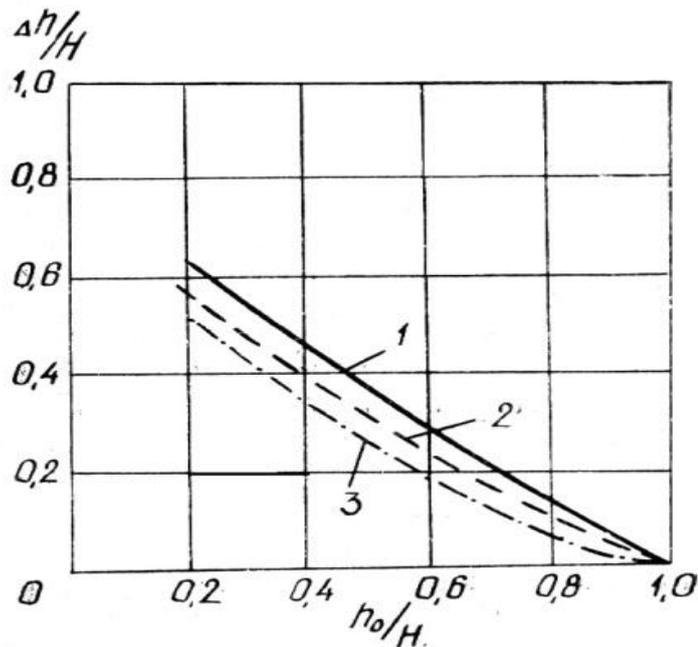


Рисунок 38 – Зависимость разрыва уровней внутри и у внешней стороны стенки колодца.

Пробной откачкой из колодца при различных понижениях: и нем уровня воды можно легко установить этот предел практически целесообразного понижения.

4.5 Приток воды к несовершенному колодецу

Несовершенным или неполным называется колодец, прорезающий не всю мощность водоносного пласта и не достигающий водоупора (рисунок 39). В его питании участвует не только слой воды мощностью H_1 . К нему поднимаются линии токов из слоев грунта, лежащих ниже дна колодца. Та часть водоносного пласта, которая питает колодец называется *активной зоной*.

Следовательно, определяя дебит колодца по формуле (4.23), подставив в нее величину $H = H_1$, т. е. считая, что мощность водоносного пласта равняется расстоянию от статического горизонта до дна колодца, получим уменьшенное значение q . В действительности колодец при заданной глубине откачки будет давать больший дебит.

Мощность активной зоны $H_{ак}$ можно определять в зависимости от глубины понижения S (по данным акад. Е. А. Замарина) см. таблицу 5.

Таблица 5 - Мощность активной зоны $H_{ак}$ в зависимости от глубины понижения S

S	$0,2 H_1$	$0,3 H_1$	$0,5 H_1$	$0,8 H_1$
$H_{ак}$	$1,3 H_1$	$1,5 H_1$	$1,7 H_1$	$1,85 H_1$

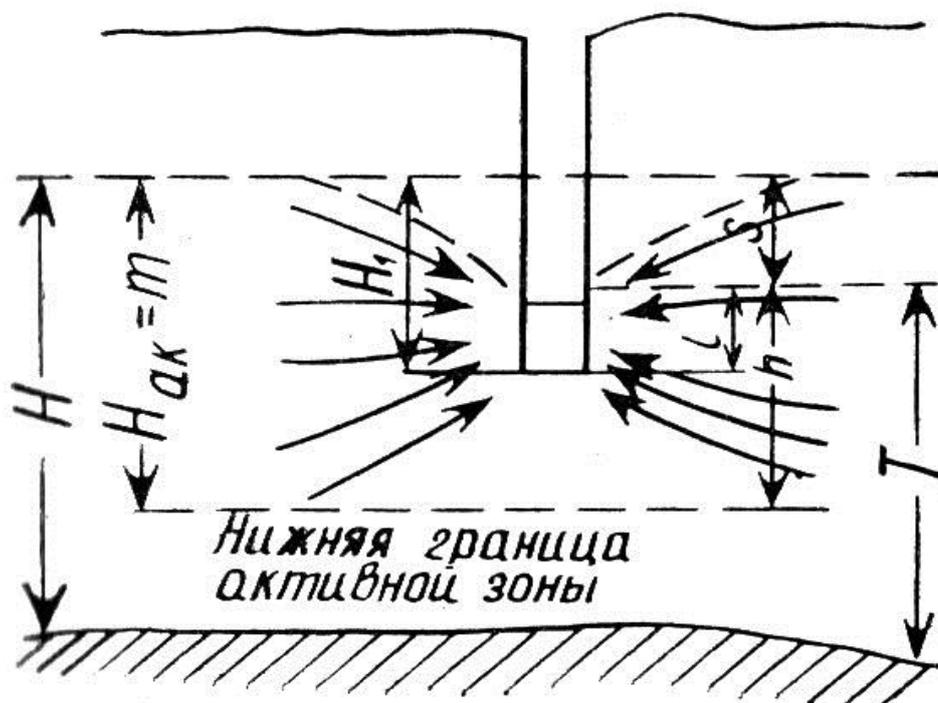


Рисунок 39 – Схема притока воды в несовершенный колодец.

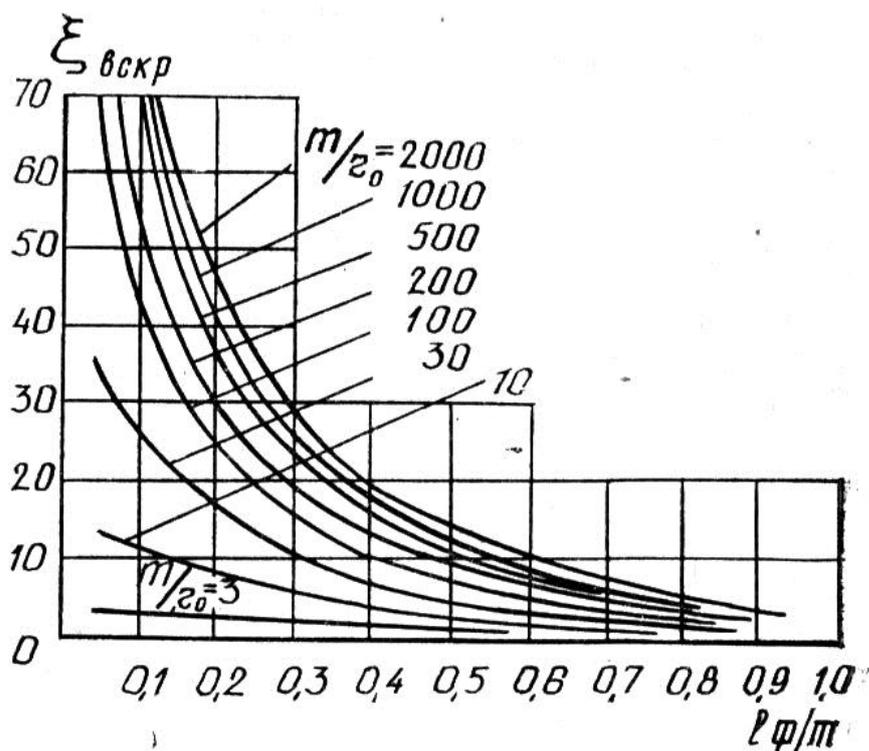


Рисунок 40 – График сопротивления, определяющего фильтрационное несовершенство колодца.

Если $H_{ак}$ по данным таблицы 5 получается больше, чем H , то необходимо определять дебит колодца по уравнению (4.23).

Несовершенство вскрытия водоносного пласта учитывается фильтрационным сопротивлением ξ , значение которого зависит от параметров m/r_0 и l_ϕ/m (рисунок 40).

В безнапорных пластах $m \approx H_{ак} - S_0/2$. При размещении фильтра у подошвы водоносного пласта l_ϕ равно длине фильтра l . При захвате верхних слоев водоносного пласта часть фильтра при откачке обнажается и $l_\phi = l - S_0/2$.

При размещении фильтра в средней части водоносного пласта значения ξ уменьшаются в 1,8...2 раза.

4.6 Зависимость дебита колодца от глубины понижения уровня воды в нем

При изысканиях, проектировании и эксплуатации колодцев необходимо знать, какое количество воды может дать колодец при заданном понижении уровня воды в нем или при каком понижении можно получить потребное количество воды.

Ответ на эти важнейшие вопросы можно дать только в том случае, если известна зависимость дебита колодца q от понижения уровня воды в нем S . Эту форму зависимости $q = f(S)$ можно легко определить по уравнениям (4.6) и (4.13). Имеем

$$q = \frac{1.36K_{\Phi}}{lgR - lgr_0} (H^2 - h_0^2) \quad (4.25)$$

Заменив в этом выражении $h_0 = H - S_0$, получим

$$q = \frac{1.36K_{\Phi}}{lgR - lgr_0} 2HS_0 - \frac{1.36K_{\Phi}}{lgR - lgr_0} S_0^2 \quad (4.26)$$

Обозначив

$$B = \frac{1.36K_{\Phi}}{lgR - lgr_0} \text{ и } A = \frac{2H \cdot 1.36K_{\Phi}}{lgR - lgr_0}, \quad (4.27)$$

получим;

$$q = AS_0 - BS_0^2 \quad (4.28)$$

Уравнение (4.28) представляет собой уравнение параболы (рисунок 41). Если глубину откачки замерять внутри колодца, то S_0 должно включать:

- разность отметок статического уровня воды и уровня воды у внешней поверхности колодца, т. е. значение понижения уровня воды у колодца S_1 при откачке;
- потери напора h_w при вытекании из выходного грунтового клина, ограниченного с одной стороны эквипотенциальной поверхностью, проходящей через точку выхода в колодец кривой депрессии, а с другой стороны стенкой колодца;
- потери напора h_{Φ} в водоприемной части колодца, т. е.

$$S_0 = S_1 + h_w + h_{\Phi} = S_1 + \Delta h. \quad (4.29)$$

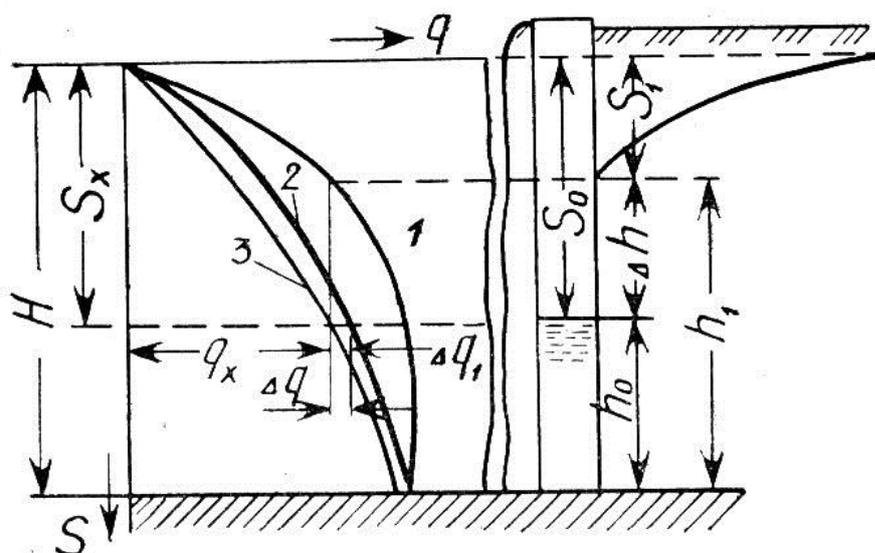


Рисунок 41 – Кривые зависимости дебита от понижения уровня воды в колодце (в безнапорном водоносном пласте).

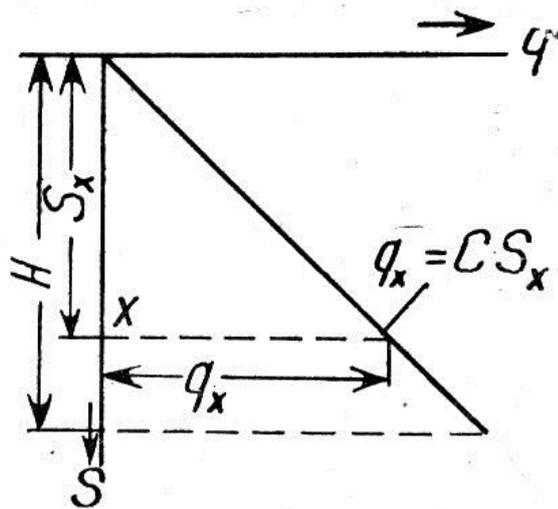


Рисунок 42 – Зависимость дебита колодца от глубины откачки в напорном водоносном пласте

В уравнении (4.6) потери напора не учитываются, и теоретическая кривая (4.28) дает отклонения от кривых дебита, полученных на основании опытных откачек. Поэтому наиболее правильно определять параметры параболы (4.28) по данным опытных откачек при 4...5 понижениях. На рисунке 41 показаны три кривые зависимости дебита от понижения уровня. Кривая 1 иллюстрирует зависимость дебита от понижения уровня у внешней поверхности колодца S_1 . Кривая 2 дает зависимость q от S_1 по уравнению (4.20) и кривая 3 – действительную зависимость q от S_0 по данным откачки.

Из рисунка 41 видно, что вследствие потери напора дебит колодца при любом понижении S_x меньше возможного притока воды к колодцу. Необходимо при разработке конструкции колодцев стремиться к уменьшению Δh , а следовательно, к увеличению дебита колодца.

В напорных водоносных пластах дебит колодца определяется по уравнению (4.13)

$$Q_x = \frac{2,72mK_\Phi}{\lg R - \lg r} S_x$$

или

$$Q_x = C S_x, \quad (4.30)$$

т. е. по уравнению прямой (рисунок 42).

При делении Q_x на S_x получим дебит колодца на 1 м понижения уровня воды в нем, или удельный дебит

$$q_y = Q_x / S_x = C. \quad (4.31)$$

Зная удельный дебит, легко определить по заданному понижению S_a соответствующий q_a

$$q_a = q_y S_a \quad (4.32)$$

4.7 Трубчатые колодцы. Общая схема трубчатого колодца

Трубчатые колодцы получили название от способа крепления стенок. Стенки их закрепляют трубами из различных материалов. Трубчатые колодцы очень распространены за рубежом и широко применяются в Российской Федерации, главным образом для добывания артезианских вод.

Водоносные пласты, залегающие достаточно глубоко (более 50...100 м), капают обычно только трубчатыми колодцами. При меньшей глубине залегания достаточно мощного и производительного водоносного пласта также выгодно их устройство.

Особенно целесообразно каптирование трубчатыми колодцами нескольких водоносных пластов при их этажном залегании.

Сооружение трубчатых колодцев становится нецелесообразным в пластах малой производительности, на какой бы глубине они ни залежали. Учитывая изложенное, можно считать, что трубчатые колодцы не следует применять в водоносных пластах, залегающих в суглинках и мелких глинистых песках.

Общая схема устройства трубчатого колодца показана на рисунке 43. Колодец состоит из трех частей: водоприемной части 1 и 2, эксплуатационной колонны труб 3 и оголовка 4.

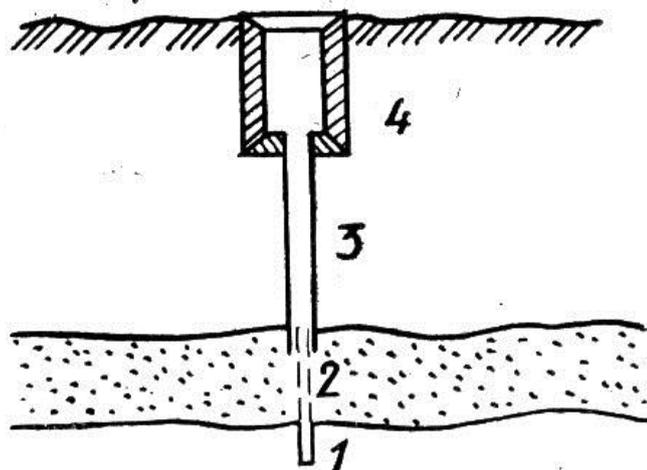


Рисунок 43 – Общая схема трубчатого колодца.

1 – отстойник; 2 – водоприемная часть – фильтр; 3 – эксплуатационная колонна труб; 4 – оголовок.

Водоприемная часть служит для приема воды из водоносного пласта. Она может включать фильтр 2, через который вода поступает в колодец, и отстойник 1, служащий для отложения в нем частиц грунта, проникнувших через фильтр в колодец.

В эксплуатационной колонне могут размещаться водоподъемные приспособления. Кроме того, через эксплуатационную колонну осуществляется подъем и опускание фильтра, а также промывка последнего на месте. Оголовок предохраняет колодец от попадания в него загрязнений. В нем могут находиться устройства для подъема воды и наблюдения за работой колодца.

Водоприемная часть – наиболее важный и ответственный элемент трубчатого колодца.

Нормальная работа колодца в значительной степени зависит от правильности конструкции и устройства водоприемной части. При эксплуатации скважин должны соблюдаться следующие условия:

Водоприемная часть должна принимать из водоносного пласта только воду и не пропускать в колодец частицы грунта в количествах свыше известного предела, и то только в начале эксплуатации колодца.

Потери напора, т. е. входные сопротивления при втекании воды через водоприемную часть в колодец, должны быть по возможности наименьшими, так как чем больше потери напора в водоприемной части, тем меньше полезная производительность колодца.

Механическое закупоривание водоприемных отверстий частицами грунта должно быть минимальным и возможно медленнее увеличивающимся во времени. Если же такое закупоривание неизбежно, то должна быть обеспечена возможность легкой прочистки водоприемной части.

Водоприемная часть должна быть устроена из химически стойких материалов, не подвергающихся в грунтовых водах интенсивному химическому разрушению (коррозии), и не допускать химического закупоривания водоприемных отверстий.

Она должна обладать достаточной механической прочностью, выдерживать давление грунта и не разрушаться при подъеме и опускании фильтра.

Водоприемная часть должна быть достаточно дешева и иметь по возможности наименьшие размеры, так как от них зависит диаметр и стоимость всего трубчатого колодца. Понятно, что уменьшение размеров водоприемной части не должно идти за счет снижения дебита колодца.

Перечисленные требования к конструкции колодца многообразны и противоречивы. Так, для уменьшения входного сопротивления необходимо увеличивать водоприемные отверстия, но это делает возможным проникновение песка в колодец. Сокращение размера водоприемных отверстий уменьшает опасность попадания в колодец частиц грунта, но увеличивает входное сопротивление и повышает опасность закупоривания фильтра.

Увеличение механической прочности водоприемной части может быть обеспечено также за счет уменьшения ее водопроницаемости и увеличения стоимости колодца.

Работа водоприемной части в значительной степени зависит от свойств водоносного пласта, дебита колодца и типа водоподъемника. Поэтому нельзя создать конструкцию водоприемной части, одинаково приемлемую для всех условий. Ее следует разрабатывать для каждого колодца с полным учетом всех условий будущей работы.

Остановимся на двух важных общих вопросах – химической стойкости и механической прочности водоприемной части.

Нормальная работа водоприемной части может быть нарушена в результате следующих двух причин:

1. Выделение из воды и осаждение на стенках водоприемных отверстий, а также на окружающих фильтр частицах грунта железистых, известковых, марганцевых и других соединений. Отложения постепенно закупоривают все отверстия, через которые вода проникает в колодец. В результате входные сопротивления возрастают, и при одном и том же дебите колодца уровень воды в нем понижается. Постепенно это может привести к полному закрытию всех отверстий и к иссяканию колодца. Особенно опасно отложение солей на частицах грунта вокруг колодца, так как оно может привести к прекращению его эксплуатации.

2. Химическое и электрохимическое разрушение материала водоприемной части. В результате постепенной коррозии фильтра и труб его механическая прочность уменьшается и песок водоносного пласта прорывается в колодец.

Хотя оба вида разрушения водоприемной части отличаются друг от друга, но в большинстве случаев они протекают одновременно. И разрушение, и химическое закупоривание в той или иной степени наблюдаются во всех грунтовых водах.

Для противодействия этим вредным явлениям необходимы профилактические мероприятия.

Фильтр колодца служит только основанием для отложения на нем выпадающих из раствора солей (железа, кальция, марганца), не оказывая влияния на процесс их выделения. Применяя соответствующие материалы для фильтра (пластмасса, керамика, дерево), можно достигнуть легкого удаления промывкой или прочисткой отложившихся солей.

Выделение солей из воды в большинстве случаев вызывается изменением давления при переходе частичек воды из пор водоносного пласта в колодец и нарушением стабильности газового состава воды. Имеет значение также проникновение в колодец воздуха и незначительное повышение температуры воды, которая вступает в теплообмен с вышележащими грунтами и воздухом. Воздух проникает в колодец главным образом через водоподъемные устройства и в особенности через эрлифт. Поэтому при применении эрлифта фильтры в водах, содержащих большое количество железа, быстро разрушаются. Чтобы воздух не проникал в колодец, необходимо следить за исправностью приемных клапанов насосов и герметичностью всасывающих и нагнетательных труб.

Также не следует допускать в колодец воду, вытекающую из сальников насоса и отверстий, через которые она выпускается зимой для предупреждения замерзания насосных труб. Эта вода, бывшая в соприкосновении с воздухом, способствует отложению солей и коррозии металла.

Для предохранения водоприемной части от коррозии необходимо по возможности, особенно в агрессивных водах, применять химически стойкие материалы (керамика, пластмасса, нержавеющая сталь) и материалы, которые не вызывают электролиза. В кислых и минерализованных водах при устройстве в оцинкованных трубах медного фильтра образуется гальванический элемент, обуславливающий разрушение материала фильтра. Это разрушение протекает тем сильнее, чем дальше друг от друга отстоят в ряде Вольта соприкасающиеся металлы. Поэтому в местах соприкосновения разнородные металлы необходимо изолировать.

Механическая прочность водоприемной части должна быть обеспечена с учетом следующих нагрузок:

- растяжение при вытаскивании фильтра из грунта вверх с зацеплением штангами за головку фильтра;
- внешнее давление грунта и воды; продольный изгиб от нагрузки сверху надфильтровой колонной труб или при вытаскивании фильтра вверх с зацеплением штанг за днище фильтра;
- удары или зацепления за отдельные неровности внутренней поверхности эксплуатационных труб при подъеме и опускании фильтра.

Для защиты поверхности фильтра от указанных повреждений на нем можно устраивать особые направляющие кольца или ребра.

4.8 Расчетная выходная скорость фильтрации

При проектировании водозаборных сооружений необходимо знать, с какой скоростью вода будет вытекать из пор водоносного пласта, причем удобнее относить эту скорость на всю площадь разреза водоносного пласта, непосредственно соприкасающуюся с водоприемными отверстиями каптажного сооружения. Эта скорость и будет скоростью фильтрации в соприкасающемся с каптажем сечении водоносного пласта. Назовем ее выходной скоростью фильтрации. При определенном увеличении выходной скорости фильтрации начинается вымывание из водоносного пласта частиц грунта. Так как грунт состоит из частиц различных размеров, то уже при малых выходных скоростях фильтрации выносятся более мелкие частицы. Если повысить выходную скорость фильтрации, увеличатся и размеры выносимых водой частиц грунта. При достаточно большой скорости фильтрации начнется сплошное вымывание грунта и вместо фильтрации воды через грунт будет происходить движение сплошного потока воды, несущего во взвешенном состоянии частицы грунта. Скорость фильтрации по мере удаления от колодца быстро уменьшается. Поэтому если выходная скорость фильтрации вблизи колодца достаточна для выноса частиц грунта какого-то определенного раз-

мера, то уже на сравнительно небольшом расстоянии от колодца движение частиц грунта прекращается.

При правильно устроенном каптаже вынос частиц грунта происходит не должен. Первой предварительной откачкой следует вымыть из грунта определенные частицы. И так как производительность насоса при предварительной откачке всегда принимается больше эксплуатационной, то и выходная скорость фильтрации при предварительной откачке больше, чем при нормальной эксплуатации.

Следовательно, во время нормальной эксплуатации в результате уменьшения выходной скорости фильтрации выноса частиц грунта не будет. Вокруг колодца задержатся более крупные частицы грунта, оставшиеся после предварительной откачки.

При проектировании каптажа должны быть разрешены две задачи:

- определение размера частиц грунта, которые могут быть вынесены в каптаж при предварительной откачке, и частиц, которые должны остаться в водоносном пласте, образовав вокруг колодца некоторый грунтовый цилиндр с большей по сравнению с первоначальной водопроницаемостью;
- определение выходной скорости фильтрации при нормальной эксплуатации, при которой частицы грунта, оставшиеся в водоносном пласте, не могут быть вынесены в каптаж.

Первая задача для различных конструкций водоприемной части решается по-разному.

Для решения второй задачи необходимо установить, какие частицы грунта, при каких скоростях фильтрации приходят в движение и могут быть вынесены из грунта. Следует отметить, что, несмотря на большую практическую важность этого вопроса, значения предельных выходных скоростей фильтрации до сих пор достаточно точно и правильно не определены.

Известна формула С. К. Абрамова для определения предельной выходной скорости фильтрации

$$v_0 = K_{\phi} I_{\text{ПР}} = \frac{65 K_{\phi}}{\sqrt[3]{K_{\phi}^2}} = 65 \sqrt[3]{K_{\phi}}, \quad (4.33)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут;

$I_{\text{ПР}}$ – предельный уклон кривой депрессии у колодца.

Выходная скорость v_0 , по С. К. Абрамову, определяется при горизонтальном направлении скорости фильтрации в трубчатые колодцы, оборудованные фильтрами с грунтозадерживающими водоприемными отверстиями. Формула С.К. Абрамова обоснована экспериментальными данными, поэтому ее можно рекомендовать для расчета фильтров класса А (с грунтозадерживающими отверстиями). Однако при опасности химического разрушения или химического закупоривания фильтров для увеличения долговечности сква-

жины полезно полученные по формуле данные уменьшить в два раза, т. е. ввести коэффициент запаса $\beta_0 = 0,5 \dots 0,6$.

Для гравийных фильтров можно применить формулу, предложенную для однородных песков С. В. Избашем,

$$v_0 = 1000K_{\Phi}(d_{50}/D_{50})^2 \quad (4.34)$$

где d_{50} и D_{50} – средний диаметр песка и гравия.

В гравитационных фильтрах выходная скорость фильтрации направлена вертикально вверх (или под некоторым углом к вертикали). Вода вытекает из пор открытой поверхности песка через широкие водоприемные отверстия в колодец. Следовательно, фильтрационному давлению потока на грунт, взвешивающему зерна песка, противодействует в основном только сила тяжести, т. е. объемная масса последних в воде.

Выходную скорость фильтрации при горизонтальной поверхности песка можно определить по формуле Н. А. Карамбирова

$$v_0 = K_{\Phi}i_{\text{пред}} = K_{\Phi}\eta_1(1-p)(\gamma_{\text{гр}} - 1), \quad (4.35)$$

где η_1 – коэффициент запаса (0,5–0,7);

$\gamma_{\text{гр}}$ – плотность грунта, кг/дм³.

Н. А. Карамбиров установил зависимость между углом наклона открытой поверхности песка к горизонту φ и предельной выходной скоростью фильтрации

$$v_0 = K_{\Phi}\eta_1\eta_2(1-p)(\gamma_{\text{гр}} - 1), \quad (4.36)$$

где η_2 – коэффициент, зависящий от угла наклона поверхности песка к горизонту.

По опытам Н. А. Карамбирова, значение η_2 можно определить по его эмпирической формуле

$$\eta_2 = 1 - \varphi^{\circ}/107^{\circ} + 0,08 \sin(45\varphi^{\circ}), \quad (4.37)$$

где φ° – угол наклона поверхности к горизонту, град.

Следует отметить, что в опытах Н. А. Карамбирова угол наклона поверхности песка φ° определяется при наличии взвешивающего давления фильтрующего потока. Поэтому φ° в формуле (4.24) меньше углов естественного откоса песков в неподвижной воде φ_1 .

Применение при расчетах $\varphi_1 > \varphi^{\circ}$ уменьшает значения η_2 и допустимой входной скорости фильтрации. Следовательно, увеличивается водоприемная поверхность и повышаются надежность и устойчивость захвата воды из водоносного пласта.

Таблица 6 – Угол естественного откоса грунта

Наименование грунта, насыщенного водой	Угол естественного откоса, φ_1 , град
Илистый торфяной	30
Песок мелкий, илистый (пывун)	0...15
Песок крупный, гравелистый	35
Галька с песком	25
Глинистый слабый	20
Суглинок и супесь	20
Песок средней крупности	25...30

Интересно отметить, что значение η_2 мало зависит от размера зерен песка и для всех диаметров зерен может быть принято примерно одинаковым.

При засыпке фильтрующей поверхности более крупным песком допустимая выходная скорость фильтрации на месте контакта засыпки и водоносного пласта может быть увеличена в 1,5...2 раза против значений, полученных по формулам (4.22) и (4.23).

Выходную скорость фильтрации при расчете гравитационных фильтров и бесфильтровых колодцев следует определять по формуле (4.23).

4.9 Бесфильтровые трубчатые колодцы

В бесфильтровые трубчатые колодцы вода поступает из водоносного пласта непосредственно в эксплуатационную трубу. Преимущества таких колодцев перед трубчатыми, оборудованными различного рода фильтрами, состоят в более длительном сроке службы (колодцы с фильтрами служат обычно не более 12...15 лет, бесфильтровые – 20...30 лет), большем удельном дебите, малых входных сопротивлений, уменьшенной опасности химического закупоривания и разрушения и меньшей стоимости. Однако применение бесфильтровых трубчатых колодцев возможно только в трещиноватых плотных породах, не осыпающихся и не размываемых, а также в песчаных и гравийных напорных водоносных пластах, перекрываемых прочными устойчивыми грунтами кровли.

При устройстве трубчатого колодца в трещиноватых скальных породах буровую скважину доводят до водоносного пласта. Если над водоносным пластом залегают пески, которые могут проникать в колодец под башмаком эксплуатационной колонны, необходимо ее конец закрепить цементным тампонажем (рисунок 44, а). Ниже эксплуатационной колонны в водоносном пласте выбуривают скважину, не закрепляя ее стены трубами.

Для увеличения трещиноватости пласта и улучшения условий притока воды к колодцу иногда прибегают к торпедированию скважины. Торпедированием называется взрыв в забое скважины некоторого заряда взрывчатого

вещества. При торпедировании в водоносном пласте образуется целая сеть трещин, облегчающих доступ воды к скважине.

Торпедирование недопустимо при залегании вблизи забоя скважины водоносного пласта с водой плохого качества или сухого грунта с большой водопроницаемостью, так как это может ухудшить качество воды или уменьшить дебит колодца. В рыхлых породах оно нецелесообразно.

После торпедирования колодец очищают от обломков породы. Перед пуском в эксплуатацию необходимо провести усиленную откачку воды из колодца.

Для устройства трубчатого бесфильтрового колодца в напорных песчаных водоносных пластах буровую скважину опускают до водоносного пласта и вскрывают его. После этого проводят усиленную откачку воды из скважины, для чего удобно применять эрлифт. Воду, поднимаемую из скважины, следует отстаивать для замера объема песка, вынесенного водой. Зная объем поднятого на поверхность песка, можно определить приблизительные размеры водоприемной полости, образующейся у забоя скважины (рисунок 44, б).

Производительность водоподъемника, применяемого при первой откачке, должна быть больше (примерно на 20%) производительности насосов, которые будут стоять на колодце при постоянной эксплуатации. Чем мельче и неустойчивее песок водоносного пласта, тем более длительный срок нужен для первой откачки.

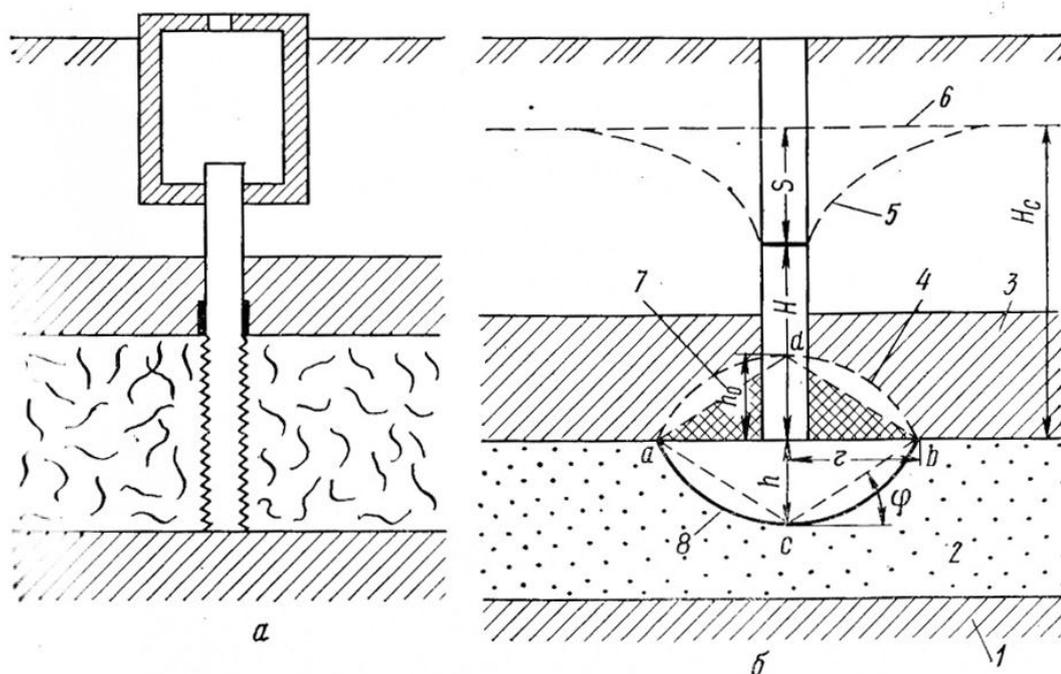


Рисунок 44 – Схема бесфильтровых колодцев. а – в трещиноватых устойчивых скальных породах; б – схема образования каверны у забоя бесфильтрового колодца в песках;

1 – водоупор; 2 – напорный водоносный пласт; 3 – кровля водоносного пласта; 4 – параболический свод обрушения; 5 – кривая депрессии; 6 – статическая пьезометрическая поверхность; 7 – треугольная призма обрушения; 8 – боковая водоприемная поверхность каверны.

Откачку следует продолжать до тех пор, пока вода, выходящая из скважины, не перестанет содержать песок или пока воронка, вычисленная по замеренному объему вынесенного песка, не будет иметь у забоя скважины поверхность, достаточную для получения на ней скорости вытекания воды, не вымывающей зерна песка в скважину.

Для создания большей устойчивости образовавшейся у забоя скважины каверны ее можно засыпать гравием или крупным песком.

Перед засыпкой песка в каверну должна быть опущена перфорированная труба. Следует иметь в виду, что засыпка воронки даже крупнозернистым материалом в известной степени уменьшает дебит колодца. Поэтому она допустима лишь при мелких, легко вымываемых грунтах водоносного пласта.

Расчет бесфильтрового колодца можно вести на основании следующих соображений. Объем каверны (рисунок 44, б) бесфильтровой скважины с некоторым запасом принимают равным объему кругового конуса.

Боковая поверхность конуса:

$$M = \pi r \sqrt{r^2 + h^2} \quad (4.38)$$

где r - радиус основания конуса;

h - высота конуса, которая может быть измерена при устройстве бесфильтрового колодца.

Принимая во внимание, что поверхность песка в каверне должна лечь под углом φ к горизонту, можно написать

$$h = r \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4.39)$$

Следовательно, боковая поверхность конуса каверны

$$M = \pi r \cdot \sqrt{r^2 + (r \operatorname{tg} \varphi)^2} = \pi r^2 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}, \quad (4.40)$$

Но она является также поверхностью водоносного песка, из пор которого поступает в каверну вода. Скорость вытекания воды из грунта (м/с на 1 м²) внутренней боковой поверхности каверны не должна превышать некоторых допустимых пределов. Для этого общая внутренняя поверхность каверн должна быть

$$M = \frac{q}{3600 v_0}, \quad (4.41)$$

где q – захватная способность колодца при данных v_0 и r , м³/ч;

v_0 – допустимая выходная скорость фильтрации, м/с.

Следовательно, из выражений (а) и (б) радиус основания конуса каверны

$$r = \sqrt{\frac{q}{3600\pi v_0 \sqrt{1+tg^2\varphi}}}. \quad (4.42)$$

Захватная способность колодца q должна быть обеспечена соответствующим притоком воды к нему из водоносного пласта. Для ориентировочных предварительных расчетов бесфильтровых скважин в водоносных пластах большой мощности ($m > 15 \dots 25$ м) дебит можно определить по формуле Форхгеймера для колодца, принимающего воду через полушаровое дно

$$Q_\Phi = 2\pi KrS, \quad (4.43)$$

где K – коэффициент фильтрации водоносного грунта, м/сут;
 S – понижение уровня воды в колодце при откачке, м;
 r – верхний радиус водоприемной полости, м.

По В. Н. Щелкачеву, дебит колодца (скважины) с полусферическим дном в водоносном пласте небольшой мощности будет:

$$Q_{\text{ш}} = \frac{2\pi KrS}{1 + \frac{r}{m} \ln\left(\frac{R}{4m}\right)} \quad (4.44)$$

где m – мощность водоносного пласта, м;
 R – радиус влияния колодца, м.

Т. Пивецки определяет дебит бесфильтровой скважины по формуле:

$$Q_{\text{п}} = 4,6KmSP \cdot \left(\frac{h}{m}\right)^{0.73} \quad (4.45)$$

где P – функциональный коэффициент;
 h – глубина водоприемной полости в форме опрокинутого конуса с откосами под углом $\varphi = 26^\circ 40'$.

Сравнение результатов расчетов по формулам (4.43), (4.44), (4.45) для различных отношении h/m дано на рисунке 45. Значения K ; r ; S в этих расчетах приняты одинаковыми. Пользуясь рисунком 45, можно определять приток воды фильтровую скважину по формуле

$$q = AQ_\Phi = 2\pi AKrS \quad (4.46)$$

где A – коэффициент, учитывающий отношение m/h . Его значение определя-

ется по рисунку 45. При $m/h > 10...15$ можно принимать $A=1$;
 Q_{ϕ} – приток к колодцу, определяемый по формуле (4.43).

Подставив в формулу (4.42) значение q , определенное по формуле (4.46), вычисляют радиус r .

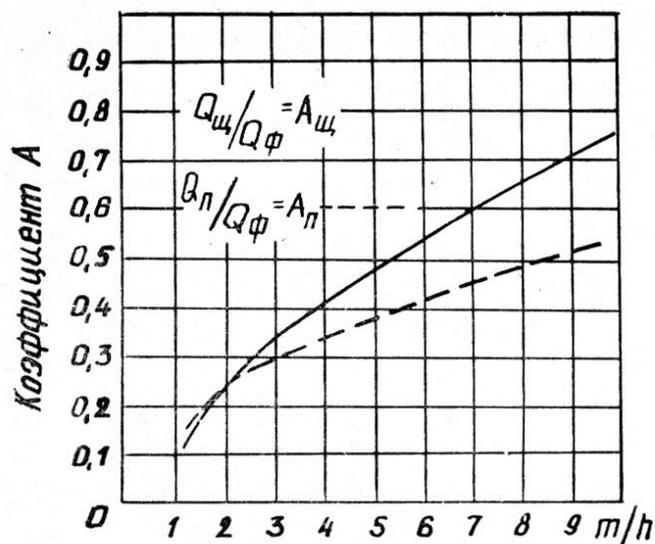


Рисунок 45 – Сравнение результатов расчета по формулам (4.43); (4.44); (4.45) при различном значении m/h .

Кровля над каверной может обрушиться. Обрушение (рисунок 44, б) в рыхлых породах идет по так называемому параболическому своду обрушения. В более крепких породах поверхность обрушения приближается к поверхности треугольной призмы высотой h_0 , равной

$$h_0 = \frac{r}{\operatorname{tg}\alpha}, \quad (4.47)$$

где r – радиус основания воронки каверны, определяемый по формуле (4.43), м;

$\operatorname{tg}\alpha$ – тангенс угла внутреннего трения породы кровли или для плотных пород – угла внутреннего сопротивления (таблица 4).

Таблица 6 – Значение $\operatorname{tg}\alpha$ для различных горных пород

Горные породы	$\operatorname{tg}\alpha$	Среднее значение $\operatorname{tg}\alpha$
Пластичные глины	0,48...1,19	0,78
Глинистые сланцы, брекчии с глинистым цементом, туфы	1,19...2,74	1,73
Известняки средней плотности и песчаники	2,75...5,67	3,73
Полевой шпат, кварцевые породы	5,67...11,43	7,45

С большим запасом можно допустить, что возможно обрушение слоя грунта кровли толщиной h_0 . Но на обнаженную поверхность кровли снизу давит столб воды, равный $(H_c - S)$ м. Для обеспечения устойчивости кровли необходимо, чтобы соблюдалось условие

$$\gamma(H_c - S) \geq h_0[(1 - p_k)\gamma_k + \gamma p_k], \quad (4.48)$$

где γ – плотность воды, равная 1 т/м^3 ;

H_c – статический напор в плоскости кровли водоносного пласта, м;

S – глубина откачки, м;

h_0 – возможная высота слоя обрушения грунта, определяемая по формуле (4.47), м;

p_k – пористость грунта кровли;

γ_k – плотность грунта кровли, т/м^3 .

Высота h_0 определяется с большим запасом, так как формула (4.30) выведена не для круглых, а для длинных призматических горных выработок. Однако, учитывая необходимость полной гарантии бесперебойной работы водозаборных колодцев, а также возможную неточность в определении показателей, характеризующих свойства горной породы кровли, можно считать этот запас в расчетах оправданным.

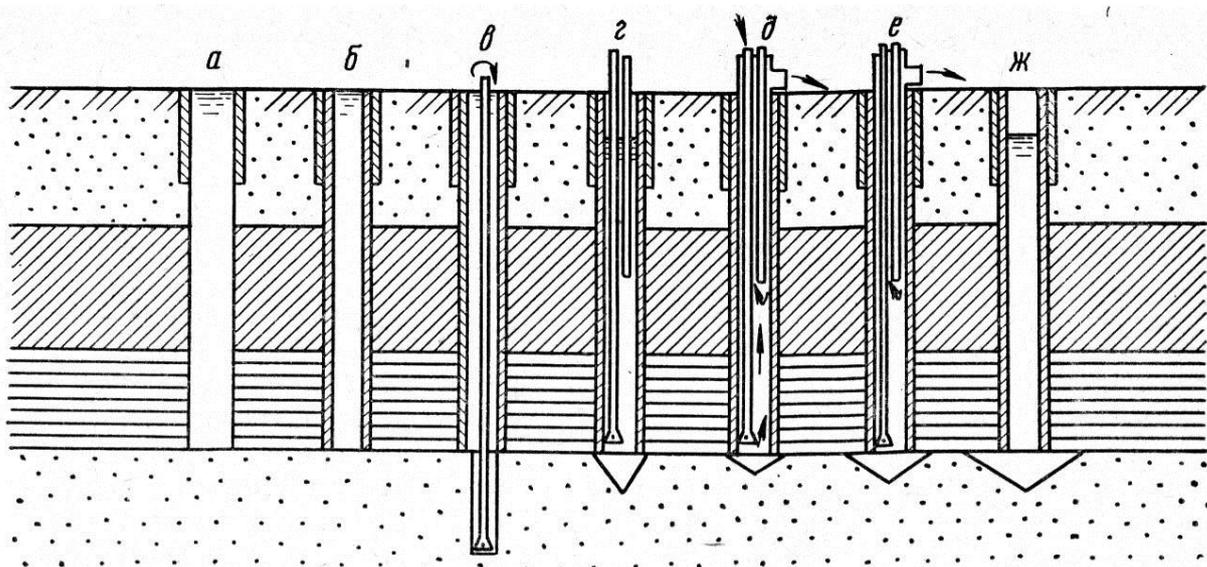


Рисунок 46 – Этапы сооружения бесфильтровой скважины.

а – скважина пробурена до водоносного пласта; *б* – скважина обсажена трубами, зацементировано затрубное пространство; *в* – разбурен ствол в водоносном песке; *г* – бурильные трубы приподняты, через них скважина промыта водой, опущены воздухоподающие трубы эрлифта; *д* – через буровой снаряд закачивается вода, ведется откачка эрлифтом; *е* – подача воды прекращается, эрлифт работает за счет притока воды; *ж* – скважина после завершения работ.

При устройстве бесфильтрового колодца с каверной следует особое внимание обращать на замер объема вынесенного из скважины при откачке песка $W_{\text{П}}$, так как по нему можно в известной степени контролировать размеры образовавшейся каверны $W_{\text{К}}$.

Ориентировочно

$$W_{\text{К}} = \frac{1}{3} \pi r^2 h \approx W_{\text{П}} / \xi, \quad (4.49)$$

где r – радиус основания конуса, м;

h – высота конуса воронки, $h = r \cdot \operatorname{tg} \varphi$;

$W_{\text{П}}$ – объем вынесенного на поверхность земли песка водоносного грунта, м^3 ;

ξ – коэффициент рыхления песка, равный 1,05...1,15.

Откачку следует продолжать до тех пор, пока при дебите, на 10...20% превышающем эксплуатационный, скважина не будет песковать.

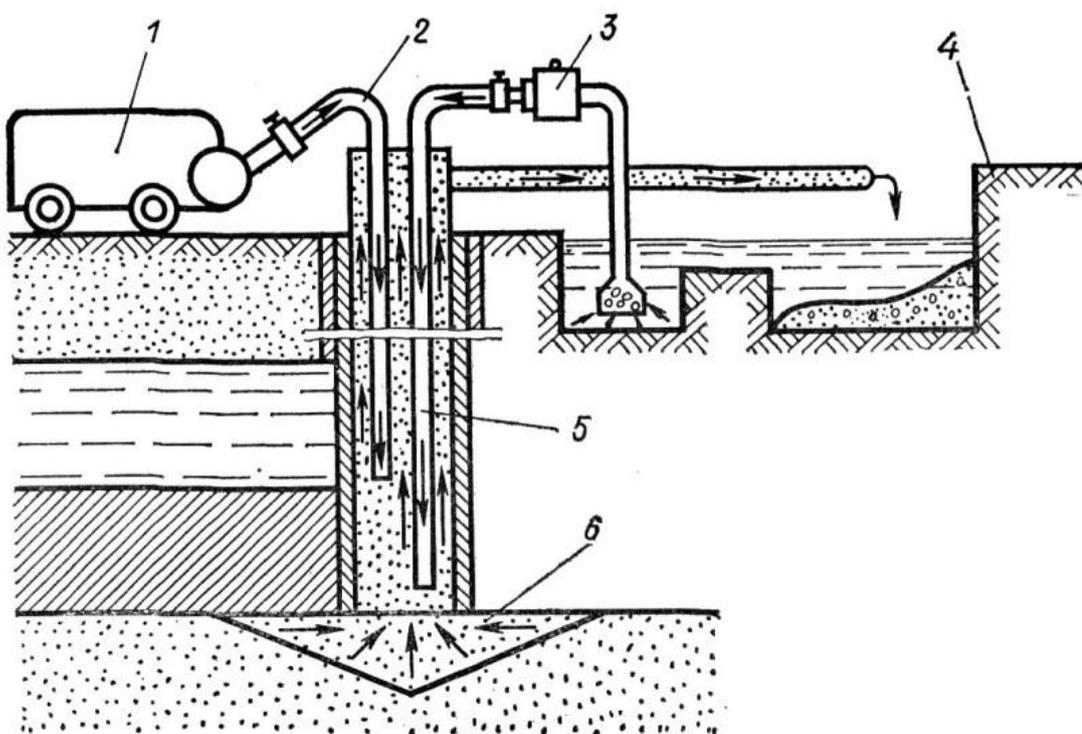


Рисунок 47 – Схема откачки воды из скважины через обсадные трубы.

1 – компрессор; 2 – воздухоподающие трубы; 3 – насос; 4 – отстойник; 5 – водоподающие трубы; 6 – водоприемная воронка.

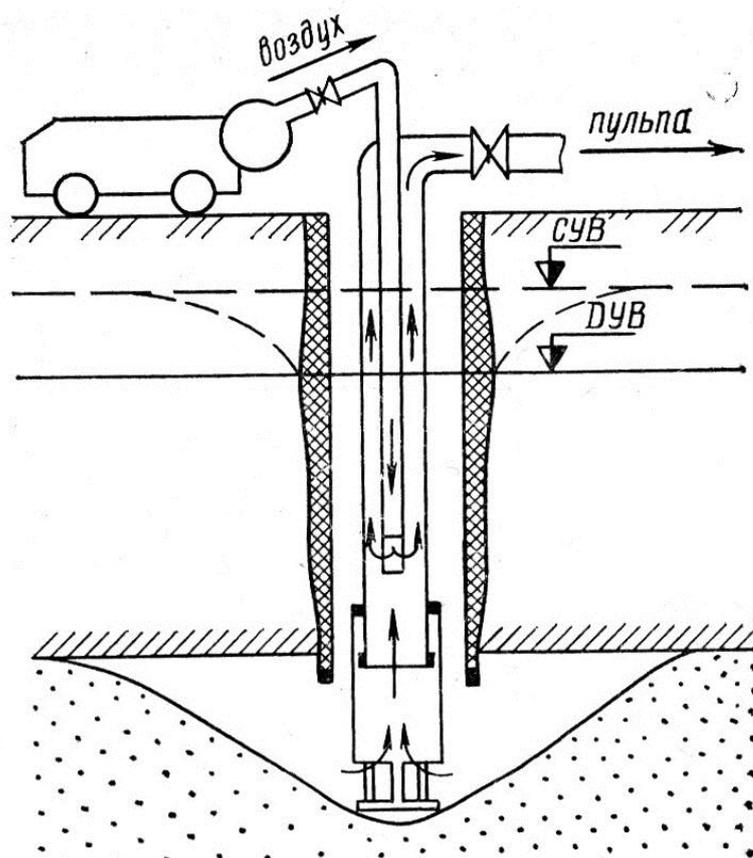


Рисунок 48 – Схема откачки с дополнительной водоподъемной колонной эрлифта с подвижным постепенно опускающимся всасывающим наконечником. (Конструкция Новочеркасского инженерно–мелиоративного института).

Технология устройства бесфильтровых скважин достаточно проста (рисунок 46). Формирование водоприемной полости осуществляется откачкой из скважины воды с песком.

Применение дополнительной водоподъемной колонны эрлифта, оборудованной подвижным всасывающим – наконечником (рисунок 48), делает возможным непрерывную интенсивную откачку песчаной пульпы. Наконечник устанавливают так, что его всасывающие отверстия находятся от поверхности песка на оптимальном расстоянии, при котором обеспечивается захват песка (примерно 0,6 диаметра отверстия). По мере углубления каверны наконечник опускается вниз при сохранении необходимой высоты всасывающих отверстий над поверхностью песка.

4.10 Устройство буровых скважин

Трубчатые колодцы устраивают при помощи бурения. Способы производства буровых работ и необходимое для них оборудование рассматриваются в специальном курсе «Буровое дело». Перед началом бурения необходимо разработать проект буровой скважины, учитывающий все условия работы будущего трубчатого колодца.

Для проектирования глубоководной скважины необходимо иметь следующие данные:

- заданную производительность;
- геологический разрез места бурения;
- отметку пьезометрического уровня водоносного горизонта, подлежащего эксплуатации;
- отметку динамического уровня водоносного горизонта при заданной производительности водоподъемной установки; колебания статического уровня в зависимости от времени года;
- колебания динамического уровня в зависимости от времени года и от одновременного действия соседних колодцев (если они имеются вблизи);
- способ водоподъема;
- способ бурения колодца;
- сведения о необходимости установки фильтра.

На основе этих данных определяют размеры (длина и диаметр) фильтра и место установки глубоководного насоса. Учитывая указанные выше соображения, назначают размеры эксплуатационной колонны. В соответствии с принятыми способами бурения и геологическим разрезом разрабатывают проект схемы крепления обсадными трубами как во время бурения, так и для окончательного устройства трубчатого колодца.

Проект схемы крепления скважины должен состоять из геологического разреза и собственно схемы крепления скважины (рисунок 49). Колонны, которые будут извлечены или вырезаны по окончании бурения, показывают пунктиром, а те, которые будут оставлены в скважине, – сплошными линиями. При отсутствии данных, необходимых для проектирования артезианской скважины, производят соответствующие изыскания.

Если в результате изысканий нет возможности получить исчерпывающий материал для проектирования, то на основании ориентировочных данных проектируют разведочную скважину, но с таким расчетом, чтобы в случае благоприятных результатов ее можно было превратить в эксплуатационную.

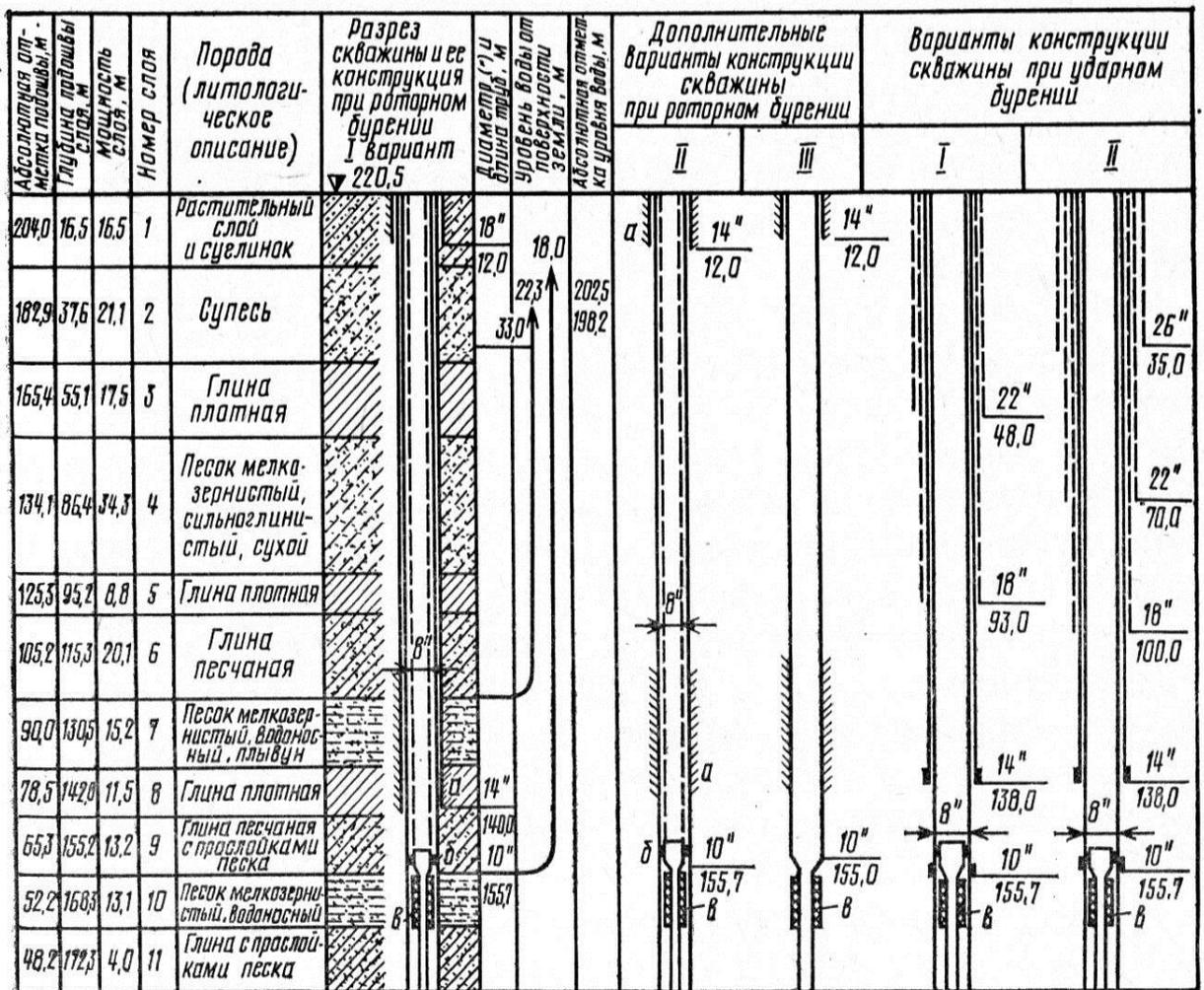


Рисунок 49 – Проект буровой скважины с гравийным фильтром.

a – тампонаж цементом затрубного пространства; *б* – сальник; *в* – фильтр.

4.11 Шахтные колодцы. Общие соображения по устройству шахтных колодцев

Шахтный колодец – один из наиболее распространенных видов вододобывающих сооружений. Число их в РФ исчисляется сотнями тысяч.

Шахтные колодцы устраивают главным образом для захвата сравнительно малодобитных, неглубоко залегающих водоносных пластов. Добывать воду из водоносных пластов большой производительности, хотя бы они и залегали на небольшой глубине, выгоднее трубчатыми колодцами. Глубина шахтных колодцев редко превышает 40...50 м, обычно она составляет не более 10...20 м.

Основные элементы шахтного колодца (рисунок 50) следующие: оголовок, ствол, водоприемная часть, зумпф.

Зумпф устраивают только при необходимости создания некоторого запаса воды, а также для лучшего использования водоносного пласта. Образо-

вание запаса воды в колодце может быть также достигнуто уширением водопримной части, т. е. устройством так называемого шатра.

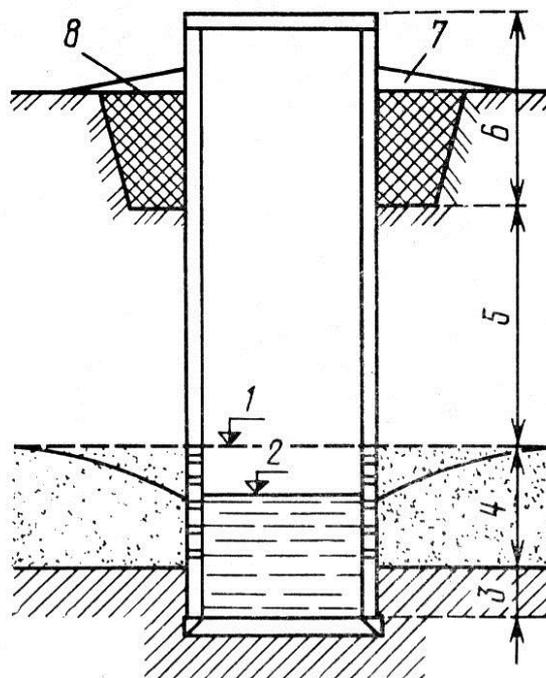


Рисунок 50 – Общая схема устройства шахтного колодца.

1 – статический уровень воды в колодце; 2 – динамический уровень воды; 3 – зумпф; 4 – водопримная часть; 5 – ствол; 6 – оголовок; 7 – отсыпка; 8 – глиняный замок.

Зумпф не устраивается в следующих случаях:

- если ниже водоносного слоя с пресной водой идут пласты с недоброкачественной водой;
- если под водонепроницаемым подстилающим слоем лежат пласты большой водопроницаемости или сухие, или водоносные, но с напором, меньшим, чем в каптируемом водоносном пласте.

Размеры зумпфа определяются объемом необходимого запаса воды плюс некоторый «мертвый», неиспользуемый слой воды. Запас не следует делать чрезмерно большим, так как вследствие застоя воды в колодце может ухудшиться ее качество.

Для увеличения отбора воды колодца при периодической ее откачке запас воды в нем должен размещаться ниже предельного динамического уровня. Если объем водопримной части ниже предельного динамического уровня недостаточен для размещения потребного запаса воды, то необходимо увеличить диаметр водопримной части или углубить колодец, т. е. устроить зумпф. Во всех случаях ниже хrapка насоса или приемного клапана сифона должен быть слой воды толщиной 0,7...1 м.

Водопримная часть служит, как показывает само название, для приема воды из водоносного пласта. Ее размеры определяются из условий размываемости грунта.

Если колодец принимает воду только дном, то диаметр водоприемной части будет равен

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{q_{\max}}{v_0}} \quad (4.50)$$

где d – внутренний диаметр колодца, м;

q_{\max} – максимальный приток воды в колодец (при H_{\max}), определяемый по формуле (4.33), м³/с;

v_0 – допустимая выходная скорость фильтрации, которую можно определить для песков по формуле (4.41) с учетом увеличения ее при устройстве гравийного фильтра, м/с.

Приток воды в круглый колодец через плоское дно

$$q = 4KrS, \quad (4.51)$$

где K – коэффициент фильтрации водоносного грунта, м/с;

r – внутренний радиус круглого колодца, м;

S – глубина понижения уровня воды в колодце при откачке, м.

Для некруглых колодцев

$$r = 0.25le^m, \quad (4.52)$$

где l – длина стороны некруглого колодца, м;

e – основание натуральных логарифмов, равное 2,72;

m – показатель, зависящий от формы колодца: равносторонний треугольник $m = 0,54$; квадрат $m = 0,89$; равносторонний шестиугольник $m = 1,33$.

При приеме воды из водоносного пласта только боковой поверхностью:

$$d_1 = \frac{q_{\max}}{\pi h_{\text{эф}} p_1 v_0}, \quad (4.53)$$

где d_1 – внешний диаметр колодца, м;

q_{\max} – максимальный дебит колодца, определяемый по одной из формул притока воды в колодец при H_{\max} ;

$h_{\text{эф}}$ – высота полезной боковой поверхности, действительно принимающей воду из водоносного пласта, м;

$$h_{\text{эф}} = H_{\max} - S - b$$

где p_1 – скважность боковой поверхности колодца, т. е. площадь водоприемных отверстий на 1 м² полезной боковой поверхности;

v_0 – допустимая выходная скорость фильтрации, м/с, которую можно вычислить для горизонтальной схемы фильтрации по формуле (4.33).

При питании колодца через дно и боковую поверхность получим

$$d = -2h_{\text{эф}} p_1 \frac{v'_0}{v_0} + \sqrt{4h_{\text{эф}}^2 p_1^2 \left(\frac{v'_0}{v_0}\right)^2 + \frac{4q_{\text{max}}}{\pi v_0}} \quad (4.54)$$

где q_{max} – общий дебит колодца, м³/с; обозначения остальных величин тех же, что в формулах (4.50) и (4.53).

Ствол скважины служит для размещения в нем в случае необходимости водоподъемных приспособлений. Кроме того, он необходим для выполнения колодца и устройства водоприемной части. С учетом этих соображений назначают его размеры.

Оголовок защищает колодец от попадания в него сверху загрязнений и создает наиболее удобные условия эксплуатации (водоподъем, водозабор, наблюдение за работой колодца). Вместе с этим в районах с суровым климатом и при небольшой глубине колодца оголовок должен предохранить воду в колодце от промерзания. Поэтому, если обычно оголовки делают одинаковых размеров со стволом, то при необходимости защиты колодца от промерзания размеры оголовка несколько уменьшают.

Для выполнения своей основной задачи – добыть воду в необходимом количестве и с сохранением ее качества колодец должен удовлетворять следующим требованиям:

- крепление стен ствола и оголовка должно быть водонепроницаемым и не допускать проникновения в колодец загрязненных поверхностных вод и вод верхних водоносных горизонтов, по каким-либо соображениям признанных непригодным для водоснабжения;
- крепление стен ствола и оголовка должно быть выполнено из материалов, не ухудшающих качество воды; колодец сверху должен быть всегда плотно закрыт водонепроницаемой крышкой;
- водоподъем из колодца следует осуществлять приспособлениями, не вносящими в колодец возможных загрязнений;
- внутреннее пространство над водой в колодце должно вентилироваться через особые вентиляционные трубы или вентиляционные отверстия, не допускающие попадания в колодец загрязнений;
- крепление колодца должно быть прочным и долговечным;
- все части крепления должны быть прочно и плотно пригнаны друг к другу и выдерживать внешнее давление грунта; стенки ствола необходимо делать строго вертикальными;
- за креплением в грунте не должно быть никаких пустот и каверн; конструкция водоприемной части должна предохранять

колодец от заиления проникающими через водоприемные отверстия частицами грунта;

- колодец должен быть удален от возможных очагов загрязнения.

4.12 Деревянные колодцы

Для устройства деревянных колодцев следует выбирать породы дерева, наиболее стойкие и долговечные в условиях периодического увлажнения. Древесина сруба не должна придавать воде неприятных привкусов и вредных примесей.

Деревянные колодцы в плане обычно имеют форму квадрата, правильного шестиугольника, восьмиугольника и реже – вытянутого прямоугольника. Крепление стен выполняется срубом из деревянных звеньев (плах).

Водоприемную часть в деревянных колодцах при поступлении воды через дно устраивают в виде обратного гравийного фильтра. Если колодец опущен в напорные, поднимающиеся вверх пливуны, то перед засыпкой гравийного фильтра устраивают деревянное днище, в котором делают ряд водоприемных отверстий и затем на него насыпают гравийный фильтр. Более мелкие фракции насыпают внизу и более крупные – сверху. При приеме воды через боковую поверхность сруба просверливают отверстия или считают, что вода будет поступать в колодец через неплотности сруба.

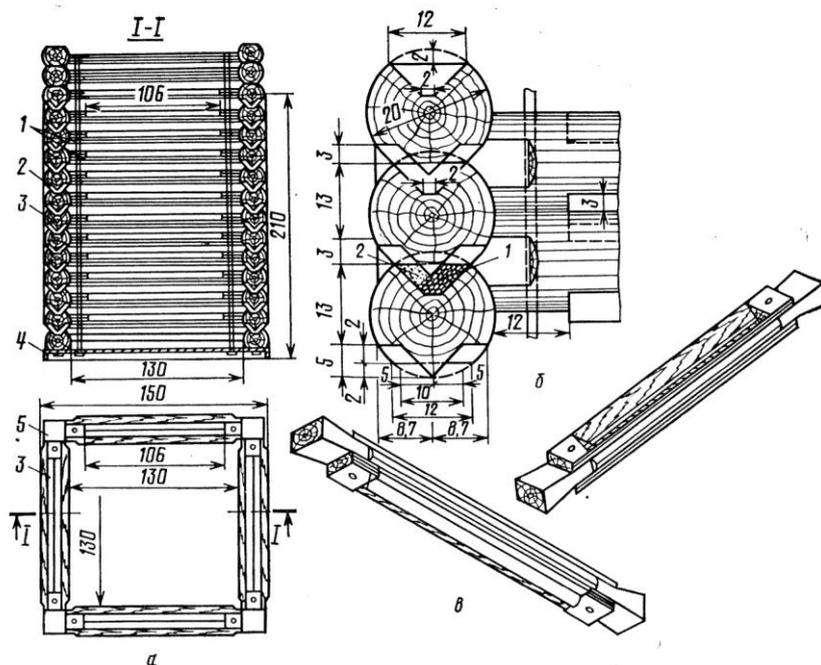


Рисунок 51 – Колодезный гравитационный фильтр (бревенчатая конструкция) *а* – план и разрез; *б* – деталь боковой стенки фильтра; *в* – деталь венца фильтра

1 – засыпка из мелкого гравия; *2* – засыпка из крупного песка; *3* – венцы из бревен ($d=20$ см); *4* – нож из таврового железа; *5* – рубка угла в косую лапу. (размеры даны в сантиметрах).

Следует широко применять весьма рациональную конструкцию водоприемной части деревянного колодца Н. А. Карамбиров, названную им колодезным гравитационным фильтром (рисунок 51). Плахи венцов сруба профилируют так, что между ними образуется V-образное отверстие, заполняемое со стороны водоносного пласта крупным песком, а с внутренней стороны колодца – гравием. Соотношение размеров зерен засыпки и водоносного песка устанавливают таким, как для гравийного фильтра.

Фильтр, однако, работает в основном по принципу гравитационного. Наибольшее давление фильтрационного потока в песчаной засыпке входного канала передается на его стенки, а давление фильтрационного потока, направленное вверх по выходному каналу (т. е. под некоторым углом к горизонту), воспринимается крупным гравием. Взвешивание и вынос последнего возможны лишь при значительно больших, чем для водоносного песка, скоростях фильтрации. Следовательно, водоприемная способность отверстий при заполнении их гравием значительно повышается. Для нормальной работы отверстий важно засыпать в них сначала гравий, который должен заполнить всю нижнюю их часть (рисунок 51), а потом крупный песок во входные каналы.

V-образные водоприемные отверстия рассчитывают по схеме Н.А. Карамбиров по формуле (4.23). Допустимая скорость (см/с) фильтрации в выходном канале

$$v_2 = K_2 i_2 = K_2 \eta_1 \eta_2 (1 - p_2) (\gamma_2 - 1), \quad (4.55)$$

где K_2 – коэффициент фильтрации гравийной засыпки, см/с;

η_1 – коэффициент запаса, равный 0,7; определяется по формуле (4.36);

p_2 – пористость гравийной засыпки;

γ_2 – плотность гравия, г/см³;

i_2 – гидравлический уклон гравийной засыпки.

Пропускная способность выходного канала (см³/с):

$$q_{\text{доп}} = F_2 v_2, \quad (4.56)$$

где F_2 – площадь поперечного сечения выходного канала, перпендикулярного к его оси, см².

Скорость фильтрации в песчаной засыпке входного канала:

$$v_1 = \frac{q_{\text{доп}}}{F_1}, \quad (4.57)$$

где F_1 – площадь поперечного сечения входного канала, см².

Гидравлический уклон песчаной засыпки:

$$i_1 = \frac{v_1}{K_1}, \quad (4.58)$$

где K_1 – коэффициент фильтрации песчаной засыпки, см/с.

Потеря напора в отверстиях:

$$h = i_1 l_1 + i_2 l_2 \quad (4.59)$$

где l_1 и l_2 соответственно длина входного и выходного каналов, см.

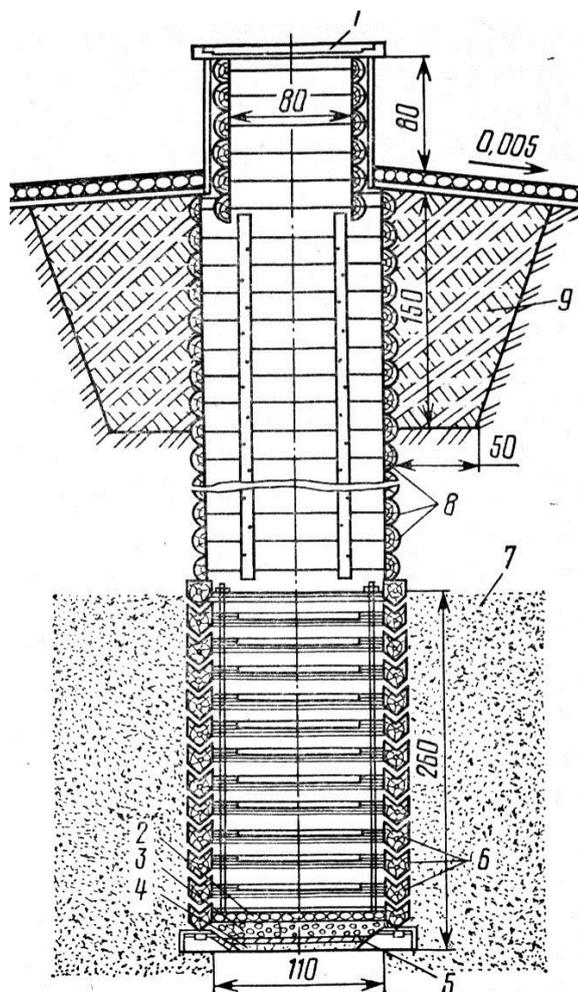


Рисунок 52 – Шахтный деревянный колодец с гравитационным фильтром

1 – крышка; 2 – крупный гравий; 3 – мелкий гравий; 4 – крупный песок; 5 – донный фильтр; 6 – венцы из бревен $d = 20$ см; 7 – песок; 8 – крепление из пластин 22.2 см; 9 – трамбованная глина

Для уменьшения потерь напора в отверстиях желательно входное колено делать короче и шире.

Конструкция шахтного деревянного колодца с гравитационным фильтром показана на рисунке 52. Вокруг оголовка вырывают котлован шириной 0,7...0,8 м и глубиной 1...1,5 м. Котлован плотно заполняют мятой глиной.

Такой глиняный замок необходим для предупреждения возможности фильтрации вдоль стен колодца загрязненных поверхностных вод. Кроме того, вокруг колодца делают отсыпку с уклоном в сторону для стока поверхностных вод. Деревянные колодцы обычно дешевле других, но эксплуатация их, вследствие непродолжительного срока службы и большой стоимости ежегодного ремонта, дороже.

В санитарно-гигиеническом отношении они значительно хуже всех других видов колодцев и для крупных систем водоснабжения неприменимы.

4.13 Железобетонные колодцы

Железобетонные колодцы устраивают с креплением стен железобетонными, заранее заготовленными кольцами; железобетонными сегментами или железобетонными плитами с применением опускной опалубки. Наиболее распространены колодцы, закрепляемые железобетонными кольцами.

На рисунке 53 показан железобетонный колодец, запроектированный как опускной, т. е. крепление стен в нем осуществляется опусканием колонны железобетонных колец с наращиванием ее сверху и одновременной подрывкой земли из-под опускного ножа.

Внешний диаметр ножа делается на 15...16 см больше внешнего диаметра колец, что облегчает опускание вниз всей колонны колец.

Для предупреждения горизонтальных сдвигов колец в соединении впритык в трех местах в каждом шве укладывают изогнутые пластинки из полосового железа шириной 50...80 мм.

Оборудование железобетонных колодцев для приема воды из водоносного пласта такое же, как в колодцах других типов. При поступлении воды через дно устраивают гравийный фильтр. Для приема воды боковой поверхностью в кольцах, устанавливаемых в пределах крупнозернистого водоносного пласта, во время бетонирования заделывают деревянные пробки, которые до полного затвердения бетона удаляют, и в стеклах кольца остаются отверстия. Общую площадь этих отверстий определяют из условий неразмываемости грунта водоносного пласта.

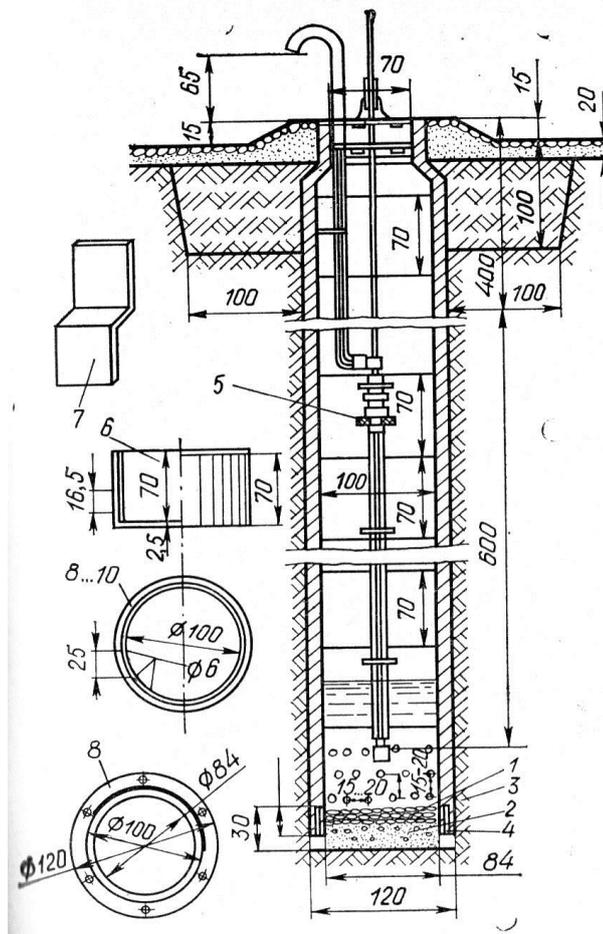


Рисунок 53 – Железобетонный колодец

1 – гравий; 2 – крупный песок; 3 – рама спускного ножа из дерева; 4 – нож из угловой стали (10×10×10 мм); 5 – два бруска 10×10 см; 6 – деталь колодезного кольца; 7 – прокладка для предупреждения сдвига железобетонных колец в сторону; 8 – вид резака снизу

В мелко- и среднезернистых водоносных пластах целесообразно строить железобетонные колодцы с гравитационными фильтрами или с окнами из пористого бетона ФПБ-НИМИ (рисунок 54), предложенными кафедрой сельскохозяйственного водоснабжения Новочеркасской государственной мелиоративной академии.

Исследования показали, что производительность шахтных колодцев вследствие механического и химического закупоривания фильтров и профильтровой зоны водоносного пласта постепенно уменьшается.

$$Q_{w_i} = Q_0 e^{-0,01 a W_i} \quad (4.60)$$

где Q_{w_i} – дебит шахтного колодца (л/с) после суммарного отбора воды из него до начала эксплуатации W_i , м³;

Q_0 – дебит шахтного колодца в начале эксплуатации, л/с;

e – основание натуральных логарифмов (2,72);

a – параметр, учитывающий гидрогеологические и гидрохимические показатели водоносного пласта;

W_i – количество воды, забранное из колодца с начала эксплуатации, м³.

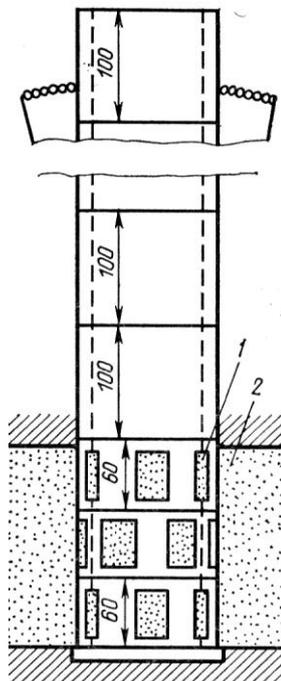


Рисунок 54 – Схема шахтного колодца с фильтрами из пористого бетона

1 – фильтровые окна; 2 – водоносный слой

Параметр a для каждого колодца можно легко определить из уравнения (4.60), замерив Q_{wi} для двух значений W_i', W_i'' .

Параметр a прямо пропорционален суффозионности и обратно пропорционален водоотдаче водоносного пласта. Для пылеватых тонкозернистых песков $a \approx 0,02...0,10$.

Для повышения продолжительности работы колодцев рекомендуется применять сменные фильтры (гравийно-клеенные, гравийные, гравитационные), которые должны монтироваться в окнах водоприемной части. Перед фильтром со стороны грунта необходимо размещать жалюзную стенку, предохраняющую от обвалов водоносного грунта в момент смены фильтра.

Применение пористого бетона в конструкциях водоприемной части шахтных колодцев при агрессивных водах затруднено из-за возможности его разрушения.

ВНИИГиМ разработал (в 1978 году) ряд конструкций водоприемной части шахтных колодцев из пористого бетона с дополнительным креплением, в качестве которого можно использовать асбестоцементные трубы, железобетонные кольца, деревянные трубы с железобетонными кольцами (рисунок 55).

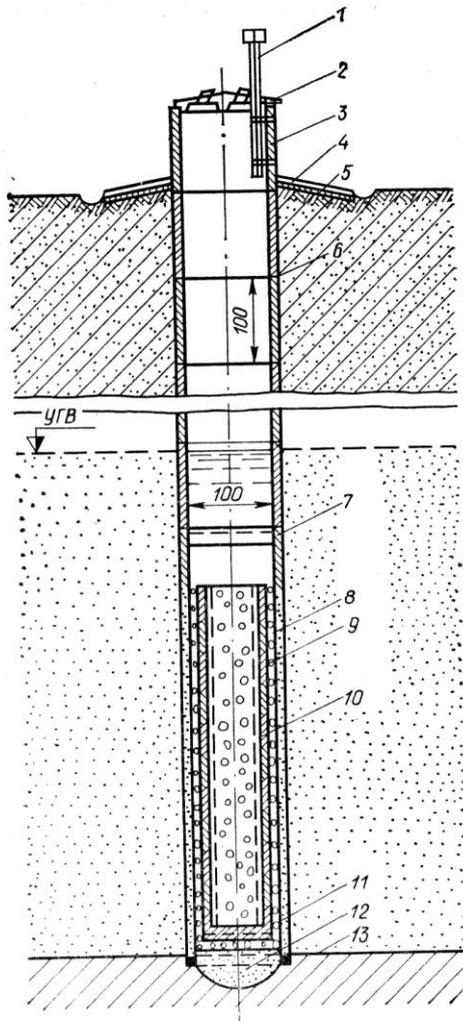


Рисунок 55 – Шахтный колодец с дополнительным креплением водо-приемной части асбестоцементной трубой (Размеры в сантиметрах)

1 – вентиляционная труба; 2 – крышка; 3 – кольца из плотного бетона; 4 – плиты от-мостки; 5 – гравийная или песчаная подготовка; 6 – соединение колец крепи болтами; 7 – пеньковая веревка между кольцами; 8 – кольца из пористого бетона; 9 – гравийная за-сыпка. 10 – асбестоцементная перфорированная труба; 11 – донная плита; 12 – трех-слойный песчано-гравийный фильтр; 13 – опускной нож

4.14 Некоторые особенности производства работ по устройству шахтных колодцев.

При устройстве колодцев наиболее трудоемкими являются земляные работы. При рытье неглубоких колодцев применяются специальные много-черпаковые экскаваторы. Для устройства более глубоких колодцев (более 5...6 м) используют грейферы.

Если на месте производства работ имеется вода, то в тех случаях, когда колодец проходит песчаные, илистые и глинистые грунты, не содержащие включений гальки и камней, возможно применение эжекторов. В этом случае в забой колодца подается под напором вода (рисунок 56). Струя воды размы-

4.15 Комбинированные колодцы

Комбинированным называется колодец, устраиваемый в верхней части как шахтный, а в нижней – как трубчатый (рисунок 58). Конструкция и способы производства работ шахтной части комбинированного и шахтного колодца совершенно одинаковы. То же следует сказать и о трубчатой части комбинированного колодца.

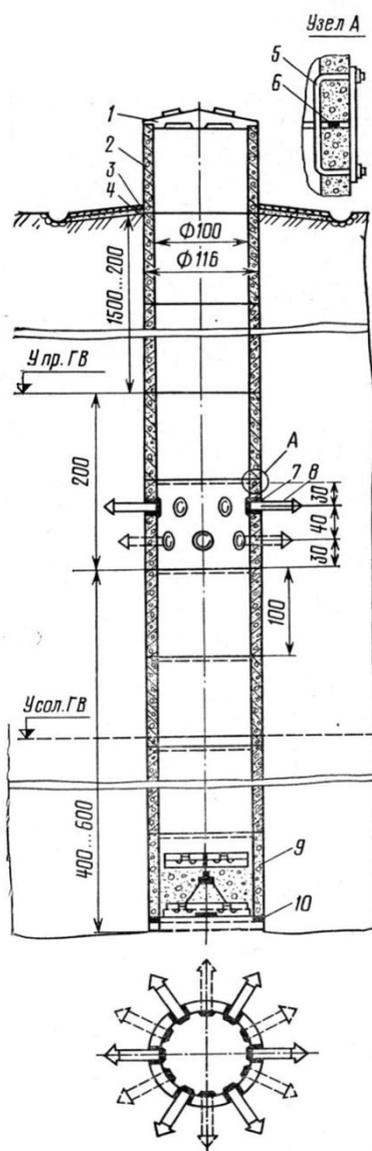


Рисунок 58 – Комбинированный колодец

1 – железобетонная крышка; 2 – обсадные кольца из плотного бетона; 3 – плита отмостки; 4 – песчано-гравийная подготовка; 5 – соединительные скобы с накладками; 6 – пеньковая веревка; 7 – окна с заглушками; 8 – короткие лучевые фильтры; 9 – тампон; 10 – опускной нож. (размеры даны в сантиметрах).

Комбинированные колодцы можно устраивать в следующих случаях:

1. При каптировании двух или нескольких водоносных пластов, обладающих примерно одинаковым статическим напором. Верхний пласт каптируется шахтной частью, а нижние пласты – трубчатой.

2. При каптировании глубоко залегающих водоносных пластов - малодебитных, но обладающих большим напором. Каптирование таких пластов простыми трубчатыми колодцами невозможно, так как приток воды к колодцу меньше производительности насоса. Для нормальной работы насоса необходимо создать некоторый регулируемый запас воды, который размещается в шахтной части комбинированного колодца.

3. При установке для водоподъема из колодца насоса больших габаритов, не позволяющих поставить его в трубчатой Части, устраивают на необходимую глубину шахтную часть, в которой и размещают насосный агрегат.

4. Для увеличения дебита существующего шахтного колодца, если позволяют гидрогеологические условия, устраивают ниже дна шахты трубчатую часть и преобразуют таким образом шахтный колодец в комбинированный.

В последнее время находят все большее применение *радиальные* колодцы. Шахта колодца имеет водонепроницаемое крепление. В ее стенках устраивают окна, временно (при опускании крепления) закрываемые деревянными щитами или кирпичной кладкой. Через эти окна в грунт в радиальном направлении задавливаются домкратами или гидравлическими прессами дырчатые трубы (рисунок 59), которые входят в грунт звеньями. Как только одно звено, погружаясь в пласт, доходит до стены шахты, к нему присоединяется следующее. В практике имеются случаи устройства радиальных дырчатых труб длиной 50...80 м.

Для устройства радиальных колодцев благоприятны следующие условия: песчаный и слабогравелистый водоносный пласт; умеренная глубина залегания водоносного пласта (до 7...8 м); хорошее питание водоносного пласта близлежащим поверхностным водоемом (река, озеро и т. д.).

4.16 Захват подземных вод группой колодцев. Общая схема группы колодцев

Производительность одного колодца не всегда достаточна для удовлетворения потребности в воде. Основные центры водопотребления сельского хозяйства (сельские населенные пункты, центральные усадьбы) расходуют воду в количестве, которое не может обеспечить один колодец. Поэтому вместо одного устраивают несколько колодцев, образующих одну целостную группу. Иногда подобную группу называют *групповым колодцем*, отмечая этим целостность системы и взаимосвязь всех входящих в нее колодцев (рисунок 60). Водозаборные колодцы принимают воду непосредственно из водоносного пласта. Сборные водоводы служат для подачи воды из отдельных водозаборных колодцев в общий сборный колодец или сборный резервуар.

При размещении группы колодцев необходимо учитывать следующее:

1. Для каптирования наибольшего количества подземной воды с наименьшими эксплуатационными затратами необходимо располагать ко-

лодцы в один ряд, перпендикулярный к направлению движения грунтового потока. Для улучшения условий транспортирования воды по сборным водоводам желательно продольную ось группы колодцев трассировать под небольшим углом к гидроизогипсам ($5...10^\circ$), чтобы при возможности вода из водозаборных колодцев в сборный колодец могла поступать самотеком.

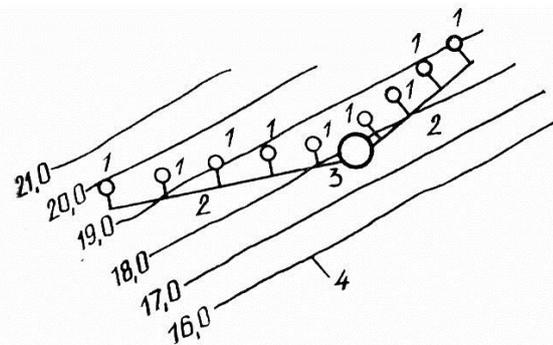


Рисунок 60 – Общая схема группового колодца

1 – водозаборные колодцы; 2 – сборный водовод; 3 – сборный колодец; 4 – гидроизогипсы.

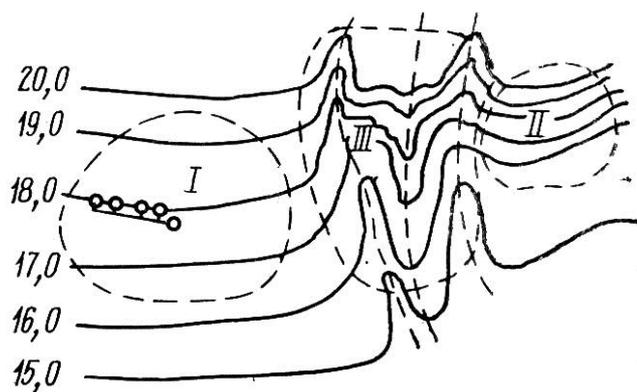


Рисунок 61 – Выбор места каптажа по характеру гидроизогипс

При недостатке места можно размещать продольную ось группы колодцев параллельно направлению потока, т. е. нормально к гидроизогипсам. При таком расположении, в зависимости от мощности водоносного пласта, можно получить такое же количество воды (при достаточно мощном пласте), но со значительно большим понижением уровня воды в колодцах или меньшее (что более возможно), чем при том же числе колодцев, размещенных нормально к направлению течения грунтового потока.

2. Колодцы надо располагать в местах, характеризующихся максимальными водопроницаемостью и водоотдачей водоносного пласта. По характеру и форме гидроизогипс на плане местности можно до известной степени правильно отметить пункты, самые выгодные для получения наибольшего количества воды.

Не следует размещать каптаж в местах сближения гидроизогипс, так как здесь водоносный пласт обычно характеризуется меньшей водопроница-

емостью, чем на участках, где гидроизогипсы находятся друг от друга на большом расстоянии (рисунок 61, районы I и II). Сближение гидроизогипс обычно

указывает на увеличение сопротивления движению подземного потока.

Следует также избегать участков, на которых зеркало грунтовых вод образует повышения или понижения (рисунок 61, район III). Нецелесообразно размещать колодцы на подземном водоразделе.

Резкие понижения зеркала грунтовых вод обычно также свидетельствуют о неблагоприятных условиях питания колодцев в этих местах.

3. Часто бывает целесообразно устраивать колодцы в речных долинах и на речных террасах.

4. Не рекомендуется располагать колодцы в местах, затапливаемых поверхностными водами.

5. По возможности следует размещать колодцы в понижениях подстилающего водоупорного слоя, следя за тем, чтобы не нарушилось первое правило о направлении оси каптажа нормально к течению потока.

6. В местах залегания грунтовых вод, пестрых по качеству, особенно часто встречаемых в южных и юго-восточных степных районах, устройству большой группы колодцев должны предшествовать всесторонние гидрогеологические изыскания.

7. При благоприятных условиях залегания подземных вод и соответствующем поверхностном рельефе желательно размещать каптаж на отметках, позволяющих подавать воду к потребителю самотеком.

4.17 Расчет группы колодцев.

Расчет группы колодцев заключается в определении их числа, производительности и расстояния между ними. Суммарная производительность колодцев должна равняться заданной или требуемой потребителем. Расчет осложняется наличием взаимодействия между колодцами.

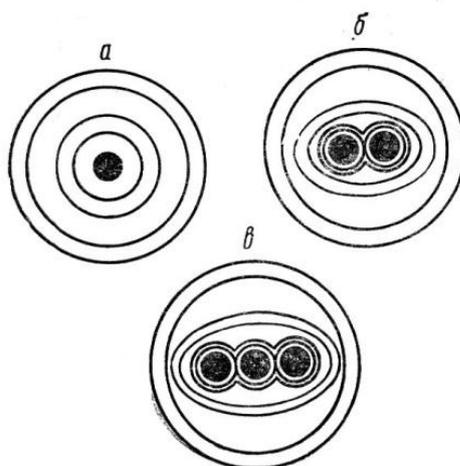


Рисунок 62 – Форма гидроизогипс в грунтовом бассейне при различном числе колодцев, но при одном и том же дебите группы колодцев.

В результате отбора воды из группы колодцев формируется общая область понижения пьезометрической (в напорном водоносном пласте) или свободной поверхности (в безнапорном пласте) (рисунок 62). Понижение уровня воды в любой скважине

$$S = S_0 + \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n, \quad (4.61)$$

где S_0 – глубина откачки в данной скважине, если бы она была одиночной, т. е. на нее не распространялось бы влияние других скважин, м;
 $\Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n$ – срезка уровня, т. е. его снижение вследствие влияния скважин $1, 2, \dots, n$, м.

В соответствии с формулой (4.13) каждую срезку можно определить в общем виде так:

$$\Delta S_j = \frac{Q_j}{2\pi K_j m_j} \ln \frac{R_n}{r_j}, \quad (4.62)$$

где ΔS_j – срезка уровня от j -й скважины, имеющей дебит Q_j и находящейся от данной на расстоянии r_j ;

K_j – коэффициент фильтрации;

m_j – мощность водоносного слоя.

Если полагать, что значения K_{cp} (м/сут⁻¹), m_{cp} (м) в зоне водозабора для всех скважин одинаковы и что в скважинах установлены насосы равной производительности, то можно допустить:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = Q_{сум}/n. \quad (4.63)$$

Следовательно,

$$S_0 = \frac{Q_{сум}}{2\pi K_{cp} m_{cp} n} \ln \frac{R_n}{r_0}, \quad (4.64)$$

$$\Delta S_1 = \frac{Q_{сум}}{2\pi K_{cp} m_{cp} n} \ln \frac{R_n}{r_1}, \quad (4.65)$$

Тогда по уравнению (4.48)

$$S = \frac{Q_{сум}}{2\pi K_{cp} m_{cp}} \left[\ln R_n - \frac{1}{n} (\ln r_0 + \ln r_1 + \dots + \ln r_n) \right]. \quad (4.66)$$

Для водозабора в безнапорном водоносном пласте по формуле (4.66) получаем:

$$S = H_{min} - \sqrt{H_{min}^2 - \frac{Q_{сум} \left[\ln R_n - \frac{1}{n} (\ln r_0 + \ln r_1 + \dots + \ln r_n) \right]}{\pi K}}, \quad (4.67)$$

При расчетах по формуле (4.67) следует принимать наинизший уровень грунтовых вод H_{min} .

Н. Н. Биндеман показал, что в большинстве случаев с достаточной для практики точностью можно рассчитывать групповые колодцы в безнапорных пластах по формуле (4.66), выведенной для напорных пластов, и применять формулу (4.67) только для понижений уровня в скважинах, превышающих половину мощности водоносного пласта.

Формулы (4.66) и (4.67) справедливы при любом размещении водозаборных скважин. Наибольшее понижение уровня воды будет в центральной скважине линейного ряда. Расчет сводится к получению в ней необходимого по гидрогеологическим и технико-экономическим соображениям динамического уровня воды.

Изменяя число скважин и расстояния между ними, можно получить необходимую глубину понижения как в центральной скважине, так и в любой другой, а также в любой точке области влияния водозабора (рисунок 63).

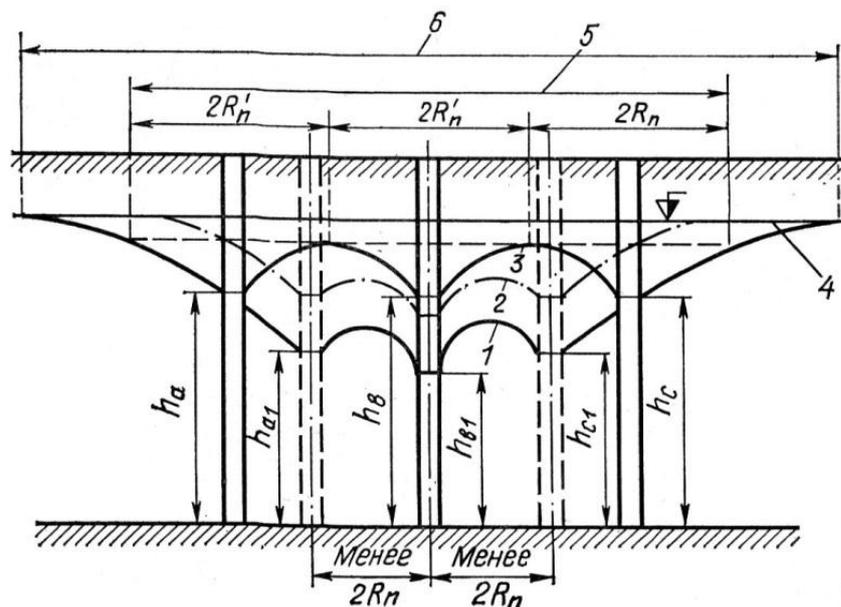


Рисунок 63 – Схема понижения свободной поверхности грунтового потока при различных расстояниях между тремя колодцами и равном дебите.

1 – при сближении колодцев; 2 – то же, но при сниженном дебите; 3 – при увеличении расстояния между колодцами; 4 – статический уровень; 5 – зона питания; 6 – зона влияния.

Расчет упрощается, если, используя теорию Форхгеймера, заменить ряд скважин «большим колодцем», эквивалентным по дебиту всему водозабору, и определять S в центральной скважине по формуле (4.13), приняв $r_0 = r_k$ и $Q = Q_{сум}$.

Таблица 7 – Расстояние между колодцами, м

Грунт водоносного пласта	Мощность водоносного пласта, м		
	6	10...15	>15
Суглинки	50...60	40...50	30...40
Чистые пески средне- и крупно-зернистые	40...50	40...30	20...30
Галечники	40...20	30...15	10...20

Радиус большого колодца при этом определяется по формуле:

$$r_k = a\lambda(n - 1), \quad (4.68)$$

где λ – расстояния между скважинами, м;

n – число скважин;

α – коэффициент, определяемый по рисунку 64.

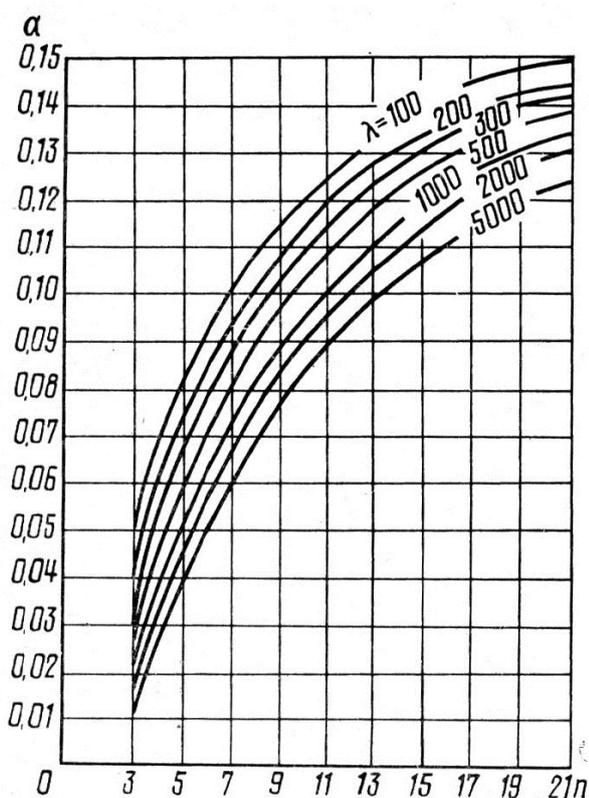


Рисунок 64 – График для определения коэффициента α

Последовательность расчета группы колодцев можно принять такой:

1. Задаются расстоянием между колодцами. При этом учитывают опыт аналогичных установок в водоносных пластах, близких по своим показателям к данному. Для предварительного подсчета можно принимать примерные расстояния между колодцами по таблице 5.

При обычно принимаемых в практике водоснабжения расстояниях между колодцами последние в большинстве случаев взаимодействуют и образуют общую область понижения.

2. Задаются числом колодцев. Если мощность водоносного пласта достаточно велика и если возможно и выгодно в данных местных условиях значительно понижать уровень воды в колодцах, т. е. работать при больших глубинах откачки, то для первого ориентировочного подсчета можно принимать число колодцев равным:

$$n_1 \cong \frac{Q}{q} \quad (4.69)$$

где q – дебит одиночного колодца.

Число запасных колодцев назначают после окончания расчета и уточнения числа рабочих колодцев.

3. Проверяют по уравнению (4.67) толщину слоя воды у колодца, находящегося в центре группы колодцев.

Очевидно, что в центральном колодце будет наибольшее понижение уровня воды. Желательно, чтобы понижение это не было чрезмерным, так как при большой разнице толщины слоев воды в центральном и крайнем колодцах будет в некоторой степени затруднено как проектирование, так и эксплуатация насосных установок.

При достаточно большом расходе Q и малых расстояниях между колодцами можно получить по уравнению (4.67) значение $S > H$. Это означает, что число колодцев или расстояние между ними, или и то и другое должны быть увеличены. Желательно, чтобы понижение у центрального колодца было не менее (0,5...0,6) H .

4. Глубину понижения уровня воды у каждого колодца определяют по формуле (4.67), в которой r_1, r_2, \dots, r_n – расстояния от осей соответствующих колодцев до колодца, у которого вычисляют S . Эти расчеты необходимы для проектирования фильтров, насосных установок и сборных водоводов.

5. Проверочные расчеты продолжают до получения желаемых результатов.

6. Приступают к проектированию конструкций водоприемной части колодцев, стволов и оголовков (после окончательного установления дебитов и слоя воды у внешнего периметра колодцев).

7. Назначают по СНиП число резервных колодцев.

4.18 Сборные водоводы

Вода из водозаборных колодцев поступает в общий сборный колодец или резервуар по соединительному, или, как его называют, сборному водоводу. Сборный водовод, в зависимости от местных условий, может быть построен как самотечно-напорный, сифонный и нагнетательно-напорный.

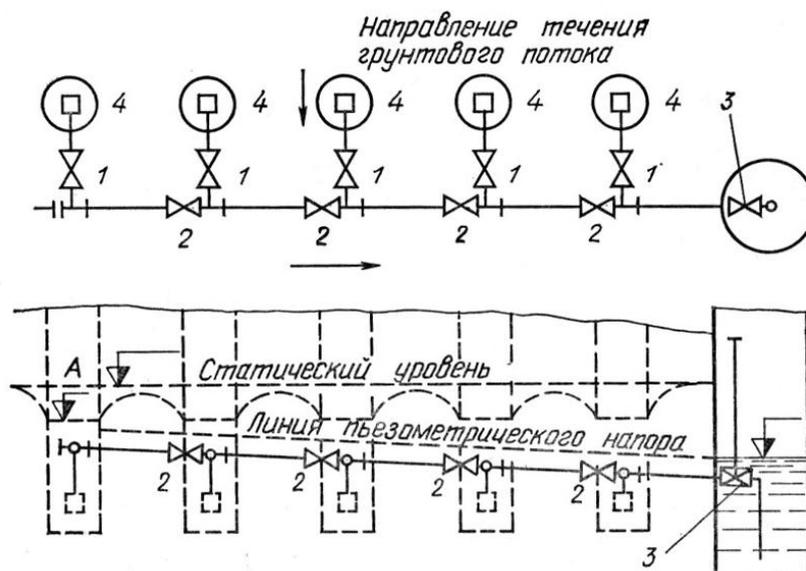


Рисунок 65 – Схема самотечно-напорного сборного водовода.

Самотечно-напорный водовод (рисунок 65). Водовод прокладывают на некотором расстоянии (3...5 м) от водозаборных колодцев. Водозаборные колодцы присоединяют к общему трубопроводу небольшими соединительными ветвями. На них устанавливают задвижки 1, которыми в случае необходимости отдельные колодцы выключают из общей системы группового колодца. Этими же задвижками можно регулировать количество воды, забираемой из каждого колодца. Задвижки 2 служат для выключения при ремонте отдельных участков сборного водовода. Задвижкой 3, устанавливаемой в сборном колодце, регулируют суммарную подачу воды из водозаборных колодцев.

В каждом водозаборном колодце на соединительной ветви необходимо устанавливать храпок с обратным клапаном 4 для предупреждения возможности переливания воды из одного водозаборного колодца в другой. Целесообразно также приемный конец водовода опускать в водозаборный колодец под уровень и располагать храпок 4 на расстоянии 0,7...0,8 м от дна. Выводной конец водовода в сборном колодце также опускают вниз. Такое размещение концов водовода позволяет при необходимости понижать уровень воды в сборном колодце ниже расчетной отметки и превращать на короткое время самотечный напорный водовод в сифонный.

Сборный самотечно-напорный водовод устраивают обычно из чугунных, асбестоцементных, керамических или гончарных труб. Стальные и железобетонные трубы можно применять лишь в тех случаях, когда нет опасности разрушительного химического воздействия на трубы грунтовых вод.

Расчет самотечного напорного сборного водовода заключается в определении потерь напора на всех его участках. Для того, чтобы при изменяющемся расходе воды по водоводу не делать его из труб различных диаметров, принимают в его верхних участках скорость движения воды порядка 0,2...0,3 м/с, в низовых – 0,6...0,8 м/с. Большие скорости допустимы лишь при возможности вывести воду в сборный колодец самотеком, не заглубляя водовод.

Потери напора определяют обычными методами расчета простого водопровода.

Отметка уровня воды в сборном резервуаре-колодце равна отметке динамического уровня воды в наиболее удаленном водозаборном колодце (или в не наиболее удаленном, но по гидрогеологическим условиям имеющем отметку динамического уровня значительно меньшую, чем наиболее удаленный колодец) на величину потерь напора в сборном водоводе от водозаборного колодца до сборного.

Применение сборных самотечно-напорных водоводов определяется следующими соображениями:

1) их прокладывают ниже отметок динамических уровней воды в водозаборных колодцах и ниже линии пьезометрических напоров. Поэтому обычно при большом (более 6...7 м) расстоянии от поверхности земли до динамического уровня воды в водозаборных колодцах самотечно-напорные сборные водоводы не применяют, так как стоимость их с увеличением глубины прокладки значительно возрастает. По тем же соображениям при большой длине соединительного трубопровода на ровной местности устройство самотечно-напорного водовода может оказаться невыгодным из-за большого заглубления пьезометрической линии.

Необходимость водоотлива значительно удорожает в обычных условиях прокладку труб. Поэтому особенно выгодно применять самотечно-напорные водоводы на косогорах, когда можно вывести воду самотеком;

2) достоинства самотечно-напорного сборного водовода: простота и надежность эксплуатации, возможность при достаточном заглублении трубопровода широкого и простого регулирования задвижками производительности водозаборных колодцев;

3) недостаток самотечно-напорного сборного водовода – затруднительность его ремонта в водоносных породах.

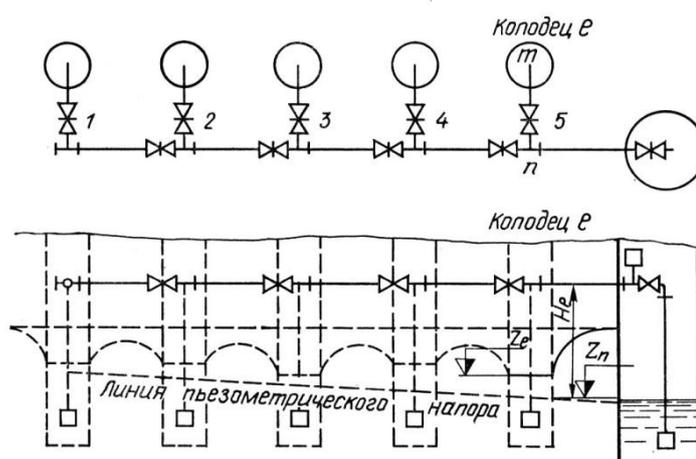


Рисунок 66 – Схема сифонного сборного водовода.

Сифонный сборный водовод. Для уменьшения стоимости работ по прокладке сборного водовода отказываются от самотечно-напорного и устраивают сифонный сборный водовод (рисунок 66). Он отличается от самотечно-

го тем, что линии труб проходят выше пьезометрической линии и в большинстве случаев выше статического уровня грунтовых вод.

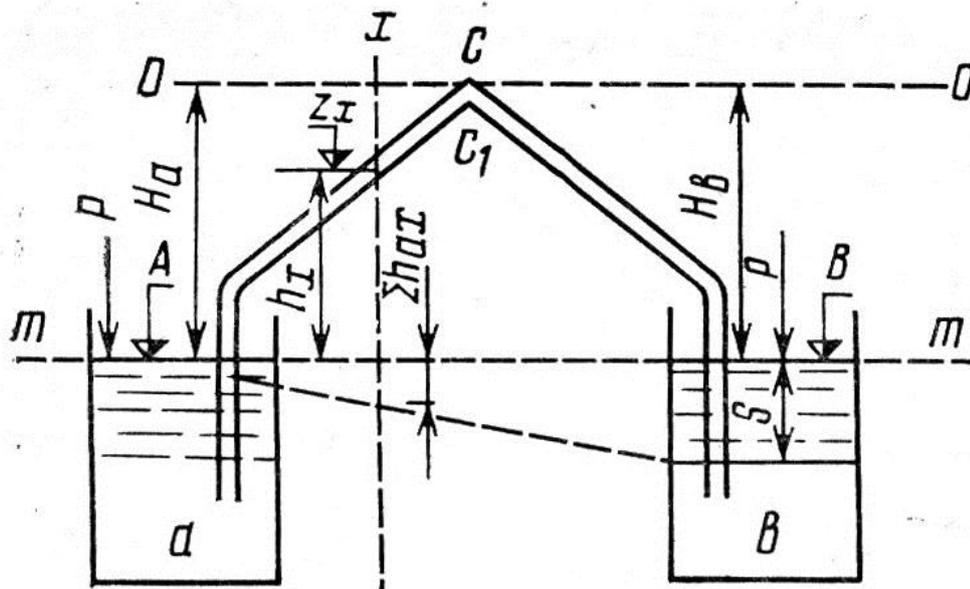


Рисунок 67 – Схема работы сифона.

Сущность работы сифона заключается в следующем. Если заполненную водой трубку *acb* опустить концами в сосуды *A* и *B* (рисунок 67), то вода начнет переливаться из верхнего сосуда *A* в нижний *B* при соблюдении двух условий.

1. Предположим, что уровни воды в сосудах *A* и *B* находятся на одной отметке, т. е. $H_a = H_b$, тогда, для того чтобы вода из трубки не вылилась, необходимо соотношение

$$H_b = H_a \leq P, \quad (4.70)$$

где P – атмосферное давление, действующее на поверхность воды в сосудах, равное $\approx 0,1$ МПа.

Давление в трубке меньше атмосферного. В наиболее высокой точке *C* оно равно $P - H_a$. Недостаток до атмосферного давления, равный H_a , называется вакуумом. Теоретически значение вакуума не может превышать $0,1$ МПа, а следовательно, остаточное давление в сифоне $P - H_a$ не может быть меньше нуля.

Только при этом условии атмосферное давление удержит воду в трубах сифона. Практически же принимают, что значение вакуума в сифоне не должно быть больше $7...8$ м. Например, если точка *C* находится над плоскостью *mm* на расстоянии 6 м, то вакуум равен $0,06$ МПа.

2. Если уровни воды в сосудах расположены на одной отметке, то вода будет стоять в трубке, не перемещаясь из одного сосуда в другой.

Однако равновесие жидкости в трубке немедленно нарушается, если уровень жидкости в сосуде B будет понижен на S м. В самом деле, теперь в сечении CC_1 давление слева будет $P - H_a$ и справа $P - H_b - S$ и так как $P - H_a > P - H_b - S$, то под действием этой разницы давлений вода будет перемещаться слева направо из сосуда A в сосуд B .

Для того чтобы из сосуда A в сосуд B по сифону перемещалось q ($\text{м}^3/\text{с}$), необходимо соблюдение равенства

$$h = (1 + \xi) \frac{v_c^2}{2g} + S_1 q_2^m, \quad (4.71)$$

где $(1 + \xi) \frac{v_c^2}{2g}$ – напор (м), расходуемый на вход воды в трубу и образование в ней скорости v_c . В зависимости от конструкции входного отверстия значение ξ может быть различным;

$S_1 q_2^m$ – потери напора по длине сифона; S_1 – сопротивление сифонного трубопровода.

Следовательно, разность уровней воды в сосудах, соединенных сифоном, должна равняться сумме потерь напора в сифоне при данном расходе.

Чем больше разность уровней воды в сосудах, тем больший расход воды пропускает сифон. Таким образом, производительность сифона можно регулировать изменением разности уровней воды в колодцах.

Делая для упрощения некоторые допущения, можно считать, что пьезометрическая линия в сифоне пройдет так, как показано на рисунке 67.

Обозначая отметку уровня воды в сосуде A через A , отметку некоторой точки сифона x через z_x , общую сумму потерь напора от входного отверстия a до точки x через h_{ax} , получим напор (м) в сифоне в точке x

$$H = P - (z_x - A) - h_{ax}. \quad (4.72)$$

Например, отметка $z_x = 27$ м, отметка $A = 24$ м. Общая сумма потерь напора $h_{ax} = 1,2$ м. Следовательно, в точке x сифона напор равен $10 - (27 - 24) - 1,2 = 5,8$ м, т. е. абсолютное давление примерно равно $0,058$ МПа.

Остаточное давление в сифоне H при отсасывании из последнего выделяющегося из воды воздуха для любой точки сифона не должно быть меньше $0,02 \dots 0,03$ МПа, что соответствует вакууму, равному $7 \dots 8$ м.

Расчет сифонного сборного трубопровода сводится к определению по соответствующим расчетным таблицам или формулам потерь напора на вход, по длине и в фасонных частях. Для уменьшения потерь напора обычно принимают скорость движения воды в сифоне не более $0,5 \dots 0,7$ м/с.

В результате расчета на профиле сифонного трубопровода вычерчивают пьезометрическую линию и проверяют, не превосходит ли вакуум в наиболее высоких точках сифона допустимого, т. е. 7...8 м.

Необходимая отметка уровня воды в сборном колодце определится как разность

$$B = A - h_{ab} \quad (4.73)$$

где h_{ab} - общая сумма потерь напора в сифоне от входного отверстия в водозаборном колодце, наиболее удаленном от сборного колодца, до выпускного отверстия в сборном колодце, м;

A - отметка уровня воды в наиболее удаленном от сборного водозаборном колодце, м.

При большом числе водозаборных колодцев и, следовательно, большой длине сифонной линии на участках, ближайших к сборному колодцу, обычно всегда наблюдается излишний вакуум. Пусть у колодца e в главной линии сифона (рисунок 66) степень разрежения равна H_e (м). В водозаборном колодце e необходимо по гидрогеологическим условиям поддерживать уровень воды на отметке r_e . Отметка линии давления в сифоне у колодца e равна z_n . Потери напора в соединительной ветви mn равны h_e . Следовательно, в точке n получаем избыток напора, равный:

$$z_e - z_n - h_e = \Delta h. \quad (4.74)$$

Для того, чтобы удержать уровень воды в колодце на отметке z_e , этот избыток напора надо погасить задвижкой 5 (см. рисунок 66). Изменением степени закрытия задвижки 5 можно регулировать в известных пределах забор воды из колодца. Открывая задвижку и уменьшая Δh , можно увеличивать количество воды, забираемой из колодца e .

Для нормальной бесперебойной работы сифона необходимо удалить из него воздух, выделяющийся из воды. Воздух, растворенный в воде, при пониженном давлении в трубах сифона начинает расширяться и энергично выделяется из воды в виде мелких пузырьков.

Можно принять в среднем, что вода содержит при атмосферном давлении 2,5 % воздуха по объему. Объем этого воздуха при понижении давления в сифоне увеличивается (таблица 8). Из воды выделяется примерно 60 % объема газа, указанного в таблице.

Выделяющийся из сифона воздух постепенно скапливается в наиболее повышенной точке. Образующаяся воздушная пробка, сужая сечение трубы, уменьшает производительность сифона и может в конечном итоге разорвать водяной столб (рисунок 68).

Таблица 8 - Объем воздуха в воде в зависимости от давления в сифоне.

Высота всасывания, м	Внутреннее давление в сифоне, МПа	Объем газов на 100 л воды, л	Высота всасывания, м	Внутреннее давление в сифоне, МПа	Объем газов на 100 л воды, л
0	0,1	2,50	5	0,05	5,00
1	0,09	2,78	6	0,04	6,25
2	0,08	3,12	7	0,03	8,33
3	0,07	3,57	8	0,02	12,50
4	0,06	4,17	9	0,01	25,00

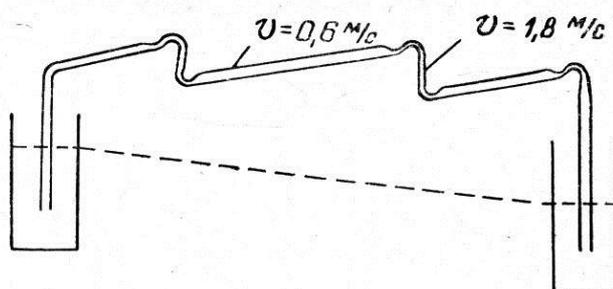


Рисунок 68 – Схема сифона с перепадами Линдлея для удаления воздуха.

Сифон всегда надо прокладывает с некоторым подъемом в сторону сборного колодца (не менее 1/4000). Чем больше подъем, тем лучше условия для удаления воздуха из сифона, так как пузырьки воздуха быстрее скапливаются в наиболее повышенной точке сифона, устраиваемой в большинстве случаев в сборном колодце. Для предупреждения образования в сифоне воздушных мешков совершенно недопустимы на сифонном трубопроводе западины и обратные уклоны.

Для удаления воздуха из сифона служат различные приспособления, которые можно разделить на следующие группы: 1) с удалением воздуха текущей по сифону водой; 2) с удалением воздуха аппаратами, действующими от напора воды, подводимой со стороны; 3) вакуум-насосные установки.

К первой группе относятся перепады Линдлея. Сифон делят на несколько участков, соединяемых специальными перепадами (рисунок 68), на которых устанавливают трубы уменьшенного диаметра с таким расчетом, чтобы скорость движения воды в них была около 2 м/с. Длину перепада принимают 1,5...3 м.

Воздух, скапливающийся в этом переходе, засасывается водой, стремительно поступающей в перепадную трубу, и сбрасывается в нижележащий участок. В последнем воздух постепенно поднимается к гуську следующего перепада и т. д. Последним перепадом воздух сбрасывается в сборный колодец. Для того чтобы постоянно поддерживать в перепадах скорость 2 м/с при изменяющемся расходе воды по сифону, устанавливают на одном перепаде несколько (2...3) труб с уменьшенным диаметром. Минимальный расход

пропускают через одну ветвь перепада, максимальный – через все ветви. Для возможности выключения и включения отдельных ветвей перепада перед ними устанавливают специальные задвижки с запорным диском, перемещающимся при открытии вниз, или обычные задвижки штурвалом вниз. При несоблюдении этого правила возможно образование перед задвижкой воздушного пузыря, уменьшающего сечение трубы и ее пропускную способность.

Ко второй группе приспособлений для удаления воздуха относится различные приборы, действующие по следующей схеме. В наиболее высокой точке сифона на тройнике устанавливают колпак, в котором размещается поплавок (рисунок 69). По мере накопления в колпаке воздуха поплавок опускается и посредством рычагов открывает напорный вентиль. Вода из напорной трубы поступает в водоструйный насос, который отсасывает воздух из колпака. Воздух с отработанной водой отводится по трубке С. Напорную воду к аппарату можно подвести от нагнетательного водовода, идущего от насосной станции или от специального напорного бака. Для предупреждения загрязнения воды в сифоне рабочая вода должна быть в санитарном отношении не хуже воды, текущей по сифону. Целесообразно на тройнике, на котором размещается воздухоудаляющий аппарат, ставить перед аппаратом задвижку, чтобы можно было не приостанавливать действие сифона при осмотрах и мелких ремонтах аппарата.

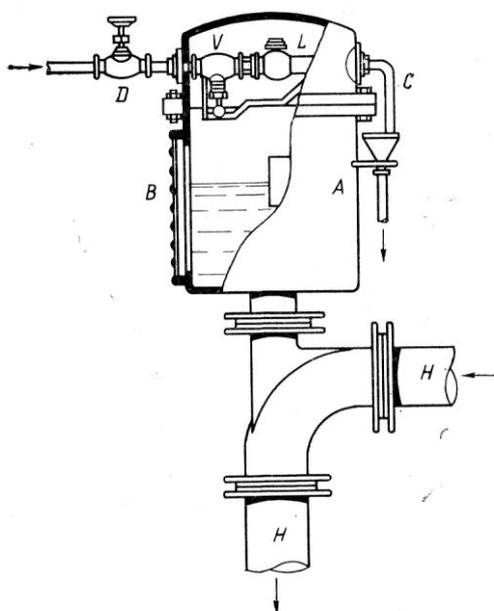


Рисунок 69 – Аппарат для удаления воздуха из сифона.

Из крупных сифонов с большой производительностью целесообразно удалять воздух отсасыванием его специальным вакуум-насосом, устанавливаемым обычно в здании насосной станции (рисунок 70). Для этой цели особенно удобны консольные вакуум-насосы (КВН-4 и КВН-8).

Из воздушного колпака на сифоне воздух отводится стальной газовой трубой в воздушный котел, соединенный с вакуум-насосом. Емкость воз-

душного котла желательно определять из условия обеспечения нормальной работы вакуум-насоса. Целесообразно пуск и выключение вакуум-насоса автоматизировать. При повышении давления в котле выше определенного предела электродвигатель вакуум-насоса включается в работу и отсасывает воздух до необходимого давления. После этого электродвигатель автоматически выключается.

При выборе способа удаления воздуха необходимо учитывать следующее:

1. Первый способ (перепады Линдлея) применим только при возможности значительного понижения уровня воды в сборном колодце (например, на склоне горы) и когда трудно проложить линию сифона с непрерывным подъемом в сторону сборного колодца.

2. На ровном месте при наличии дешевой и доброкачественной напорной воды и при сравнительно небольшом количестве удаляемого воздуха можно использовать аппараты второй группы.

3. При крупных сифонах и наличии насосных станций, агрегаты которых обслуживаются вакуум-насосами, целесообразен третий способ. В этом случае применение вакуум-насосов для отсасывания воздуха из сифона увеличит коэффициент их использования. Для того чтобы сифон мог работать, в нем должен быть создан вакуум предварительным заполнением водой или отсасыванием из сифона воздуха.

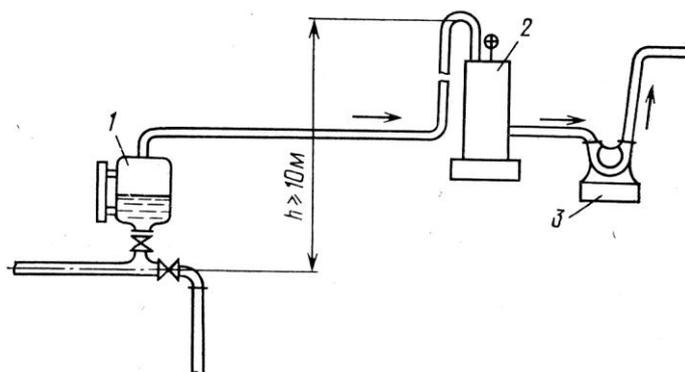


Рисунок 70 – Схема установки вакуум-насоса для удаления воздуха из сифона.

1 – воздушный колпак; 2 – воздушный сборный котел; 3 – вакуум-насос.

Первый способ применяется при небольших установках. На всасывающих концах сифона в водозаборных колодцах устанавливают храпки с обратными клапанами, которые не дают выливаться воде из сифона при его наполнении. На выпускном конце сифона в сборном колодце расположен управляемый обратный клапан. При заливке сифона этот клапан закрывается. После заливки его открывают вручную. При заливке на воздушном колпаке, установленном в наиболее высокой точке сифона, открывается отверстие для выпуска воздуха, постепенно вытесняемого из сифона водой. После заполнения сифона водой, что отмечается по водомерной трубке, устанавливаемой

на воздушном колпаке, воздушное отверстие закрывается и открывается управляемый обратный клапан в сборном колодце. При необходимом понижении уровня воды в колодце сифон подает из водозаборных колодцев соответствующее количество воды.

При наполнении сифона водой созданием в нем вакуума отпадает необходимость установки на концах сифонных труб обратных клапанов. В этом случае вакуум-насос отсасывает воздух из сифона, и вода из колодцев атмосферным давлением поднимается в трубах сифона, постепенно заполняя его. Установка обратных клапанов в крупных сифонах нецелесообразна, так как в них теряется довольно значительный напор воды (0,5...1,5 м).

Схема размещения на сифоне задвижек показана на рисунке 66.

Сифоны устраивают из стальных и чугунных труб. Первые в большинстве случаев сваривают, вторые соединяют фланцевыми и раструбными соединениями. При прокладке сифонных труб в грунте более целесообразны раструбные соединения.

Весьма важно обеспечить устойчивость сифонного трубопровода, не останавливаясь при неблагоприятных геологических условиях перед устройством специальных оснований. Все узлы присоединения к сифону ветвей от водозаборных колодцев надо размещать в легкодоступных смотровых колодцах.

Если динамический уровень воды в колодце расположен на большой глубине от поверхности земли (примерно более 12...15 м), сифонные сборные водоводы устраивать технически невозможно или экономически нецелесообразно. Поэтому на каждом колодце устанавливают водоподъемник, который, поднимая воду из колодца, нагнетает ее через общий сборный напорный нагнетательный водовод в сборный резервуар.

Для удобства обслуживания группы водоподъемников устраивают энергетический центр, в котором сосредоточено управление всеми установками и контроль за их работой. Из этого центра энергия различными способами передается к насосам, установленным в колодцах.

По типу передачи энергии групповые насосные установки можно разбить на электрические, пневматические, гидравлические и механические.

4.19 Сборный колодец

Сборные водоводы (самотечный и сифонный) не следует соединять непосредственно с насосами, так как все изменения режима работы насоса немедленно сказываются на работе водозаборных колодцев. Такое же отрицательное влияние на работу насосов окажут всякие изменения в подаче воды отдельными колодцами. Поэтому в подавляющем большинстве случаев вода из сборных водоводов поступает в сборные колодцы, из которых ее забирают насосы первого подъема.

Устройство сборного колодца устраняет возможность распространения гидравлических ударов от насосов к колодцам. Кроме того, в сборном колод-

це оседает песок, который иногда содержится в воде, притекающей из водозаборных колодцев.

При наличии сборного колодца присоединение новых ветвей сборных водоводов весьма просто и удобно.

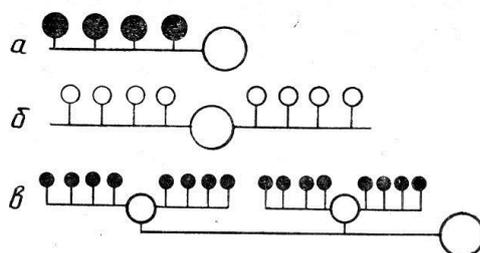


Рисунок 71 – Схемы размещения сборных колодцев

Местоположение сборного колодца определяется следующими соображениями:

1. При сравнительно небольшом числе водозаборных колодцев сборный колодец обычно устраивают на одном из концов водосборной линии (фланговое размещение) (рисунок 71, а). При этом для колодца выбирают такое место, из которого удобнее и дешевле вывести воду потребителю.

2. Если число водозаборных колодцев велико, то сборный колодец размещают примерно в центре водосборной линии (рисунок 71, б).

3. При большом числе водозаборных колодцев может оказаться необходимым устройство сборных колодцев 1-го порядка непосредственно у водозаборных колодцев (рисунок 71, в).

Способ определения размеров сборного колодца зависит от условий его работы. Если сборный колодец служит регулирующим резервуаром, в который непрерывно в течение суток поступает вода из водозаборных колодцев, а насосы забирают воду из сборного колодца в течение одной-двух смен, т. е. суточный график подачи воды не совпадает с суточным графиком забора воды из колодца, то емкость такого резервуара определяется обычными приемами.

Если график разбора воды совпадает с графиком ее подачи (наиболее часто встречающийся случай), то размеры колодца определяются:

- необходимостью размещения в нем концевых труб сборных водоводов, всасывающих труб насоса и приборов для удаления воздуха из сифона и очистки колодца от грязи и ила (рисунок 72);
- эксплуатационными и строительными соображениями (возможность устройства, ремонта и надзора);
- размещением в колодце запаса воды, равного 15...20-минутной производительности насоса, служащего для уравнивания работы насосов и сифонов при мелких неполадках.

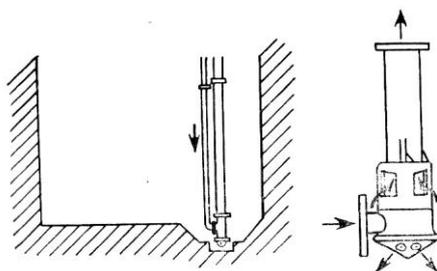


Рисунок 72 – Схема размещения грязевого насоса для удаления осадков из сборного колодца.

Запас воды следует размещать ниже обычного динамического уровня воды в колодце, что исключает остановку насоса при кратковременных перебоях в работе сифона. Однако такое расположение не должно вызвать значительного заглубления насосной станции.

Сборный колодец обычно устраивают с водонепроницаемыми стенками и дном. При небольшом числе близко расположенных водозаборных колодцев один из них можно устраивать одновременно и сборным.

При большом числе водозаборных колодцев (больше шести) разница между отметками динамических уровней воды в водозаборных колодцах и в сборном колодце оказывается значительной.

Глубина откачки в сборном колодце становится очень большой, и поэтому, если он принимает воду из грунта, в приемных отверстиях могут развиться скорости движения воды, вымывающие частицы грунта в колодец. Особенно опасно вымывание частиц грунта при приеме воды через дно, так как оно может повлечь за собой осадку колодца и повреждение всасывающей или сифонной линии труб.

Колодец строят обычно опускным способом из кирпича, камня, бетона или железобетона. Дно колодца делают водонепроницаемым из бетона.

В процессе проектирования должна быть проверена прочность дна против выпирания его грунтовыми водами при пустом колодце. Если есть необходимость усилить дно, его соответствующим образом армируют.

На дне колодца делают приямок. Дно планируют с уклоном не менее 0,01 к приямку. Для удаления грязи, ила и песка, оседающих в колодце, в приямке размещают водоструйный элеватор (рисунок 72).

Над сборным колодцем для более удобной его эксплуатации устраивают павильон. В плане он должен быть прямоугольным, имеющим сверху вид обычного домика. Штоки и штурвалы всех задвижек выводят выше пола этого павильона (рисунок 73). В павильоне же при необходимости размещают приспособления для подъема тяжелых фасонных частей из колодца.

В сборном колодце размещаются различные трубы: подающие, по которым вода поступает в колодец (сифонные, самотечно-напорные); всасывающие трубы насосов или разборные; трубы водоструйного элеватора, подводящие воду для заливки сифона или удаления воздуха из сифона (в тех случаях, когда это необходимо); воздушные к вакуум-насосу, если воздух из сифона удаля-

ется отсасыванием, и различные приспособления для удаления воздуха (рисунок 73).

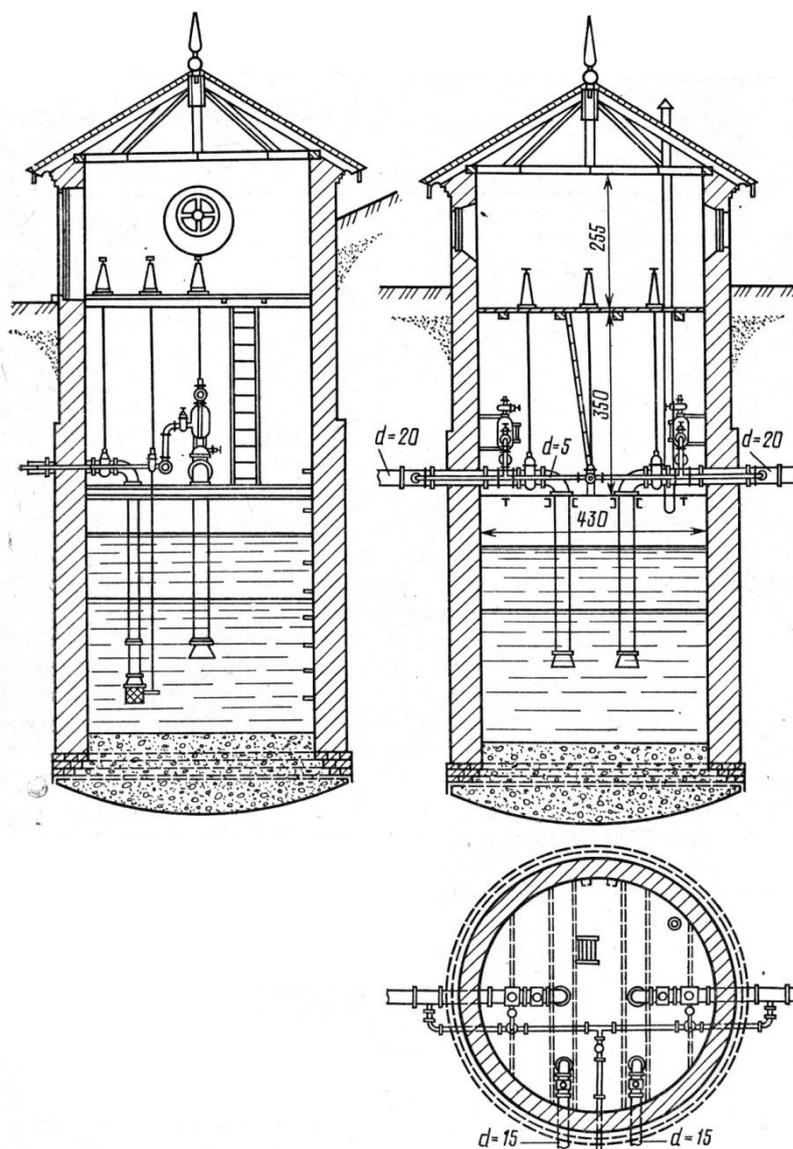


Рисунок 73 – Сборный колодец, (размеры даны в сантиметрах)

При конструировании сборного колодца необходимо предварительно запроектировать монтажную схему всех трубопроводов и установить в соответствии со стандартными размерам труб, фасонных частей и арматуры потребные внутренние размеры его.

4.20 Горизонтальные водозаборы определение их дебита. Каптаж ключей.

При устройстве горизонтального водозабора водоносный пласт вскрывают горизонтальной выработкой (рвом, штольной и т. д.). В эту выработку укладывают различные устройства (дренажные трубы, галереи и т. д.), принимающие из водоносного пласта воду. Общая схема горизонтального водо-

забора (рисунок 74) включает водоприемную часть 1, смотровые колодцы 2, водовод 3, сборную камеру 4. В некоторых случаях те или иные элементы полной схемы горизонтального водозабора не проектируют.

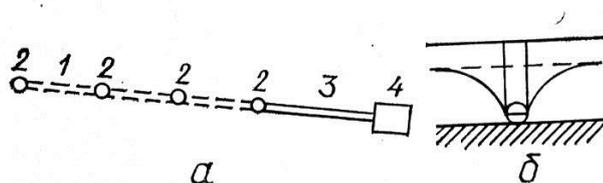


Рисунок 74 – Схема горизонтального водозабора. *a* – в плане; *б* – в разрезе.

Водоприемная часть служит для приема воды из водоносного пласта. Смотровые колодцы необходимы для систематического наблюдения за работой водоприемной части и своевременной ее очистки. Водовод устраивают только при размещении сборной камеры на некотором расстоянии от водоприемной части. Сборная камера предназначена для осаждения зерен песка, вымываемых из грунта, наблюдения за общим дебитом водозабора и регулирования в известной степени подачи воды из каптажа в разборные трубы, отводящие воду потребителю.

Горизонтальные водозаборы применяют главным образом в условиях неглубокого залегания водоносного пласта (до 7...8 м), незначительной мощности водоносного пласта (менее 2...3 м) и удобного самотечного водоотлива из котлована при устройстве горизонтального водозабора (например, на склоне горы).

Приток воды на 1 м водоприемной части обычно принято определять в условиях плоского (не радиального) потока (рисунок 75), что может быть достаточно правильным только при очень большой длине водоприемной части или когда последняя пересекает водоносный пласт по всей его ширине.

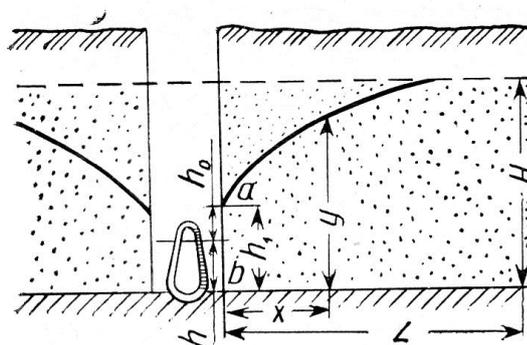


Рисунок 75 – Схема притока воды к горизонтальному водозабору.

При сравнительно небольшой длине водоприемной части, заложенной на подстилающем водоносный пласт водоупоре, ширина B зоны питания водозабора будет значительно больше его длины ($B > l$) (рисунок 76). Поэтому

при решении вопроса о притоке воды к горизонтальному водозабору как плоской задачи дебит водозабора уменьшается.

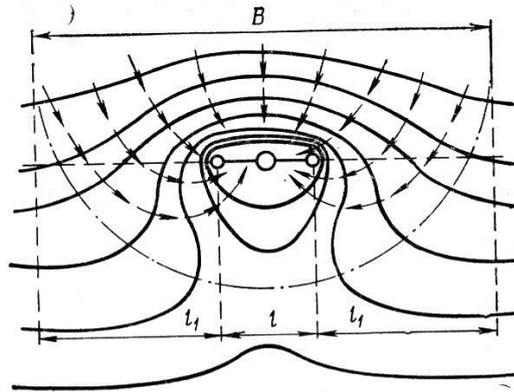


Рисунок 76 – Зона питания горизонтального водозабора.

B – ширина зоны питания; l – длина водозабора.

Форхгеймер показал, что дебит водозабора в неограниченном пласте сравнительно небольшой длины (до 30...50 м) равен дебиту круглого колодца с диаметром, равным половине длины горизонтального водозабора в соответствии с формулой (4.14) составит

$$Q = \frac{\pi K S_{\text{доп}} (2H - S_{\text{доп}})}{\ln \frac{R_{\text{П}}}{0.25l}}, \quad (4.74)$$

где K – коэффициент фильтрации, м/сут;

$S_{\text{доп}}$ – допустимое понижение уровня воды в водозаборе, приближенно равное

$$S_{\text{доп}} = (0.5...0.7) H - \Delta h_{\text{нас}} - \Delta h_{\text{ф}}, \quad (4.75)$$

где $\Delta h_{\text{нас}}$ – максимальная глубина погружения нижней кромки насоса под динамический уровень; $\Delta h_{\text{ф}}$ – потери напора при входе в дренаж; H – первоначальная глубина потока (принимается минимальный уровень); $R_{\text{П}}$ – приведенный радиус влияния, определяемый по формуле (4.12), м; l – длина горизонтального водозабора, м.

Отсюда можно для заданного дебита определить необходимую длину водоприемной части:

$$l = \frac{2.72^m}{0.25} \quad (4.76)$$

где

$$m = \ln R_{\Pi} - \frac{\pi K(2H-S)S_{\text{доп}}}{Q}. \quad (4.77)$$

Ф. Форхгеймер принимал слой воды h_{1y} эквивалентного колодца равным слою воды в горизонтальном водозаборе. Этот слой обычно принимают от 0,125 до 0,08 H , учитывая, что при значительном понижении уровня воды в горизонтальном водозаборе вблизи него весьма вероятен турбулентный режим движения грунтовых вод. Следовательно, некоторое увеличение потерь напора необходимо с известным запасом принимать $S \cong (0,5 \dots 0,6)H$. Это дает некоторое увеличение необходимой длины l . При предварительных расчетах такой запас надежности необходим.

При строительстве горизонтального водозабора полученное по формуле (4.76) значение l легко откорректировать по действительному притоку воды в траншею, которой вскрывается водоносный пласт.

Формулой (4.76) можно пользоваться при устройстве горизонтального водозабора в водоносном пласте, залегающем на обширной площади. Только в таком пласте может развиваться зона питания необходимой ширины и образоваться нижняя водораздельная точка, через которую пройдут линии тока, ограничивающие область потока, не участвующего в питании горизонтального водозабора, от зоны его питания. Водозабор в этом случае будет принимать воду с двух сторон.

При устройстве горизонтального водозабора на склоне горы для захвата выклинивающегося пласта определение притока воды к водозабору следует рассматривать как плоскую задачу.

Надежнее таким же образом определять приток воды к горизонтальным водозаборам большой длины (более 50 м).

Особенно это необходимо в тех случаях, когда по условиям залегания водоносного пласта в нем не может образоваться достаточно обширная поверхность понижения с соответствующей зоной питания, например в ущельях, речных долинах и т. д., а также при малой водопроницаемости водоносного пласта.

Не всегда следует стремиться к обязательному развитию горизонтального водозабора по одной линии. Иногда удобнее и дешевле построить несколько участков горизонтальных водозаборных линий в наиболее благоприятных местах. Из отдельных каптажей воду подводят закрытыми водоводами в общую сборную камеру или в общий сборный резервуар.

Горизонтальный водозабор, пересекающий все сечения водоносного пласта и основанный на водоупоре (например, в долине, ущелье), захватывает все протекающее по пласту количество воды, осушая грунт ниже водозабора. Водозабор, пересекающий всю ширину грунтового потока и устроенный несколько выше водоупора, захватывает только потоки, проходящие выше дна водозабора.

И в первом и во втором случаях необходимо рассчитывать водозабор по притоку плоского подземного потока.

Приток воды на 1 м горизонтального водозабора в плоском потоке определится из ниже следующих соображений. Пусть в водоносном пласте устроен горизонтальный водозабор, основанный на подстилающем водопоре (рисунок 75). На 1 м сечения водоносного пласта, сделанного на расстоянии x от водозабора, к нему притекает:

$$q_1 = 1yK_\phi \frac{dy}{dx}. \quad (4.78)$$

Разделяя переменные, имеем:

$$\left(\frac{q_1}{K_\phi} \right) \cdot dx = dy. \quad (4.79)$$

После интегрирования получаем:

$$\frac{y^2}{2} = \left(\frac{q_1}{K_\phi} \right) \cdot x + C. \quad (4.80)$$

Так как при $x = 0$ $y = h_1$, то:

$$C = \frac{h_1^2}{2}.$$

Подставляя значение C в уравнение (4,80), получаем уравнение кривой депрессии

$$y^2 = 2 \left(\frac{q_1}{K_\phi} \right) \cdot x + h_1^2 \quad (4.81)$$

При $x = L$ будет $y = H$. Подставляя в уравнение (4.81) значения x и y , получим приток на 1 м водоприемной части:

$$q_1 = K_\phi \frac{H^2 - h_1^2}{2l}. \quad (4.82)$$

При вычислении притока к водозабору (для установления необходимой его длины) следует в уравнение (4.82) подставлять минимальное значение H_{\min} . При определении q_1 для вычисления размеров водоприемных отверстий следует подставлять максимальное значение H_{\max} .

Слой воды h_1 обычно принимают равным $(0,125 \dots 0,08)H$.

Минимально возможное значение $h_1 = h_0$ (рисунок 75) соответствует случаю, когда водозаборная траншея полностью осушена, т. е. вся вода, поступающая из пласта, стекает в лоток, устроенный ниже поверхности водопора. В этом случае разрез водоносного пласта по линии ab представляет

собой поверхность «высачивания». На этом участке вода, вытекая из пород водоносного пласта, стекает вниз по разрезу. Приток воды к водозабору теперь имеет максимальное значение, а кривая депрессии занимает самое нижнее положение и дальнейшее понижение точки *a* выхода кривой депрессии на разрез невозможно.

В. В. Ведерников предложил определять величину h_0 (рисунок 75) в этом положении так:

$$h_0 = 0,441 \left(\frac{q_1}{K_\phi} \right) \quad (4.83)$$

Формула (4.83) может служить для проверки правильности принятого значения h_0 для вычисления q_1 по формуле (4.82). Если $h_1 > h_0$, то вскрытое траншеей сечение водоносного пласта обеспечивает пропуск притекающего к водозабору расхода q_1 . Если же $h_0 > h_1$, то приток воды к водозабору будет меньше определенного по формуле (4.82) q_1 и следует в последней формуле принять большее значение h_1 .

Уравнение (4.82) можно изобразить несколько иначе, а именно

$$q_1 = K_\phi \frac{H+h_1}{2} \frac{H-h_1}{L} = K_\phi \frac{H+h_1}{2} I_{cp} \quad (4.84)$$

где I_{cp} – средний уклон кривой депрессии.

Профессор А. Н. Костяков рекомендовал для I_{cp} следующие значения:

Таблица 9 – Значения среднего уклона кривой депрессии

Грунт	I_{cp}
крупнопесчаные грунты	0,003...0,006
пески	0,006...0,020
супесчаные грунты	0,020.. .0,050
суглинки	0,05...0,10
глинистые почвы	0,10...0,15

Из изложенного видно, что до сих пор вполне надежного и точного метода определения дебита горизонтального водозабора нет. Поэтому для предварительных расчетов можно пользоваться весьма простой и удобной формулой Н. А. Плотникова.

$$Q = alq_0, \quad (4.85)$$

где Q – общий дебит водозабора, м³/с;

l – длина водозабора, м;

q_0 – минимальный естественный расход грунтового потока на 1 м его ширины, равный $1 \cdot HK_{\phi} i$, где

H – мощность водоносного пласта;

i – уклон зеркала грунтового потока;

a – коэффициент, принимаемый, по Н. А. Плотникову, равным от 0,6 до 1,5 при заложении водозабора на водоупоре.

Наиболее надежным методом определения возможного дебита горизонтального водозабора служит устройство опытных участков водозабора в виде траншей, производительность которых устанавливают по результатам наблюдений.

4.21 Конструкция горизонтальных водозаборов

Горизонтальные водозаборы осуществляются в виде водосборных труб различной формы (рисунки 77, 78, 79) и водосборных галерей (рисунок 80).

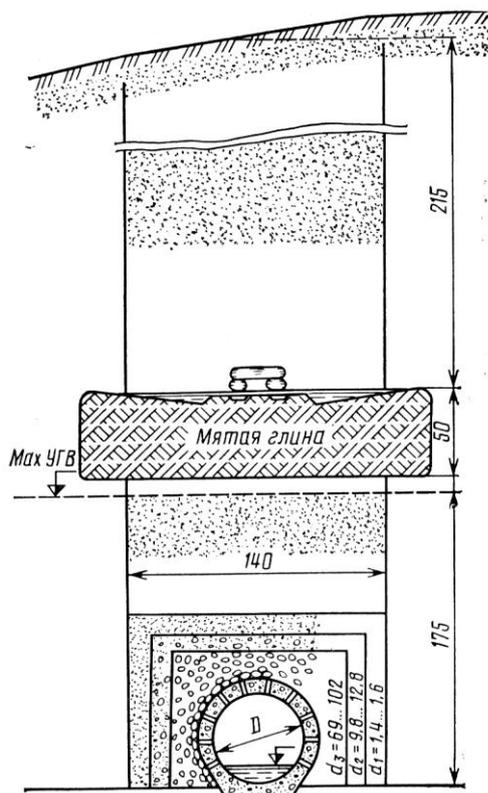


Рисунок 77 – Водосборная железобетонная труба с трехслойным гравийным фильтром при соотношении размера зерен в соседних слоях 1:8, (размеры даны в сантиметрах)

Условия притока воды ко всем типам горизонтального водозабора одинаковы, а способы приема воды различны.

При устройстве горизонтальных водозаборов различных типов должны быть соблюдены следующие общие условия.

1. Недопустимо образование подпора грунтовых вод в водоносном пласте вследствие недостаточной площади водоприемных отверстий или слишком малой для отвода каптированной воды продольной пропускной способности водозабора. Подпор особенно недопустим при одностороннем захвате грунтовых вод на склонах гор, так как он может вызвать уход отдельных струй потока в сторону от каптажа.

2. Основание водоприемной части следует устраивать на водоупоре, подстилающим водоносный пласт. Это уменьшает возможные потери воды под водозабором и увеличивает приток воды к нему из водоносного пласта.

3. Вынос частиц грунта из водоносного пласта должен быть минимальным, а лучше нулевым.

4. Конструкция водоприемной части должна исключать возможность осаждения вынесенных из грунта зерен в местах, не рассчитанных на прием осаждающихся взвесей.

5. Водозабор должен быть защищен от проникновения в него загрязненных поверхностных вод сверху или сбоку. С этой целью над водоприемными трубами и галереями устраивают водонепроницаемый экран (рисунки 77 и 80) из мятой глины или бетона. Мятая глина дает вполне надежную защиту, но ее необходимо предохранять от высыхания и растрескивания, что обеспечивается правильной формой экрана (рисунок 77).

6. Материалы, из которых делается водозабор, не должны ухудшать качество каптируемой воды. Наиболее желательны бетон, гончарные трубы, каменная и кирпичная кладка. Применение дерева недопустимо.

7. Водоприемная часть должна быть доступна для осмотра и очистки. Этому условию лучше удовлетворяют водосборные галереи. Менее удобны, но при надлежащем устройстве смотровых колодцев достаточно доступны для осмотра и очистки дренажные трубы.

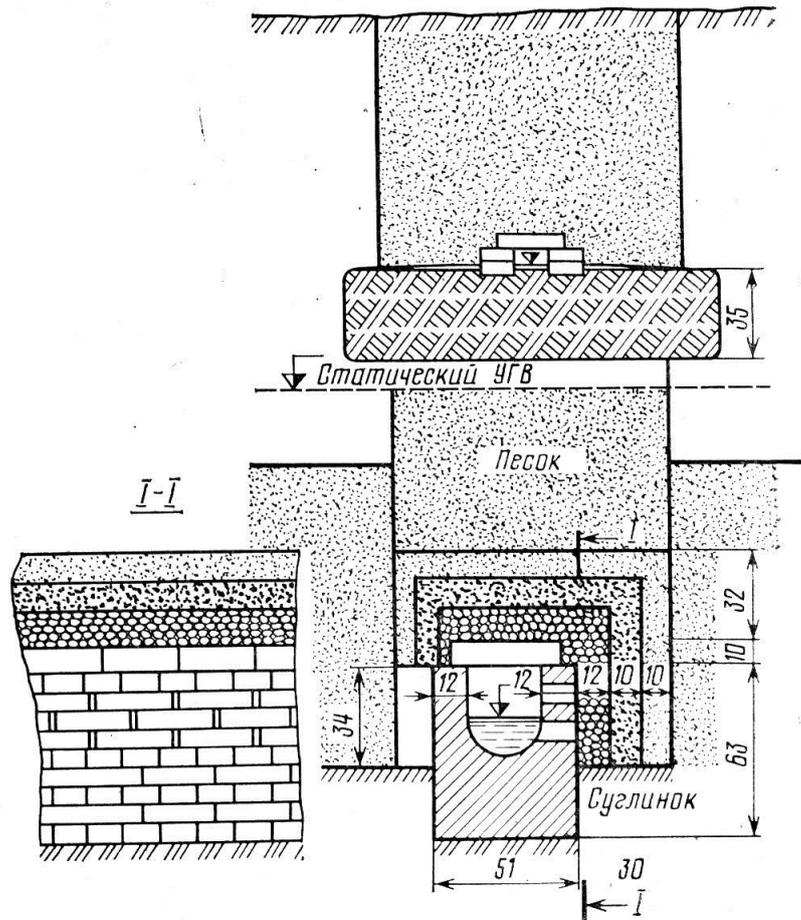


Рисунок 78 – Кирпичный водосборный лоток с гравийным фильтром. (Прием воды через пустые вертикальные швы, размеры даны в сантиметрах).

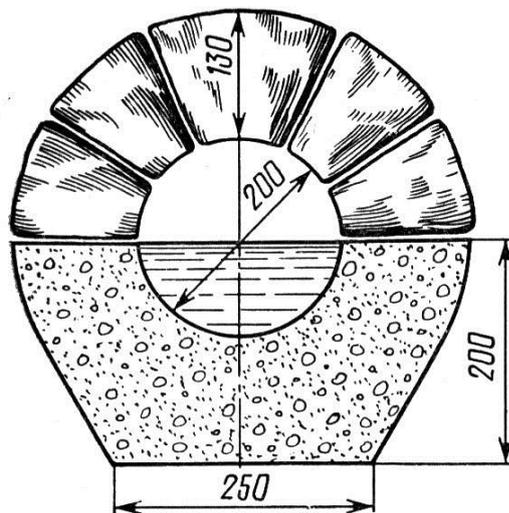


Рисунок 79 – Бетонный водосборный лоток с сухой каменной кладкой. (размеры даны в сантиметрах)

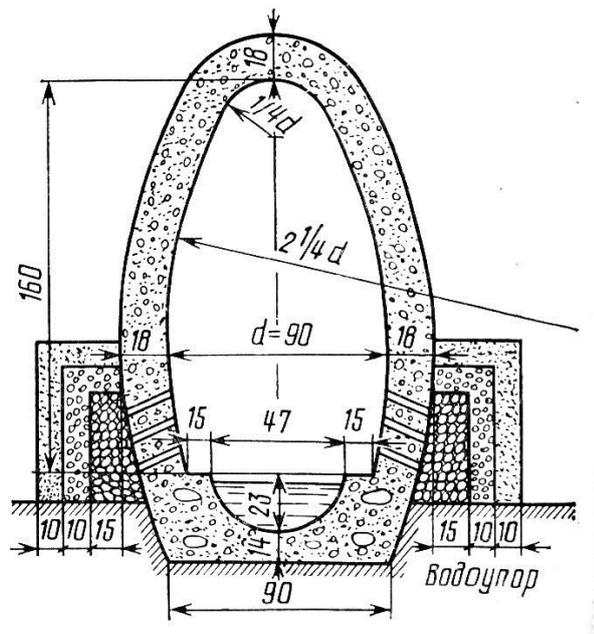


Рисунок 80 – Водосборная галерея со стоком воды по лотку. (размеры даны в сантиметрах).

В плотных грунтах, неразмываемых и неосыпающихся, водоприемные трубы или галереи размещают в траншее и свободное пространство между стенками трубы и водоносным грунтом заполняют крупным каменным материалом (галька, каменный прочный щебень). В стенках трубы или галереи следует делать поднимающиеся вверх и внутрь водоприемные отверстия (рисунок 80). Площадь этих отверстий (м^2) определяется по формуле

$$\omega = \frac{q_{\max}}{\mu \sqrt{2gh}}. \quad (4.86)$$

где q_{\max} – максимальный приток на 1 м водоприемной части, $\text{м}^3/\text{с}$;

μ – коэффициент расхода воды; для круглых отверстий принимается равным 0,60...0,62;

g – 9,81 $\text{м}/\text{с}^2$;

h – средний напор над водоприемными отверстиями, м.

Для дренажных труб с некоторым запасом можно принимать $h = 0,3D$, где D – наружный диаметр трубы. Для сборных галерей h принимают равным расстоянию от уровня воды у стен галереи до центра тяжести среднего по высоте отверстия.

Механический состав гравийной обсыпки должен быть подобран с таким расчетом, чтобы отдельные зерна ее не могли заклинить в водоприемных отверстиях и закупорить их.

Определяемую по формуле площадь водоприемных отверстий надо рассматривать как минимальную. По возможности ее следует увеличивать.

Максимальный ее размер обуславливается только механической прочностью водосборной трубы или галереи.

Водоприемные отверстия устраивают с той стороны, с которой поступает из пласта вода. В размываемых и осыпающихся грунтах (пески, супеси, галечник и т. д.) свободное пространство между водосборной трубой и грунтом водоносного пласта заполняют несколькими слоями гравийного фильтра (см. рисунок 77).

Размеры зерен в соседних слоях фильтра подбирают из тех же соображений, что и для гравийных фильтров трубчатых колодцев. Толщину каждого слоя обсыпки обычно принимают равной 0,1...0,2 м. Площадь водоприемных отверстий в стенках водосборной трубы или галереи определяют по формуле (4.61). Кроме того, необходимо проверить достаточность водоприемной площади гравийной обсыпки.

Для предупреждения выноса из водоносного пласта мелких частиц грунта выходная скорость фильтрации не должна превышать некоторого предельного значения, т. е.

$$\frac{q_{\max}}{\omega} \leq v_0, \quad (4.87)$$

где q_{\max} – максимальный приток воды на 1 м водоприемной части, м³/с;

v_0 – допустимая выходная скорость фильтрации для данного водоносного грунта, м/с, которую можно определить по формуле (4.21)

Следовательно, поверхность гравийной засыпки будет равна

$$\omega = h_1 \cdot 1 = \frac{q_{\max}}{v_0} = \frac{q_{\max}}{65\sqrt[3]{K_\phi}}, \quad (4.88)$$

где h_1 – высота слоя воды в водоносном пласте в месте контакта его с наружным слоем гравийного фильтра, м;

K_ϕ – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/с.

При небольшой мощности (1...2 м) водоносного пласта гравийную обсыпку целесообразно делать на всю его высоту. В более мощных пластах высота слоя обсыпки должна быть взята с некоторым запасом – от $3h_1$ до $5h_1$.

Вода, каптированная водоприемной трубой, транспортируется по ней непосредственно в сборную камеру или до водовода, по которому она доходит до сборной камеры.

Расход воды по длине водоприемной трубы непрерывно увеличивается от нуля до Q . Для обеспечения по возможности на всем протяжении водоприемной трубы скоростей движения воды, достаточных для выноса проникающих в трубу частиц грунта, необходимо в соответствии с колебаниями расхода воды изменять диаметры труб или степень их наполнения.

Поэтому для расчета водоприемную трубу разбивают по длине на расчетные участки длиной по 10...20 м. В начале первого участка расход воды будет равен нулю. В конце первого участка длиной l_1 расход равен l_1q_1 , где q_1 – приток воды на 1 м водоприемной части.

В начале и конце второго расчетного участка расходы соответственно равны l_1q_1 и $(l_1 + l_2) \cdot q_1$.

В конце водоприемной трубы и по всей длине водовода расход воды составляет $(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) \cdot q_1 = Lq_1$

Водоприемные трубы обычно работают неполным сечением. Это делает возможным вентиляцию труб, создает некоторый запас их пропускной способности и улучшает условия поступления воды из грунта в водоприемные отверстия.

В водосборных дренажных трубах, прокладываемых для водоснабжения и обычно имеющих сравнительно с сельскохозяйственными дренажными трубами незначительную длину, можно рекомендовать наполнение в пределах $(0,1 \dots 0,4) D$.

При таком наполнении обеспечиваются: лучшие условия для движения воды по трубе; нормальная работа отверстий для приема воды из пласта; достаточный запас пропускной способности, что особенно важно для предупреждения образования подпора в водоносном пласте; возможность уменьшения числа различных диаметров труб водоприемной части.

Скорость движения воды в водосборных трубах принимается от 0,3 до 1,4 м/с. Меньшие скорости недопустимы из-за опасности заиления, а большие могут вызвать вымывание грунта вокруг трубы через отверстия и ее неплотности. Наиболее приемлемы скорости 0,5...0,8 м/с.

Расчет труб сводится к определению необходимых уклонов (гидравлического и дна трубы) при известном q и принятой степени наполнения труб. Диаметром труб задаются для получения необходимой скорости движения воды.

Для систематического осмотра водосборных труб и очистки их от возможных наносов устраивают смотровые колодцы во всех точках изменения направления труб в плане или профиле, а также в точках изменения диаметра труб.

Трубы между смотровыми колодцами должны быть проложены обязательно по прямой линии, длина которой для водосборных труб не должна превышать 50 м. Кроме того, смотровые колодцы необходимы в начале и конце водоприемной части (рисунок 81). При таком расположении смотровых колодцев можно легко при помощи зеркала просматривать внутреннее пространство труб и очищать их от наносов, протаскивая через трубы на тросах специальные щетки. Смотровые колодцы делают из бетонных, железобетонных, гончарных колец или из кирпичной и каменной кладки на цементном растворе.

Смотровые колодцы делают из бетонных, железобетонных, гончарных колец или из кирпичной и каменной кладки на цементном растворе.

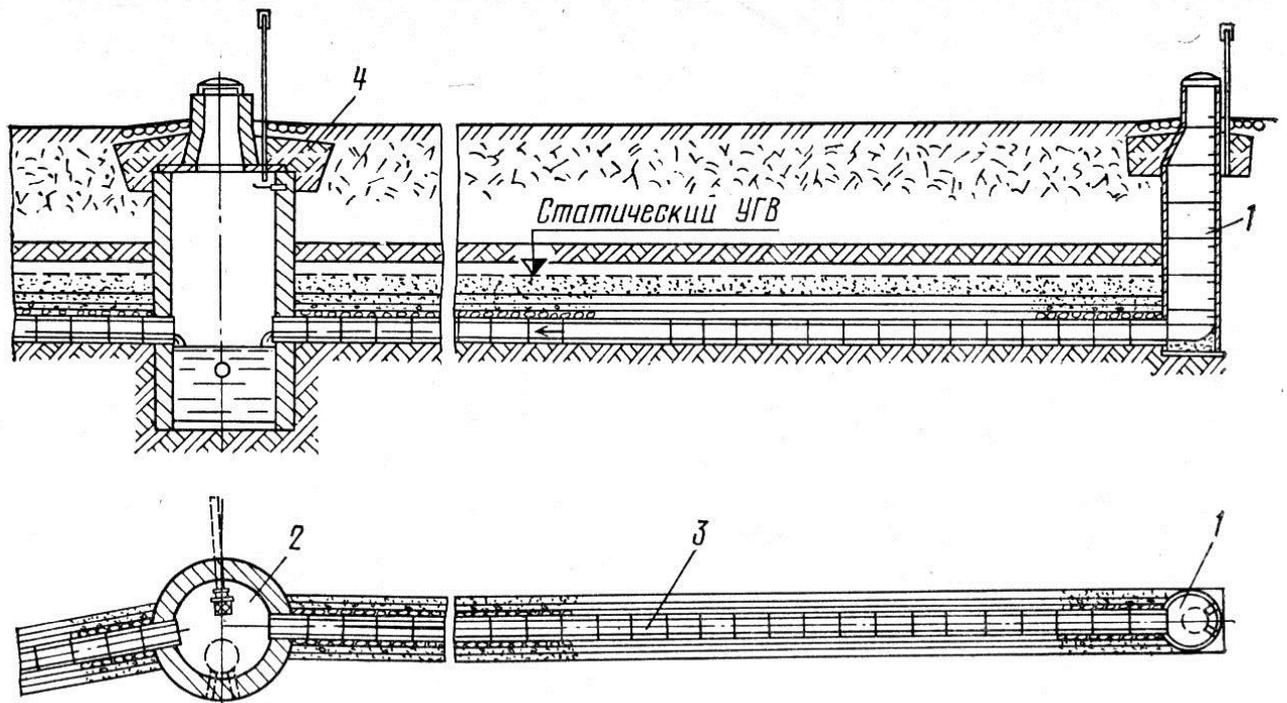


Рисунок 81 – Горизонтальный водозабор.

1 – смотровой колодец; 2 – сборная камера; 3 – водосборные дырчатые трубы; 4 – глиняный водонепроницаемый тюфяк.

Диаметр колодцев обычно принимают $D = 1...1,25$ м, толщину железобетонных – 8...10 см. Смотровые колодцы на горизонтальных водозаборах, сооружаемых для водоснабжения, не рекомендуется устраивать в виде отстойников. На дне смотрового колодца необходимо устраивать лоток с сечением, совпадающим с сечением впадающих в колодец труб (рисунок 82). Лоток должен быть сверху закрыт крышкой.

При изменении направления водосборных труб в плане на дне смотрового колодца лоток разбивают по кривой с радиусом, равным $(5...10) a$, где a – ширина лотка (рисунок 83). Верх смотровых колодцев следует несколько поднять над поверхностью земли и сделать вокруг оголовка отсыпку с уклоном в сторону от колодца, а в случае необходимости мощение.

На смотровых колодцах должны быть поставлены вентиляционные трубы, выведенные выше поверхности земли не менее чем на 2,5...3 м (см. рисунок 81).

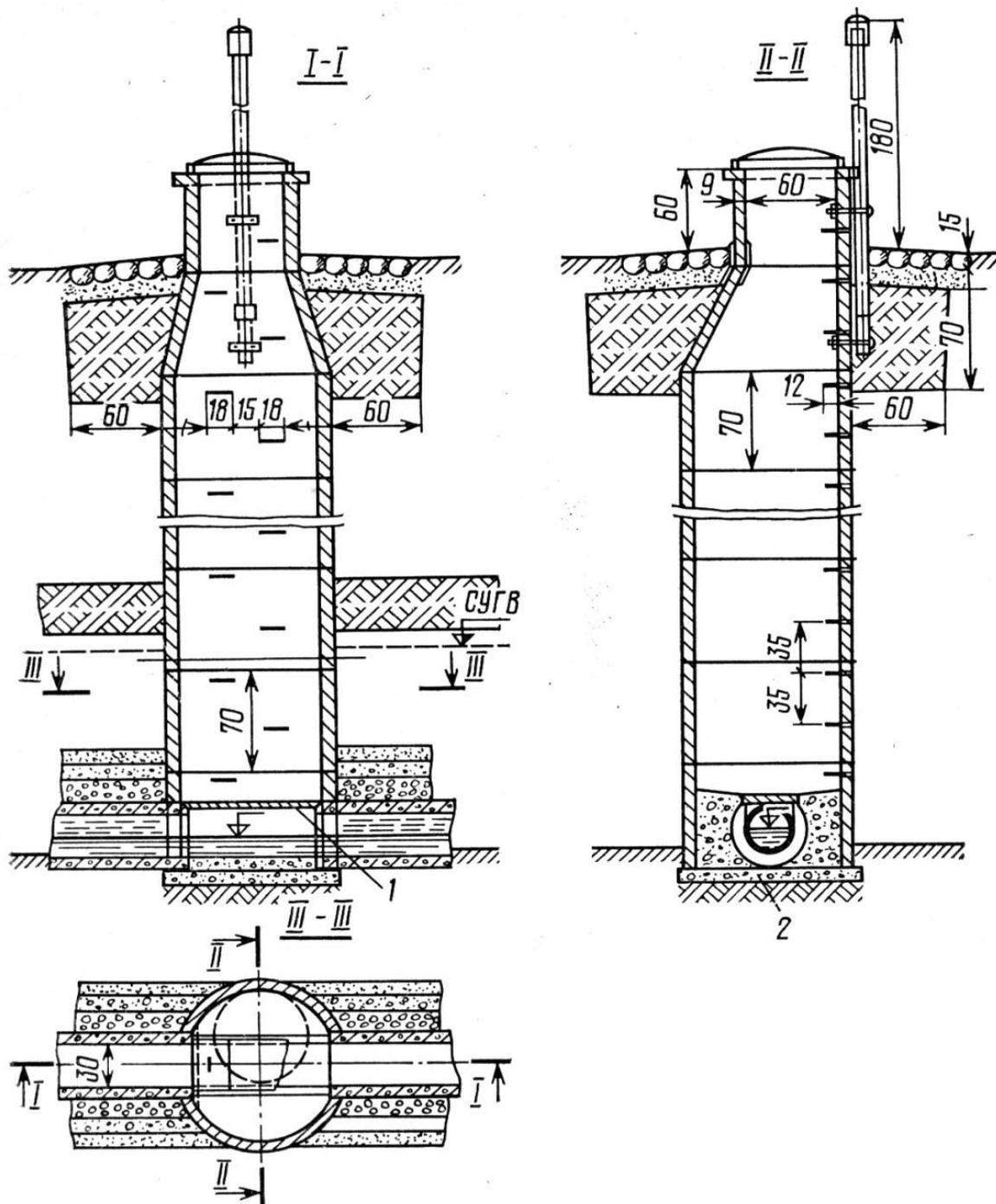


Рисунок 82 – Смотровый железобетонный колодец на прямом участке горизонтального водозабора, размеры даны в сантиметрах

1 – бетонная армированная крышка лотка; 2 – щебеночная подготовка

При расположении сборной камеры на некотором расстоянии от водоприемной части от последнего смотрового колодца до сборной камеры прокладывают водовод, не имеющий на боковой поверхности водоприемных отверстий.

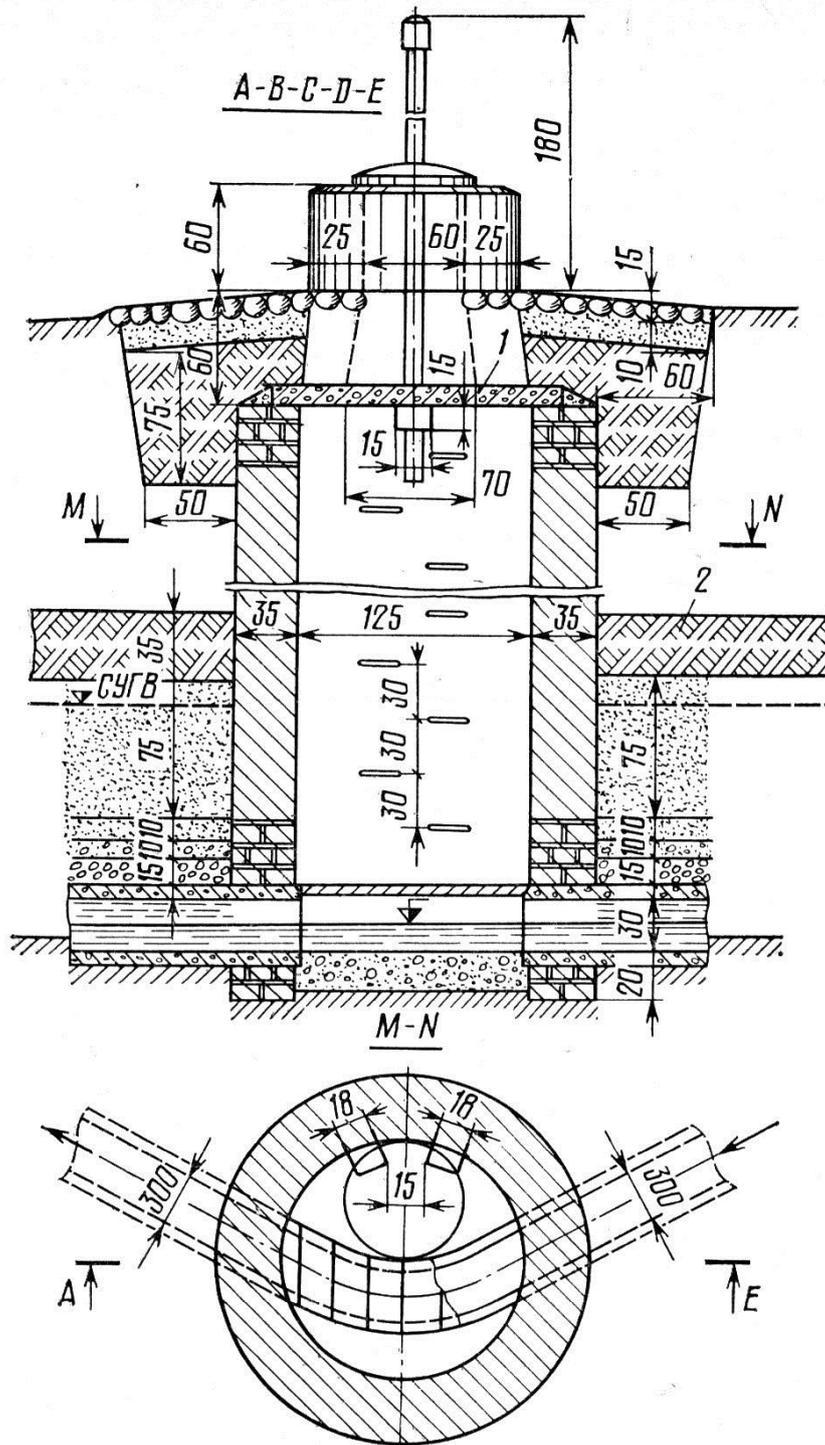


Рисунок 83 – Каменный смотровой колодец на повороте линии водозабора, размеры даны в сантиметрах

1 – железобетонное перекрытие; 2 – мятая глина

При проектировании соблюдают общие условия устройства водоводов. Следует только обеспечить в нем скорость движения воды, не меньшую скорости на последнем участке водоприемной части. Водовод от водоприемной части до сборной камеры может быть рассчитан на работу всем сечением.

4.22 Сборная камера

Сборная камера необходима для присоединения к каптажу разборных труб и регулирования подачи по ним воды потребителю, наблюдения и контроля за работой каптажа (замеры дебита, отбор проб воды для химического и бактериологического анализа); осаждения песчинок, вымытых из водоносного пласта.

Конструкция сборной камеры должна, выполняя указанные задачи, обеспечивать максимальные удобства эксплуатации каптажа и предохранять его от загрязнения и подпора вследствие переполнения сборной камеры. Сборную камеру располагают на одном из концов водосборной линии при небольшой ее длине (рисунок 84, *а*) или примерно в середине длинных водосборных линий (рисунок 84, *б*).

Если водоприемные линии располагают в нескольких пунктах, то сборная камера может быть устроена общая. Водоприемные трубы в этом случае соединяются со сборной камерой водоводами (рисунок 84, *в*).

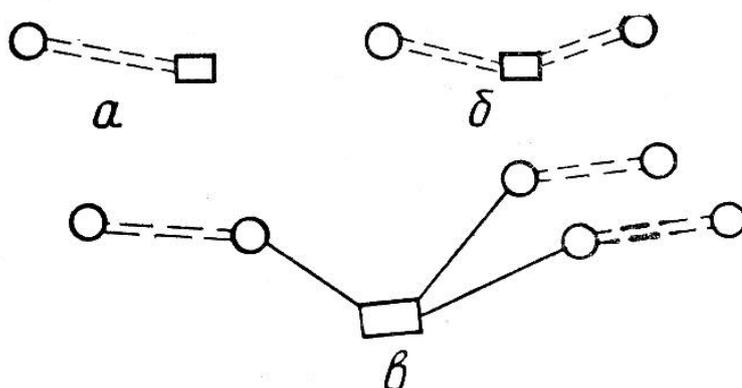


Рисунок 84 – Схема размещения сборных камер.

а – фланговое; *б* – центральное; *в* – групповая сборная камера.

Сборная камера при небольшом заглублении ее в землю обычно имеет в плане прямоугольную форму. При большой глубине заложения камеры (более 5...6 м) ее выгоднее делать в плане круглой.

Сборная камера состоит из двух отделений (рисунок 85). Первое (I) служит для осаждения из воды взвесей, второе (II) – для размещения в нем разборных труб с арматурой. При малом дебите каптажа и отсутствии необходимости осаждения из воды песчинок камеру на два отделения можно не разбивать.

Выносимые из водоносного грунта песчинки обычно имеют достаточно большую вертикальную скорость осаждения $u = 5...50$ мм/с. Для осаждения песчинок необходимо, чтобы

$$l_T = \alpha \frac{vh}{u} \quad (4.89)$$

где l_1 – длина первого отделения, м;

v – горизонтальная скорость движения воды в первом отделении, м/с, обычно ее принимают 0,01...0,015 м/с;

h – слой воды в первом отделении, обычно принимаемый от 0,8 до 1,5 м;

α – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность распределения скоростей в поперечном сечении и принимаемый равным 1,2...1,6.

Ширину камеры a определяют по формуле

$$a = \frac{Q_{\max}}{vh} \quad (4.90)$$

где Q_{\max} – общий максимальный расход воды, проходящей через сборную камеру, м³/с.

Размеры второго отделения зависят от условия размещения в нем одной или в некоторых случаях нескольких разборных труб с их арматурой.

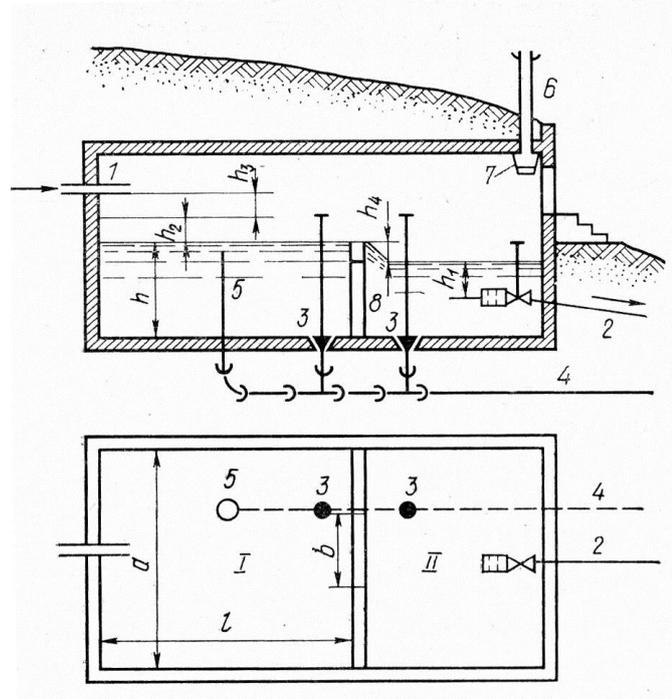


Рисунок 85 – Схема сборной камеры

1 – труба, подающая воду из водоприемника; 2 – разборная; 3 – спускная; 4 – канализационная; 5 – переливная; 6 – вентиляционная; 7 – лоток под вентиляционной трубой; 8 – переливная стенка – мерный водослив.

Сборную камеру оборудуют несколькими видами труб (рисунок 85).

Подающая труба 1 подводит воду из водоприемной части, разборная 2 отводит воду потребителю. На этой трубе устанавливают задвижку и приемный клапан с дырчатым колпаком.

Диаметр разборной трубы обычно равен диаметру трубопровода, в который она переходит. Если диаметр водовода неизвестен, то его находят, принимая скорость движения воды в разборной трубе 0,5...0,7 м/с.

Приемное отверстие разборной трубы, чтобы она не подсасывала случайные, плавающие в воде предметы, размещается под уровнем воды во втором отделении. Для обеспечения поступления в разборную трубу Q_{\max} (м³/с) необходимо, чтобы над приемным отверстием был напор:

$$h_1 = \frac{Q_{\max}^2}{\omega_1^2 \mu^2 2g}, \quad (4.91)$$

где ω_1^2 – общая площадь сечения разборной трубы, м²;

μ – коэффициент расхода, который с некоторым запасом следует принимать равным 0,7;

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Для предупреждения засасывания в разборную трубу воздуха необходимо, чтобы:

$$h_1 > 2D,$$

где D – диаметр разборной трубы.

Для предохранения водоприемной части от подпора при повышении уровня воды в сборной камере обязательна установка *переливной* трубы 5.

Диаметр ее определяется из условия сброса по ней Q_{\max} м³/с со скоростью 0,5...0,8 м/с.

При сливе в эту трубу Q_{\max} м³/с над ней образуется слой воды:

$$h_1 = \frac{Q_{\max}^2}{\omega_2^2 \mu^2 2g} \quad (4.92)$$

где ω_2^2 – площадь сечения водосливной трубы, м²;

μ – коэффициент расхода, равный 0,7.

Для избежания подпора в водоприемной части водозабора необходимо, чтобы $h_2 < h_3$ (рисунок 85).

Водосливная труба соединяется с *канализационной* трубой 4, диаметр которой принимают равным диаметру водосливной.

Для выпуска воды из сборной камеры для полного ее опорожнения устраивают *спускные* трубы 3, снабженные соответствующими затворами. Спускные трубы соединяют с канализационной и делают одинакового с ней диаметра.

Для вентиляции сборной камеры устанавливают в наиболее высокой точке перекрытия *вентиляционную* трубу 6, возвышающуюся над поверхностью земли не менее чем на 2,5...3 м.

Под вентиляционной трубой подвешен металлический лоток 7, в который падают случайные предметы, попавшие в трубу. Иногда, для того чтобы обеспечить возможность перепуска воды из каптажа в разборную трубу, ми-

ную сборную камеру, подающую трубу соединяют обводной трубой с разборной.

Первое отделение сборной камеры изолируют от второго небольшой бетонной или каменной стенкой, на верху которой устраивают мерный водослив δ для перехода из одного отделения в другое. Слой воды h_4 над водосливом по формуле расхода воды через водослив с широким порогом (см. рисунок 85)

$$h_4 = \sqrt[3]{Q_{max}^2 / (m^2 b^2 2g)} \quad (4.93)$$

где m – коэффициент расхода, равный 0,35;

b – ширина водослива (обычно 0.2...0.3 м);

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Для защиты сборной камеры от попадания в нее загрязнений необходимо: отвести от нее загрязненные поверхностные воды (что достигается планировкой поверхности земли вблизи камеры и устройством нагорных канав); стены камеры делать водонепроницаемыми; все отверстия в камере оборудовать устройствами.

Для предохранения камеры от проникновения в нее различных мелких животных и микроорганизмов через канализационные трубы выпускной конец их должен быть всегда закрыт особым затвором, допускающим сброс воды (рисунок 86).

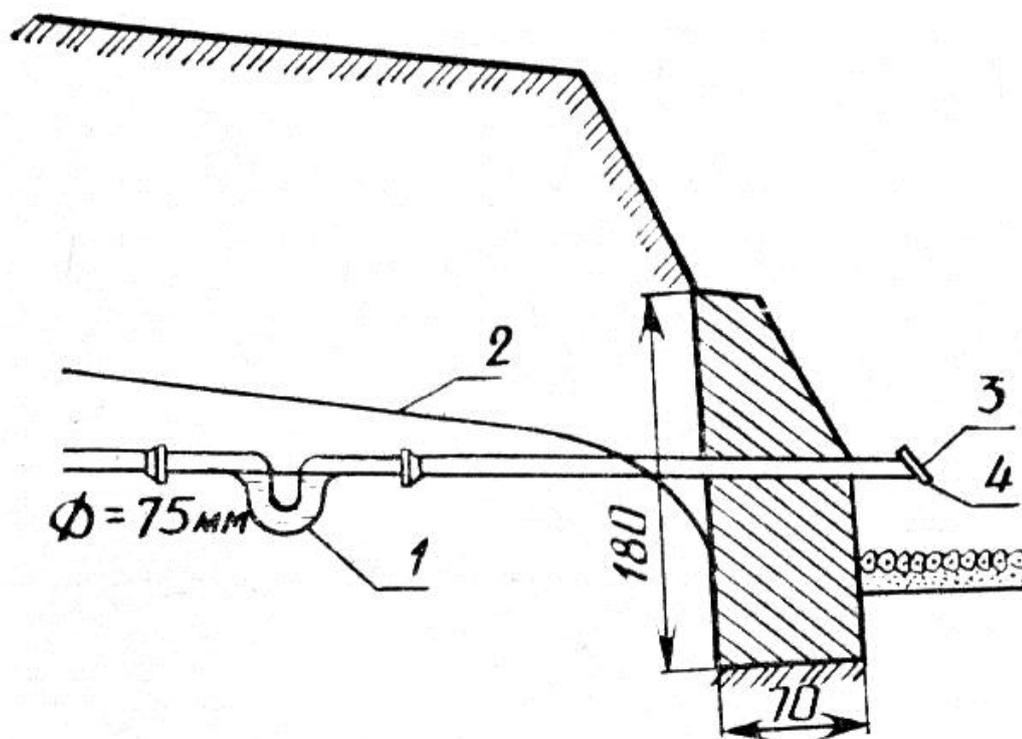


Рисунок 86 – Оборудование затвором выпускного конца канализационной трубы сборной камеры, размеры даны в сантиметрах

1 – водяной затвор; 2 – линия промерзания; 3 – затвор; 4 – груз

На рисунке 87 изображена железобетонная круглая закрытая сборная камера, управление задвижками вынесено из нее в отдельный смотровой колодец.

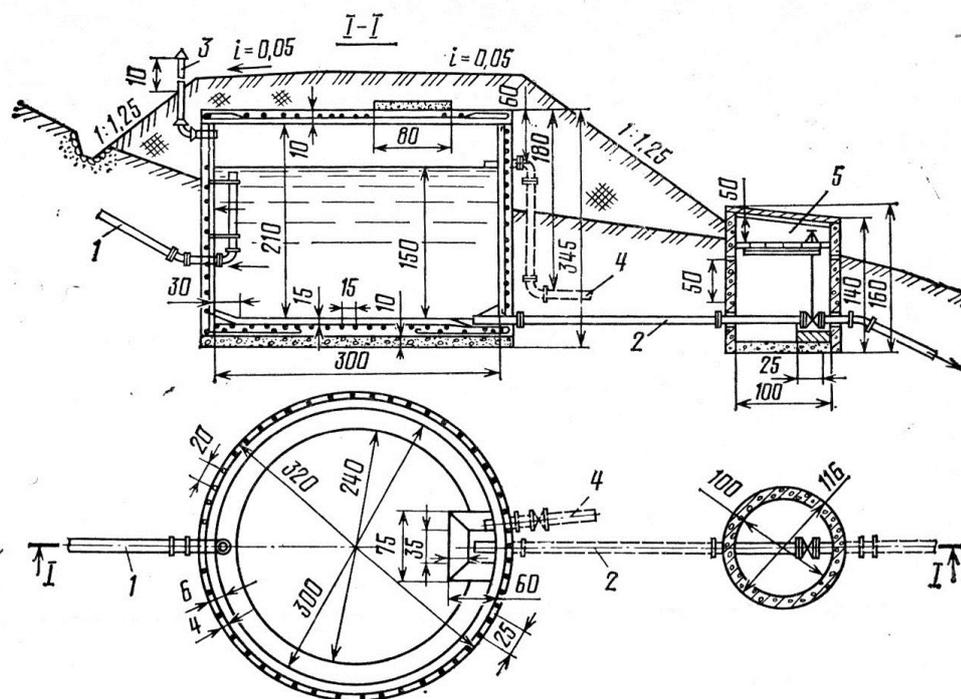


Рисунок 87 – Железобетонная закрытая сборная камера, размеры даны в сантиметрах

1 – подающая труба; 2 – разборная; 3 – вентиляционная; 4 – переливная; 5 - смотровой колодец

4.23 Каптаж родников

Родниками называют естественные выходы подземной воды на поверхность земли. Специальные гидробиологические изыскания должны определить пригодность того или иного источника для водоснабжения, т. е. установить достаточность и постоянство его дебита и степень соответствия качества его воды требованиям потребителя. При каптировании источника выполняют две основные работы: расчищают место выхода ключа и удаляют помехи, препятствующие вытеканию подземной воды на поверхность земли и загрязняющие воду, ухудшая ее качество; устраивают каптаж, предохраняющий родник от повторного засорения и загрязнения.

Конструкция каптажного сооружения, как правило, должна сохранять наиболее выгодный режим источника, предохраняя его от преждевременного истощения и подпора, который вызывает повышение уровня подземных вод и может привести к отклонению отдельных струй в сторону, образованию новых дериватов (выходов) и уменьшению дебита каптажа.

Каптажное сооружение должно быть по возможности простым, прочным и выполненным из материалов, не ухудшающих качество воды. В раз-

ных гидрогеологических условиях тип и конструкция каптажных сооружений должны быть различны, поэтому весьма затруднительна разработка какого-то типового каптажного сооружения, пригодного для всех условий. При захвате родника необходимо каждый раз решать вопрос о выборе конструкций каптажного сооружения с полным учетом всех местных особенностей, которые могут заключаться в следующем: тип родника (восходящий или нисходящий); характер водоносного пласта (плотные скальные породы, галечник, пески, пlyingчие грунты и т. д.); характер выхода источника (отдельная жила или группа источников на базе ряда трещин, группа источников при выклинивании водоносного пласта на склоне горы); характер и глубина залегания водоупорных подстилающих пластов; наличие и мощность осыпей и завалов, закрывающих выход родников; наличие и характер возможных очагов загрязнения родниковой воды, а также вероятные пути проникновения загрязнений в каптаж; геологические условия, обеспечивающие устойчивость и продолжительный срок службы каптажного сооружения (отсутствие оползней, действующих оврагов, размоин и т. д.); наличие местных строительных материалов и условия производства строительных работ.

При заборе воды в каптажные сооружения учитывают следующие соображения.

Если родники выходят из плотного скального грунта, не размываемого и не осыпающегося, то вода из трещин в водоносной породе поступает в водоприемные отверстия каптажной камеры. Площадь водоприемных отверстий определяют по формуле (4.62).

Если источник выходит из песчаных грунтов и вода выносит зерна песка, то для приема воды устраивают гравийный фильтр. Размеры зерен слоев засыпки этого фильтра устанавливают в соответствии с приведенными соображениями о работе гравийных фильтров.

Применение гравийного фильтра уменьшает опасность заиления каптажной камеры и возможность в связи с этим понижения производительности каптажа (закупорка водоприемных отверстий влечет за собой образование подпора в водоносном пласте, и это в свою очередь создает опасность ухода источника в сторону от каптажа).

Каптаж восходящих родников. Образование восходящих источников обычно обуславливается наличием в кровле напорного водоносного пласта трещин, по которым вода поднимается вверх.

Если пьезометрический напор в пласте достаточно велик и путь воде не преграждается залегающими выше водонепроницаемыми породами, то на поверхности земли в месте выхода вод образуется так называемый восходящий источник.

Коренные породы, по пустотам которых вода поднимается на поверхность земли, могут быть в месте выхода родника закрыты наносными грунтами. В зависимости от толщины слоя наносного грунта возможно применение следующих двух видов каптажных сооружений.

I. Место выхода родника закрыто сравнительно небольшой толщей наносных грунтов. Трещины коренной породы, по которым поднимаются

подземные воды, находятся неглубоко от поверхности земли (до 2...3 м). После расчистки родника и удаления грунта, закрывавшего водоносные трещины, место источника должно быть предохранено от загрязнений.

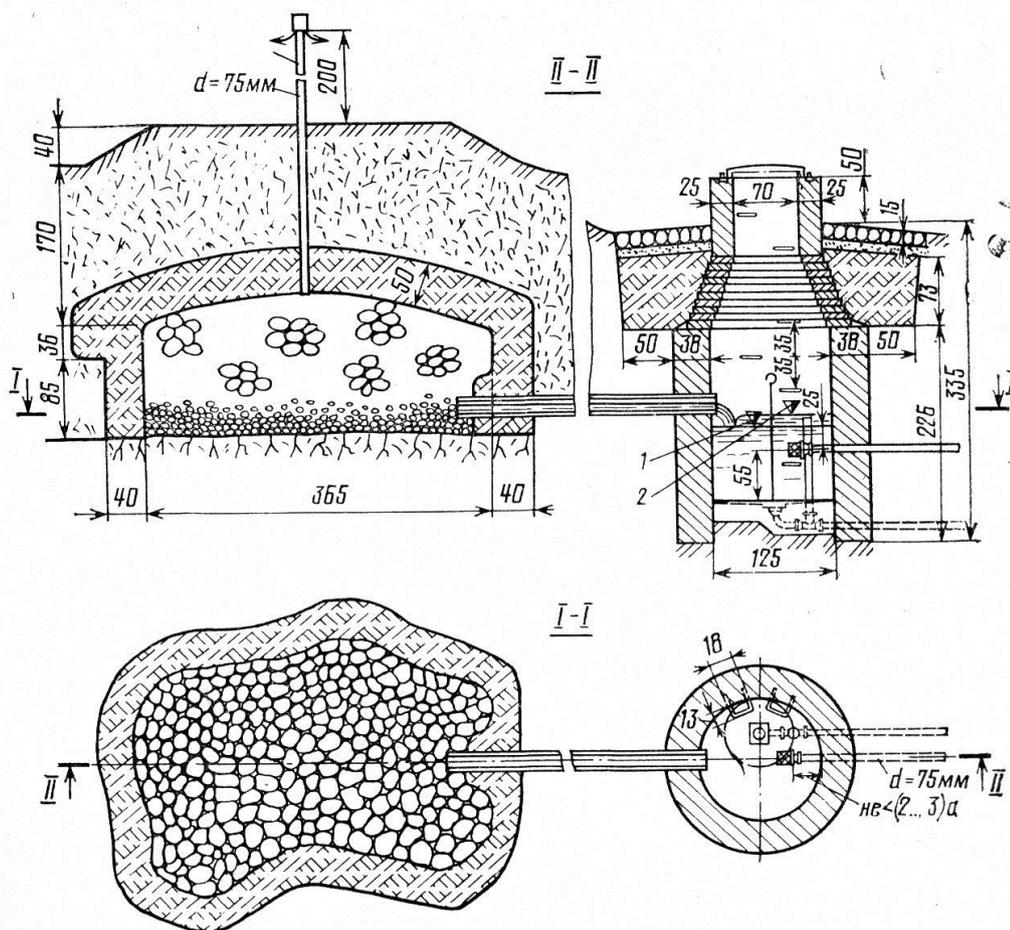


Рисунок 88 – Простейший каптаж восходящего родника с каменной наброской, размеры даны в сантиметрах

1 – рабочий уровень; 2 – предельно наивысший уровень;

На место выхода восходящих струй воды после удаления наносного грунта насыпают каменный материал. Стенки котлована и верх каменной обсыпки обкладывают слоем мягкой глины (0,3...0,5 м) или бетоном.

В каменную засыпку заделывают вентиляционную трубу. Разборная труба непрерывно отводит каптированную воду в сборный резервуар, который должен быть снабжен переливной трубой, предупреждающей возможность образования подпора воды в каптаже. Если вода выносит из трещин зерна песка, то под каменной наброской необходимо устроить гравийный фильтр, обращенный слоями с более мелкими зёрнами вниз. Форма в плане такого каптажа может быть различной. На рисунке 89 изображен каптаж группы восходящих родников, причем форма в плане каптажной обделки обусловлена размещением выхода отдельных водоподающих трещин. Обделка в этой конструкции состоит из системы кирпичных каналов, захватыва-

ющих выходы родников. Сверху каналы перекрыты бетонной плитой. Вода отводится в сборную камеру.

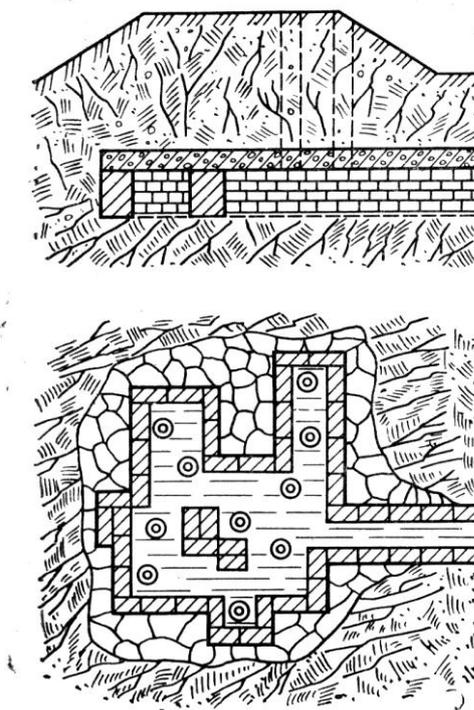


Рисунок 89 – Схема образования нисходящего родника из водоносного пласта, скрытого небольшой толщей делювия

1 – водоносный пласт; 2 – водоупор; 3 – делювий; 4 – выходы родников

II. Место выхода родника закрыто довольно мощными наносными грунтами. В этом случае для уменьшения земляных работ по расчистке и удалению наносных грунтов вскрывают основные породы опускными колодцами. Вода из колодца отводится в сборный резервуар по разборной трубе (в стенке колодца).

Для предупреждения подпоров в колодце также устанавливают переливную трубу (рисунок 90).

Каптаж нисходящих родников. Каптаж родников в зависимости от условий выхода их на поверхность можно осуществлять по трем основным схемам.

1. Нисходящий родник представляет струю, изливающуюся из трещины плотной скальной породы. В этом случае каптажная камера имеет конструкцию, подобную конструкции сборной камеры (см. рисунок 85), которая примыкает непосредственно к водоносной скале, и изливающаяся струя поступает в нишеобразное отверстие, устроенное в ее стенке. Если вода не несет частиц песка, то камера имеет только одно отделение. Камера оборудуется разборной, сливной, спускной и вентиляционной трубами.

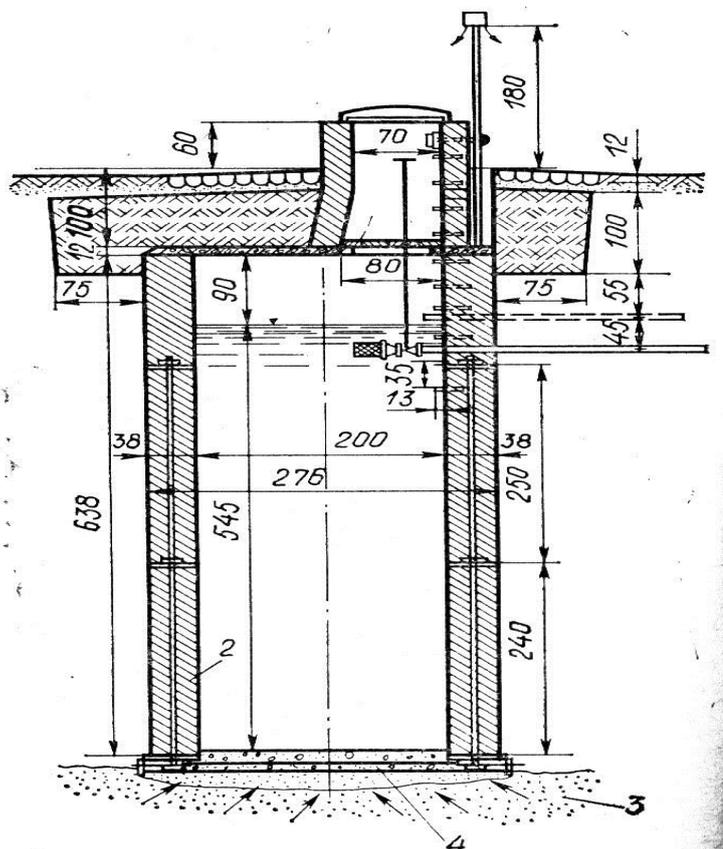


Рисунок 90 – Каптаж опускным колодцем восходящего родника из глуболежащего водоносного пласта, размеры даны в сантиметрах

1 – дощатое утепление; 2 – стены из кирпича; 3 – водоносный пласт; 4 – гравийно-песчаный фильтр

2. Водоносный пласт при выклинивании образует на склоне Горы значительное число мелких родников, которые находятся примерно на одной отметке и приурочены к выходу на поверхность водоупорного пласта, подстилающего водоносный пласт. Последний скрыт делювиальными наносами сравнительно небольшой мощности (рисунок 91).

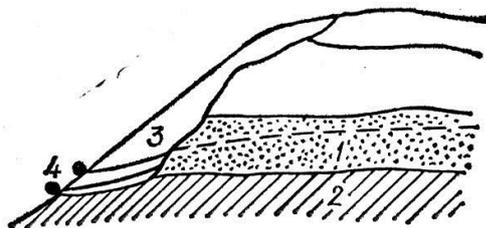


Рисунок 91 – Схема образования нисходящего родника из водоносного пласта, скрытого небольшой толщей делювия

1 – водоносный пласт; 2 – водоупор; 3 – делювий; 4 – выходы роднико

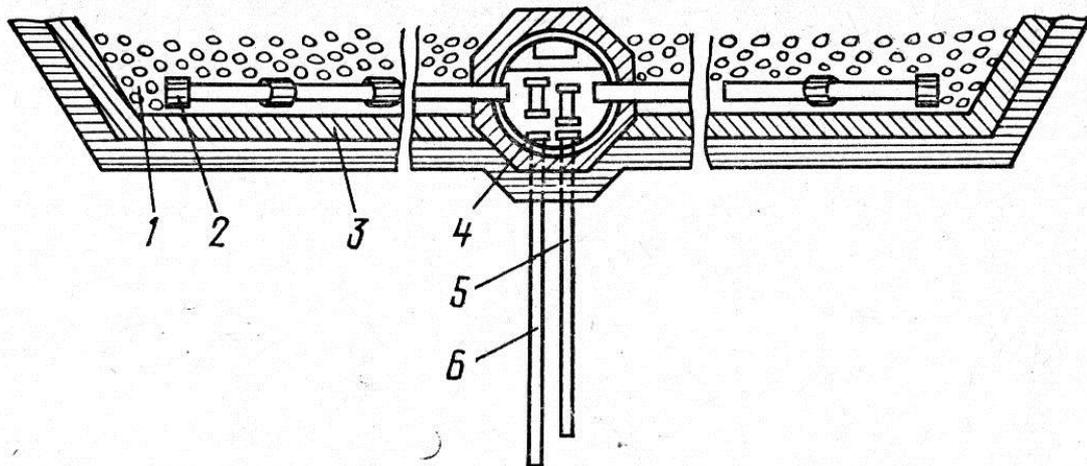


Рисунок 93 – Каптаж дренажем по фронту выклинивания водоносного пласта на склоне горы

1 – гравийная обсыпка; 2 – дренажные трубы; 3 – улавливающая стенка; 4 – сборный колодец; 5 – переливная труба; 6 – разборная труба

При любой конструкции каптажа необходимо стенки, дренаж и каптажную камеру основывать на водоупоре. Это увеличит количество каптируемой воды и повысит надежность действия каптажа.

3. Водоносный пласт скрыт под мощными делювиальными наносами. Подземные воды, пробиваясь через них, образуют на поверхности земли вытянутую вдоль склона горы многочисленную группу родников самой различной производительности. Характерно некоторое различие в отметках выхода отдельных родников и частые изменения мест их выхода. Чем толще наносы, скрывающие коренной водоносный пласт, тем больше пестрота в отметках родников (рисунок 94).

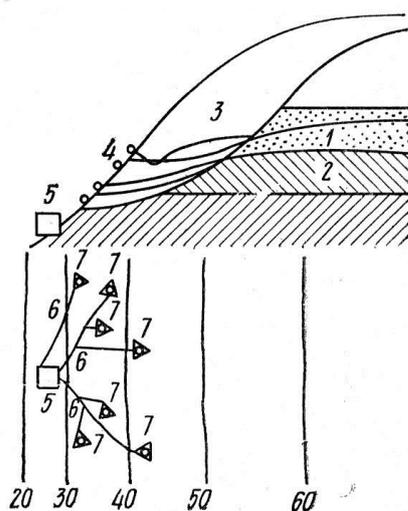


Рисунок 94 – Схема каптажа родников из водоносного пласта, скрытого толщей делювия

1 – водоносный пласт; 2 – водоупор; 3 – делювий; 4 – родники; 5 – сборная камера; 6 – сборные водоводы; 7 – простейшие каптажные обделки

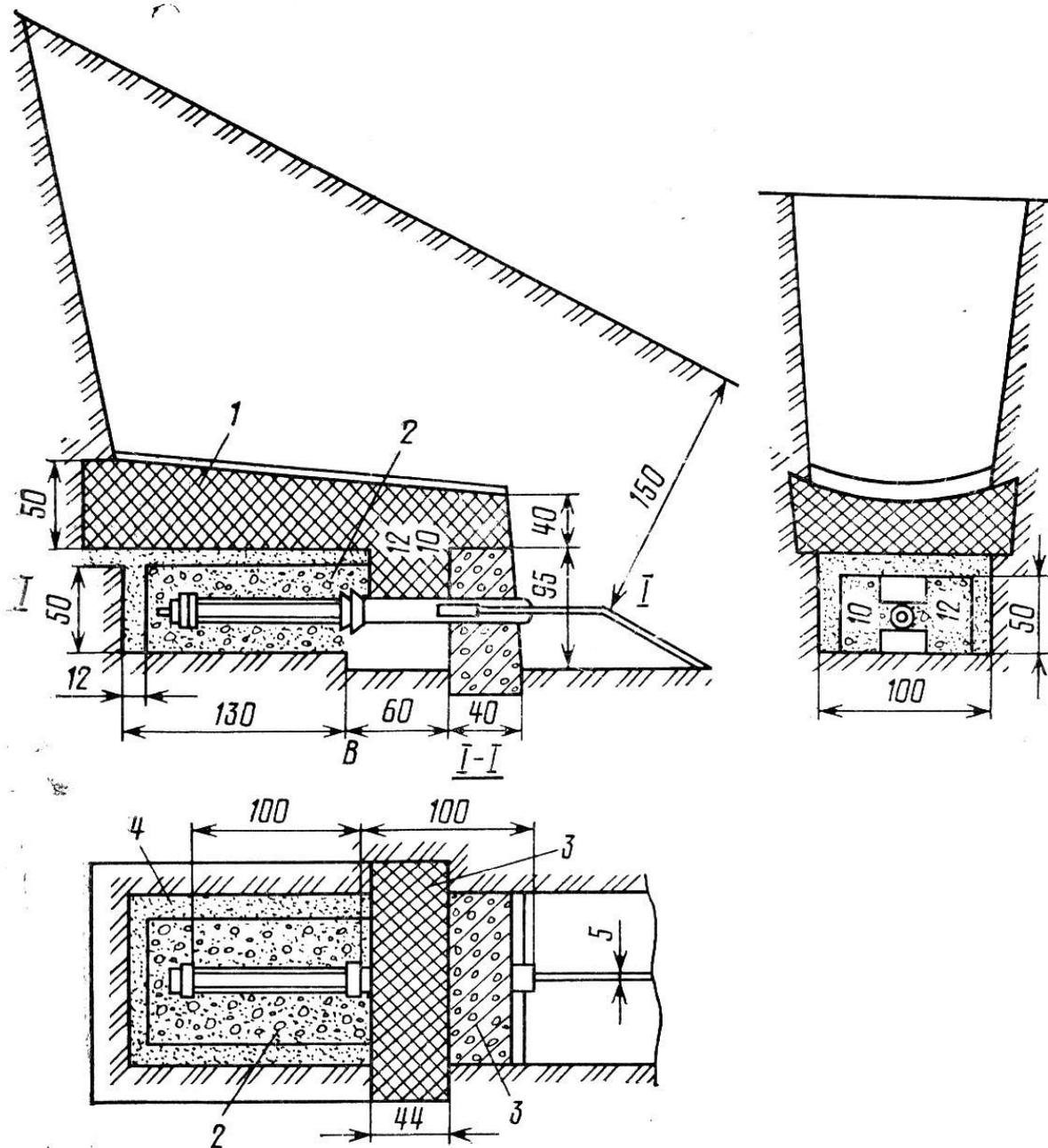


Рисунок 95 – Простейший каптаж нисходящего источника

1 – глиняная набивка; 2 – галька; 3 – бетон; 4 – песок

Вода из этих каптажей по системе сборных водоводов стекает в сборную камеру (рисунок 94). Сборную камеру следует располагать на возможно более низкой отметке, обеспечивающей подачу воды самотеком из всех родников, вторые могут возникнуть в период службы каптажа.

Такая система достаточно гибка, дешева, более надежна, чем при каптаже штольнями и колодцами, и незначительно страдает от оползней.

5 ОБЩАЯ СХЕМА ВОДОПОДАЧИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА

Вода от насосной станции 1-го подъема поступает под напором на очистную станцию. Пройдя все необходимые этапы очистки природной воды, в соответствии с выбранной и обоснованной технологической схемой, она доводится до лимитов ГОСТ Р 512322–98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества воды».

Как известно, основными процессами улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых целей является осветление, обесцвечивание, обезжелезивание, обеззараживание, фторирование и обесфторирование, дезодорация и т.д.

Методы и степень очистки воды, состав и конструкция очистных сооружений в каждом конкретном случае зависят от тех требований, которые предъявляются к качеству воды, и от качества природной воды. Эти вопросы изучаются в специальном курсе: «Улучшение качества природных вод». Мы касаемся этих вопросов поскольку они могут оказать существенное влияние на технико-экономические показатели насосной станции 1-го подъема.

Применяемые в водоподготовке технологические схемы можно классифицировать:

- по наличию реагента (реагентные и безреагентные);
- по эффекту обработки;
- по числу технологических процессов и числу ступеней каждого;
- по характеру движения обрабатываемой воды (напорные и безнапорные).

Рассмотрим эту классификацию несколько подробнее.

1. *Реагентные и безреагентные* технологические схемы используют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых нужд и промышленности. Эти технологические схемы отличаются по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации. Процессы обработки воды с применением реагентов протекают значительно быстрее и эффективнее. Так для осаждения основной массы взвешенных веществ в этом случае необходимо 2 – 4 часа, а при безреагентном осаждении – несколько суток.

При обработке воды с применением реагентов водоочистные сооружения значительно меньше по объему, компактнее и дешевле в строительстве, но сложные в эксплуатации, чем сооружения безреагентной очистки.

2. *По эффекту обработки* различают технологические схемы для полной (или глубокой) очистки воды и для неполного (или глубокого осветления). В первом случае очищенная вода соответствует требованиям ГОСТ Р512322–98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества воды».

3. *По числу технологических процессов* и ступеней каждого из них технологические схемы подразделяют на одно-, двух- и многопроцессные.

Количество технологических процессов и ступеней каждого из них диктуется требованиями к воде, предъявляемыми потребителем, и зависят от качества исходной воды.

4. По характеру движения обрабатываемой воды технологические схемы подразделяют на самотечные (безнапорные) и напорные. На городских и крупных промышленных водоочистных комплексах движение обрабатываемой воды по сооружениям осуществляется самотеком. При этом уровень воды в каждом последующем сооружении ниже уровня воды в предыдущем. Разность уровней определяет напор, необходимый для преодоления гидравлических сопротивлений внутри сооружения и в коммуникациях между сооружениями. Поэтому взаиморасположение отдельных очистных сооружений технологической схемы, т.е. высотная схема, имеет первостепенное значение. При безнапорном движении воды по очистным сооружениям необходимы две насосные станции и резервуар чистой воды.

5.1 Продольный профиль по трассе перекачки

В задании дается топографическая съемка местности с поверхностным источником водоснабжения в виде водохранилища, реки или канала. На этой съемке нанесена трасса перекачки от источника до места расположения смесителя очистной станции, куда подается вода от насосной станции 1-го подъема.

По этой трассе строится продольный профиль. Профиль удобно строить на миллиметровой бумаге. Вычерчивается боковик и подстрочник (рисунок 96), позволяющий отразить необходимое количество информации о водозаборных сооружениях, всасывающих (подводящих), трубопроводах, насосной станции 1-го подъема, напорных трубопроводах, очистной станции и резервуаре чистой воды.

При построении продольных профилей горизонтальный масштаб принимается, как правило, равный масштабу топографической съемки (карты), а вертикальный – в 10 раз крупнее. Отметки поверхности в местах пересечения трассы перекачки со смежными горизонталями соединяют отрезками прямых линий. Таким образом, поверхность земли на профиле представляет собой ломаную линию.

В подстрочнике отражаются длина и уклон каждого отрезка. На профиле отражаются углы поворота трассы при плановом изменении ее направления.

Линия поверхности земли на профиле через каждые 100 м разбивается на пикеты начиная от уреза воды в водоисточнике при минимальном уровне. На продольный профиль в заданном масштабе наносится профиль берега источника (водохранилища, канала, реки), где наносятся уровни дна, минимальный и максимальный уровни воды в источнике водоснабжения.

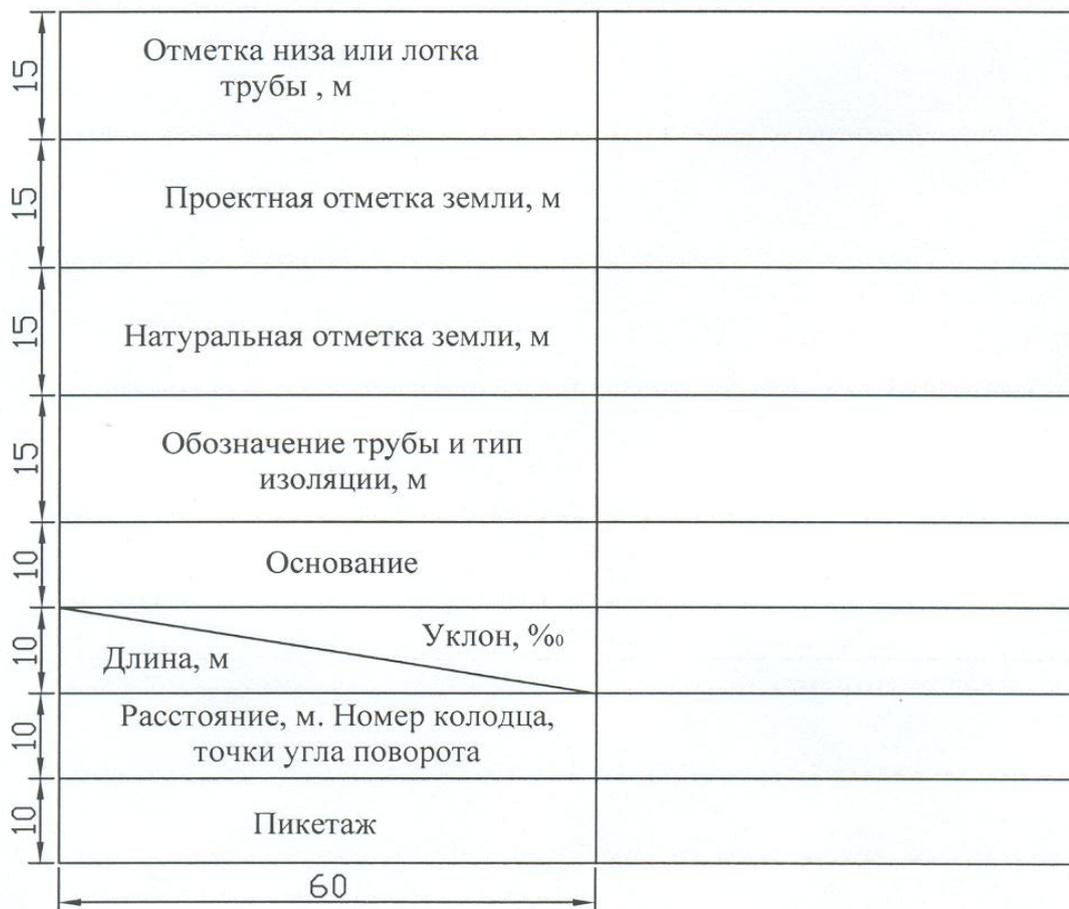


Рисунок 96 – Форма и размеры боковика продольного профиля согласно ГОСТ 21.604 – 82 «Водоснабжение и канализация. Наружные сети»

На продольном профиле (рисунок 97) определяются места расположения основных сооружений гидроузла машинного водоподъема и других объектов системы водоснабжения: водозаборного сооружения с устройствами для защиты рыб от попадания в систему водоснабжения, насосной станции 1-го подъема, смесителя водоочистной станции, резервуара чистой воды. При совмещенной схеме компоновки водозаборы и здание насосной станции объединяются в одном комплексе сооружений, при отдельной компоновке водозабор соединяется с насосной станцией 1-го подъема самотечным водопроводом. Конечным пунктом подачи воды насосной станцией 1-го подъема принимается смеситель очистной станции.

На рассматриваемом этапе предварительных расчетов высоту расположения смесителя можно принять 4–6 м над поверхностью земли, при окончательных расчетах эту высоту устанавливают в соответствии с проектом очистной станции. При этом высотное расположение устройств и сооружений очистной станции и резервуара чистой воды должно обеспечивать самотечное поступление воды в резервуар чистой воды (РЧВ).

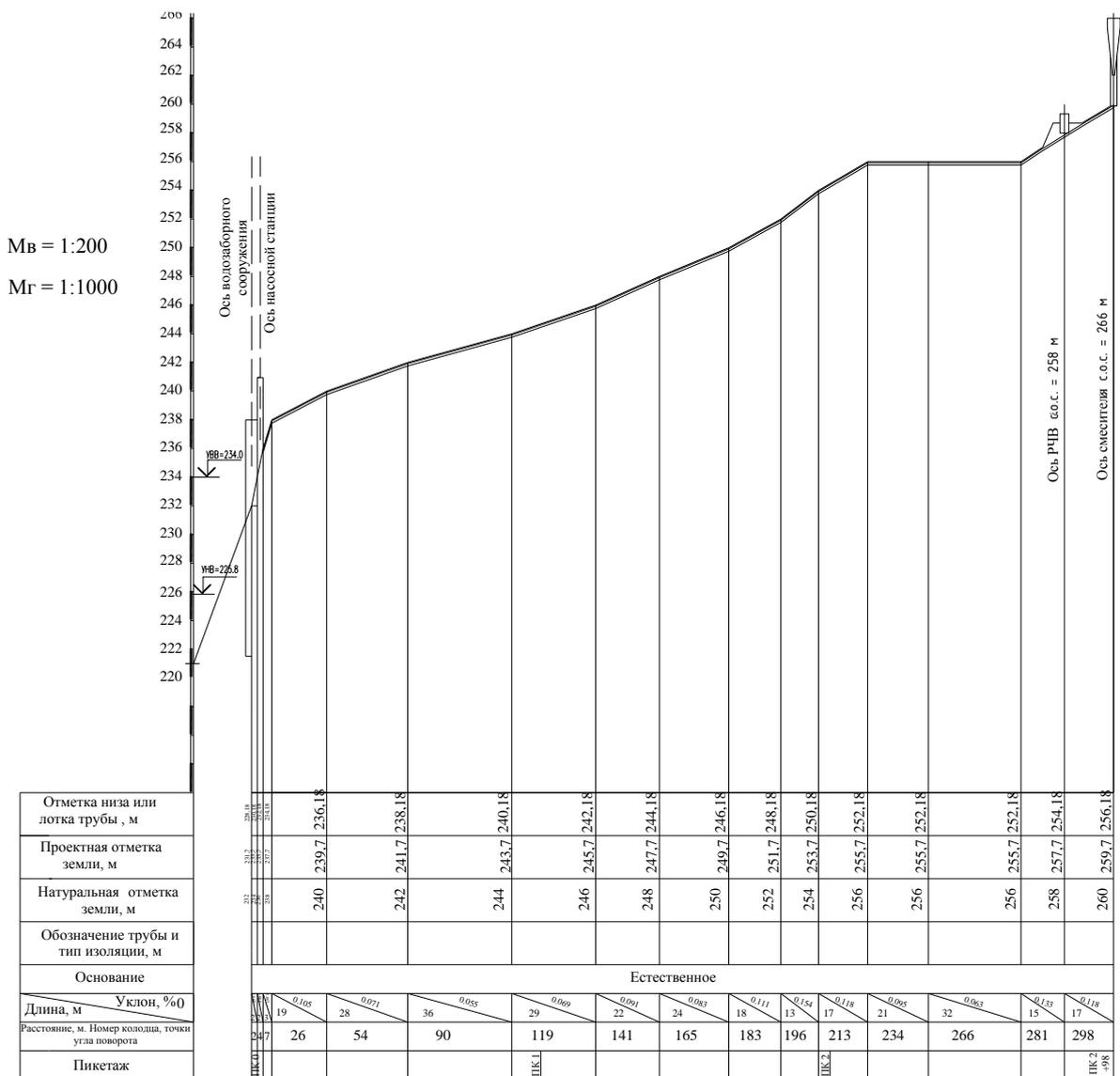


Рисунок 97 – Продольный профиль канала по трассе водоподачи

На продольный профиль наносятся оси основных сооружений и их изображение (водозабора, насосной станции, смесителя очистной станции). По мере проектной проработки на профиль наносится дно траншеи для укладки напорного трубопровода, отметки дна траншеи и верха трубы, а также отметки основных сооружений.

5.2 Емкости систем водоснабжения

Для регулирования режима работы системы водоснабжения, создания противопожарных, аварийных запасов воды, хранения расходов на технологические нужды производств и на собственные нужды водоочистных комплексов (промывочный запас) применяют емкости.

Емкости бывают активными (напорными) и массивными (безнапорными). Наиболее рациональным способом создания значительного запаса воды является устройство закрытых резервуаров, расположенных на топографических отметках местности, обеспечивающих требуемый напор в сети. Из пассивных резервуаров чистой воды она подается в последующие коммуника-

ции системы водоснабжения насосной станцией 2-го подъема. Эти резервуары обычно используются как регулирующие емкости системы водоснабжения, а также для хранения противопожарного, аварийного и промывочного запаса воды.

Среднечасовая подача насосной станции 1-го подъема определяется по максимальной ординате принятого суточного графика ее работы. Эта подача используется для расчета сооружений системы водоснабжения, подающих воду круглосуточно с равномерным расходом. К таким сооружениям относятся водозаборы, насосные станции 1-го подъема, очистные станции, водоводы.

В системах сельскохозяйственного водоснабжения обычно применяют суточное регулирование, принимая за 100 % обеспеченности водой $Q_{max.cym}$. Для большинства групп водопотребителей потребление воды связано с замкнутым суточным циклом последовательно выполняемых операций. Суточное регулирование обеспечивается регулирующими объемами W_p системы с различными часовыми колебаниями, но при равном $Q_{max.cym}$. Таким образом, при определении W_p нужно исходить из суточных графиков колебаний часовых расходов воды и предположения, что в течение часа расход останется постоянным.

В результате согласования принятой равномерной подачи насосной станции 1-го подъема в течение суток и заданного режима работы насосной станции 2-го подъема определяется регулирующий объем резервуара чистой воды. Этот объем может быть определен одним из трех приведенных ниже способов: табличным, наложением интегральных графиков (рисунок 98), наложением ступенчатых графиков (рисунок 98). Методику определения регулирующего объема W_p резервуара чистой воды различными способами покажем на конкретном примере.

Табличный способ заключается в анализе таблицы притока воды в резервуар чистой воды (РЧВ) от насосной станции 1-го подъема и забора воды из РЧВ насосной станцией 2-го подъема. Заполняются графы таблицы в следующей последовательности. В графы 2 и 3 заносятся варианты часовых значений расходов в процентах от $Q_{max.cym}$ соответственно для насосной станции 1-го подъема и насосной станции 2-го подъема. Если для насосной станции 1-го подъема обычно принимается равномерный режим водоподдачи, обеспечивающий оптимальные условия эксплуатации водозаборных сооружений, то режим подачи воды насосной станцией 2-го подъема каждый проектировщик получает индивидуально в качестве исходных данных. Далее, сравнивая расходы подаваемые и забираемые из РЧВ, определяют, сколько воды за каждый час поступает в резервуар или расходуется из него и заполняются графы 4 и 5. Для определения остатка воды в РЧВ, необходимо предположить, что к какому-то часу резервуар оказался пустым (например для графы 6 – с 23:00 до 24:00), далее по данным граф 4 и 5 заполняется графа 6. Как видно из таблицы, ряд значений графы 6 получился отрицательным. Регулирующий объем W_p в этом случае определяется как сумма абсолютных значений наибольшей положительной и наибольшей отрицательной величины. $W^p = 934 +$

+ 5,6 = 14,94 %. Предполагаемый остаток воды в РЧВ (графа 6) можно пересчитать на действительный остаток (графа 7). Резервуар чистой воды окажется пустым в час максимально отрицательного значения остатка (с 20:00 до 21:00). Заполнив графу 7 получим максимальное значение остатка (с 4:00 до 5:00), определяющее значение W_p .

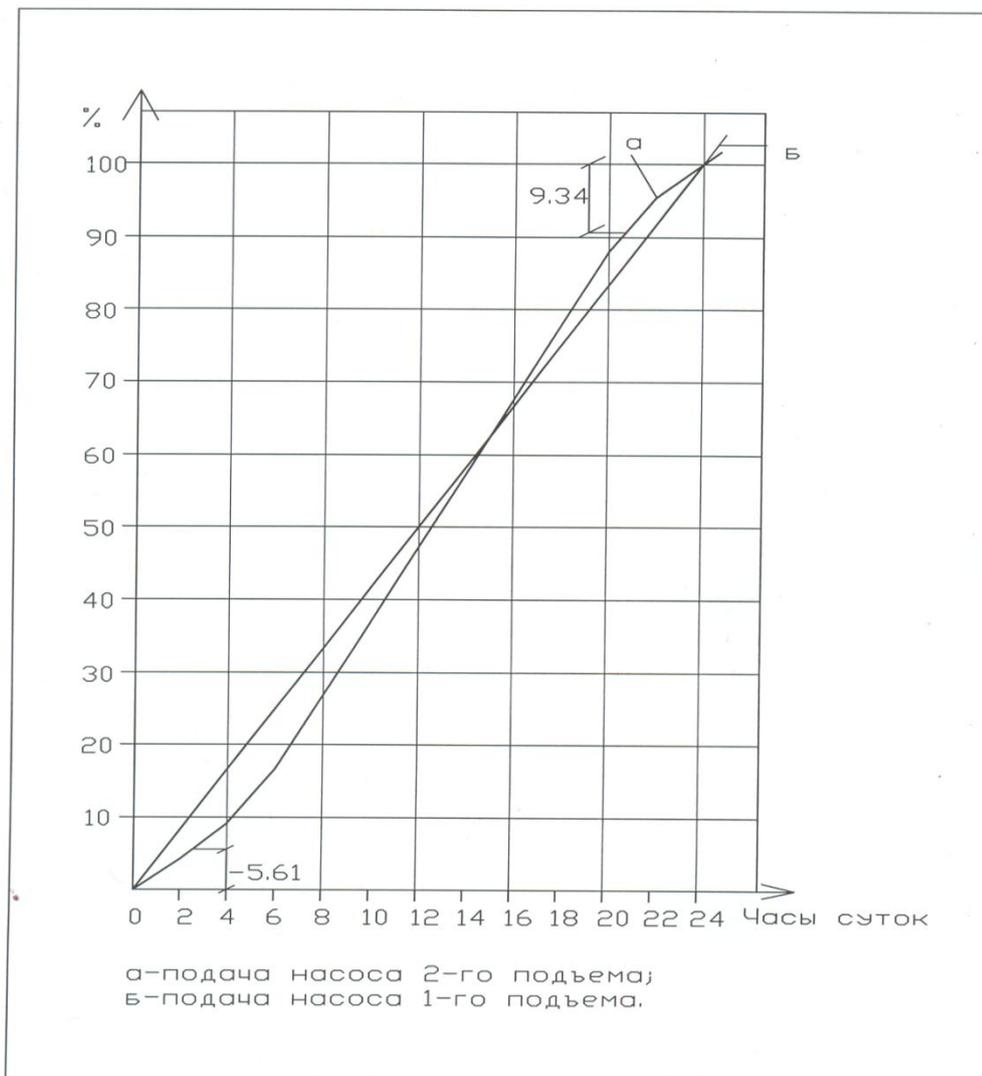


Рисунок 98 – Определение регулирующего объема РЧВ наложением интегральных графиков

Определение регулирующего объема W_p резервуара чистой воды способом наложения интегральных графиков подачи насосных станций 1-го и 2-го подъемов, выполняется в следующей последовательности.

В прямоугольной системе координат, где по оси абсцисс нанесены часы суток, а по оси ординат – суточный часовой расход в процентах от $Q_{\text{max. сут.}}$ строят интегральные графики притока воды (подача насосной станции 1-го подъема и забор воды, подача насосной станции 2-го подъема, соответственно графы 2 и 3 таблицы 10.

Таблица 10 – Определение объема W_p резервуара чистой воды табличным способом

Часы суток, м ³ /с	Подача насосов,		Расход из резервуара, %	Поступление в резервуар, %	Предполагаемый остаток в резервуаре, %	Действительный остаток в резервуаре, %	примечание
	1-го подъема	2-го подъема					
1	2	3	4	5	6	7	8
0–1	4,17	2,3		1,87	1,87	7,74	
1–2	4,17	2,3		1,87	3,74	9,34	
2–3	4,16	2,3		1,86	5,6	11,2	
3–4	4,17	2,3		1,87	7,74	13,7	
4–5	4,17	2,3		1,87	9,34	14,94	Полный резервуар
5–6	4,16	5,1	0,94	–	8,4	14,0	
6–7	4,17	5,1	0,93	–	7,46	13,07	
7–8	4,17	5,1	0,93	–	6,53	12,14	
8–9	4,16	5,1	0,94	–	5,59	11,2	
9–10	4,17	5,1	0,93	–	4,66	10,27	
10–11	4,17	5,1	0,93	–	3,73	9,34	
11–12	4,17	5,1	0,93	–	2,8	8,41	
12–13	4,16	5,1	0,94	–	1,86	7,74	
13–14	4,17	5,1	0,93	–	0,93	6,54	
14–15	4,17	5,1	0,93	–	0	5,61	
15–16	4,16	5,1	0,94	–	-0,94	4,67	
16–17	4,17	5,1	0,93	–	-1,87	3,74	
17–18	4,16	5,1	0,94	–	-2,81	2,8	
18–19	4,17	5,1	0,93	–	-3,74	1,87	
19–20	4,17	5,1	0,93	–	-4,67	0,94	
20–21	4,16	5,1		–	-5,61	0	Пустой резервуар
21–22	4,17	2,3		1,87	-3,73	1,87	
22–23	4,17	2,3		1,87	-1,86	3,74	
23–24	4,16	2,3		1,86	0	5,6	

Этот графический способ позволяет получить минимальное значение объема регулирующей емкости при заданных режимах работы насосной станций 1-го и 2-го подъема. Для этого график подачи воды насосной станцией 1-го подъема и график забора воды насосной станцией 2-го подъема сближают с таким расчетом, чтобы сумма максимальных отрезков ординат по недостатку избытку воды была бы минимальной (на рисунок 98 соответственно отрезков ординат «а» и «б»).

Определение регулирующего объема резервуара чистой воды наложением графиков подачи насосной станцией 2-го подъема, выполняется построением в прямоугольной системе координат в одном масштабе двух графиков, водоподачи насосной станцией 1-го подъема и забора воды насосной станцией 2-го подъема. Это легко сделать, пользуясь данными граф 2 и 3 таблицы 10, рисунок 98. Графиком 1 на рисунке 98 предусмотрена равномерная подача в течение суток насосной станции 1-го подъема, а графиком 2 ступенчатая подача насосной станции 2-го подъема за тот же период. Площадь, ограниченная графиками, определяет объем воды в процентах по недостатку (двухсторонняя штриховка) или по избытку (односторонняя штриховка) за сутки.

В проектах определяют W_p резервуара чистой воды табличным и проверить одним из графических способов.

Кроме регулирующего объема W_p в РЧВ обычно хранится пожарный $W_{\text{пож}}$, аварийный $W_{\text{ав}}$ (при подаче по одному водоводу и промывной $W_{\text{пр}}$ объемы воды)

$W_{\text{пож}}$ (м^3) определяется из условия обеспечения пожаротушения из наружных пожарных гидрантов и внутренних кранов в течении трех часов, а так же максимальных хозяйственно-питьевых и производственных нужд на весь период пожаротушения

$$W_{\text{пож}} = (q_{\text{нар}} \cdot n + q_{\text{вн}}) \cdot t_{\text{пож}} + \sum W_{1,2,3} - Q_{\text{нс1}} \cdot t_{\text{пож}}, \quad (5.1)$$

где $q_{\text{нар}}$, $q_{\text{вн}}$ – норма расхода на тушение соответственно одного наружного и одного внутреннего пожара (СНиП 2.04.02-84);

n – число одновременных пожаров;

$\sum W_{1,2,3}$ – суммарный объем воды, поступивший в сеть за 3 смежных часа максимального водопотребления;

$Q_{\text{нс1}}$ – подача насосной станции 1-го подъема.

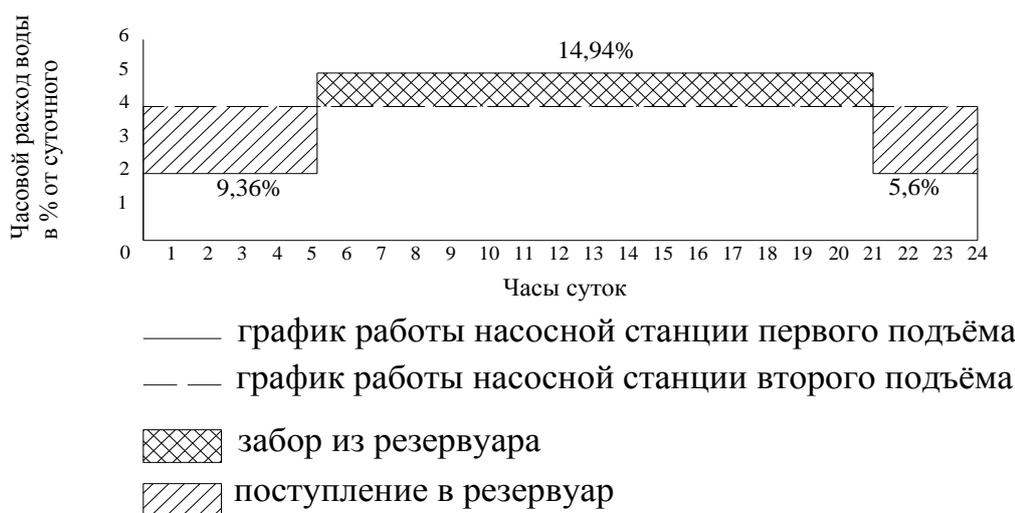


Рисунок 99 – Определение регулирующего объема резервуара чистой воды наложением графиков

Аварийный объем воды определяется из условия обеспечения необходимого расхода воды в течение времени ликвидации аварии на подающем водоводе (согласно СНиП 2.04.02–84 определяется при подаче воды по одному водоводу):

$$W_{ав} = q_{ав} \cdot t_{ав}, \text{ м}^3 \quad (5.2)$$

где $q_{ав}$ - аварийный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды, $\text{м}^3/\text{ч}$ (в размере 70% расчетного среднечасового водопотребления и производственные нужды по аварийному графику, $\text{м}^3/\text{ч}$);

$t_{ав}$ - расчетное время ликвидации аварии на подающих водоводах систем водоснабжения 1-й категории (принимается согласно таблице, для систем водоснабжения 2-й и 3-й категорий указанные в таблице время следует увеличивать соответственно в 1,25 и 1,5 раза), ч.

Так как резервуар чистой воды располагается в непосредственной близости, от станции водоподготовки, то в нем должен содержаться запас воды на промывку фильтров, а также на обеспечение требуемого времени контакта воды с реагентами $W_{пр}$ может быть определен примерно в размере 8–9% от $Q_{\text{мах.сут}}$.

Таблица 11 - Расчетное время ликвидации аварии на трубопроводах систем водоснабжения 1-й категории

Диаметр труб, мм	Расчетное время ликвидации аварии на трубопроводах при глубине заложения труб, ч	
	до 2 м	более 2 м
До 400	8	12
400-1000	12	18
более 1000	18	24

Величину регулирующего объема резервуара чистой воды в м^3 определяют по зависимости:

$$W_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{мах.сут}} \cdot W_{\text{р}} \%}{100} \quad (5.3)$$

где $Q_{\text{мах.сут}}$ - максимальный суточный расход, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$W_{\text{р}} \%$ - величина регулирующего объема в % от $Q_{\text{мах.сут}}$.

В результате полный объем резервуара чистой воды $W_{\text{рчв}}$ в кубических метрах составит:

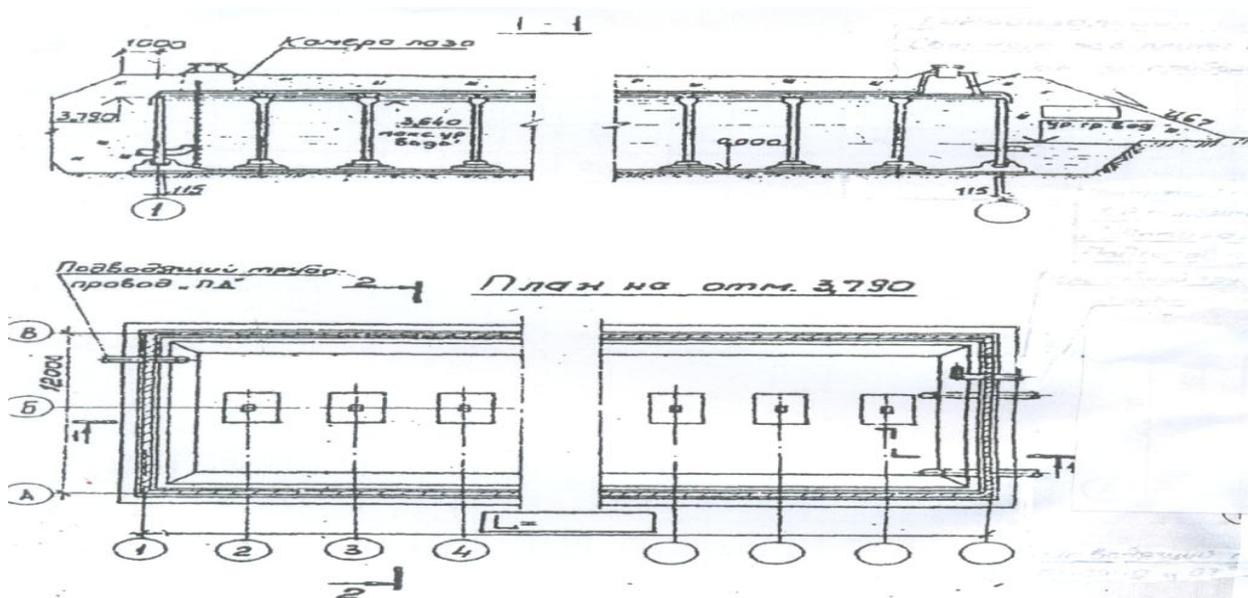
$$W_{\text{рчв}} = W_{\text{р}} + W_{\text{нож}} + W_{\text{ав}} + W_{\text{пр}}, \text{ м}^3 \quad (5.4)$$

По величине полный объем резервуара чистой воды $W_{\text{рчв}}$ подбирается по каталогу соответствующий типовый проект резервуара чистой воды, определяются плановые и высотные размеры резервуара, его конструктивное ре-

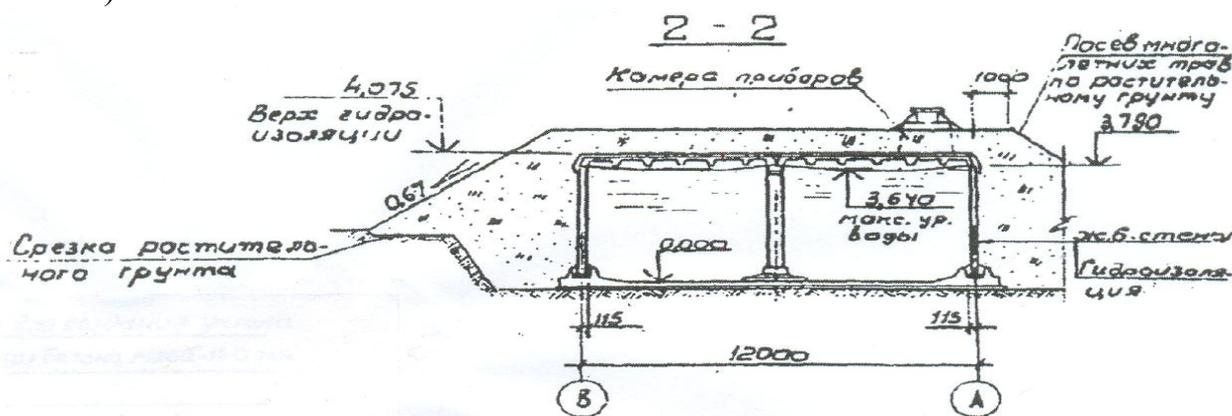
шение в целом и конструктивное решение отдельных его элементов. Из типового проекта также берутся технико-экономические показатели резервуара чистой воды.

В проекте, в пояснительной записке проекта, выполняется безмасштабная схема оборудования резервуара чистой воды со спецификацией оборудования, а на листе формата А1 две проекции РЧВ: план и поперечный (продольный) разрез в выбранном масштабе (рисунок 100). В курсовом проекте рассчитывается так называемый пассивный (безнапорный) резервуар из которого вода потребителям подается насосной станцией второго подъема.

Если в каталогах типовых проектов РЧВ, полученного расчетного объема нет, то подбирается два или несколько резервуаров с суммарным объемом воды, равным расчетному, а на листе А1 приводятся разрезы одного из них.



а)



б)

Рисунок 100 – Резервуар чистой воды

Относительной отметке 0.000 (верх ж. б. днища) соответствует абсолютная отметка. Технологические трубопроводы, стены и днище резервуаров воды не питьевого качества не изолируются.

Режим работы и определение расчетного расхода насосной станции 1-го подъема.

За расчетный расход принимается расход 2-5% обеспеченности, который вычисляется по кривым распределения.

Для надежного обеспечения всех потребителей водой суточную подачу системы водоснабжения принимают равной максимальному водопотреблению с учетом собственных нужд системы водоснабжения.

Однако в системе водоснабжения максимальное водопотребление отмечается очень редко. Поэтому, если в качестве расчетного расхода насосной станции принять максимальную подачу, то построенная насосная станция имела бы низкий коэффициент использования оборудования во времени. В виду этого, как правило, насосные станции 1-го подъема рассчитывают на подачу среднего расхода воды в дни максимального водопотребления с учетом расхода воды на собственные нужды насосной станции 1-го подъема и очистной станции.

Среднечасовая подача насосной станции 1-го подъема определяется по максимальной ординате принятого суточного графика ее работы. Эта подача используется для расчета сооружений системы водоснабжения подающих воду круглосуточно с равномерным расходом. К сооружениям относятся водозаборы, насосные станции 1-го подъема, очистные сооружения, водоводы.

Таким образом, расчетный расход насосной станции 1-го подъема при подаче воды на очистные сооружения определяются по формуле:

$$Q_p = \frac{\alpha \cdot Q_{\max \text{сут}}}{T} \quad (5.5)$$

где Q_p – расчетный расход насосной станции 1-го подъема, м³/час; $Q_{\max \text{сут}}$ – максимальный суточный расход, м³/час;

α – коэффициент, учитывающий расход на собственные нужды насосной станции и очистных сооружений (принимается равным 1,04-1,1) в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, конструкции фильтров, принятой интенсивности промывки и схемы отвода промывной воды;

T – заданная продолжительность работы насосной станции в течение суток в часах, обычно $T = 24$ часа; меньшую продолжительность работы насосной станции принимают только при малом суточном расходе воды и при соответствующей конструкции очистных сооружений, допускающих перерыв в работе.

Секундный расчетный расход (м³/с) насосной станции 1-го подъема, зачастую применяемый для подбора насосов легко определится:

$$Q_p = \frac{\alpha \cdot Q_{\max \text{сут}}}{3600T}, \quad (5.6)$$

5.4 Определение расчетного напора насосной станции 1-го подъема

Для предварительных расчетов на первом этапе проектирования, когда не подобраны основные насосы и не запроектированы трубопроводы, потери напора на преодоление сопротивлений по длине напорного трубопровода можно определить так:

$$h_l = il_{\text{тр}}, \quad (5.7)$$

где i – удельное сопротивление по длине трубопровода, м/км

$l_{\text{тр}}$ – длина трубопровода, км

Таблица 12 – Определение удельного сопротивления трубопровода

Максимальная подача насосной станции, Q_{max} , м ³ /с	Сопротивление на 1 км длины трубопровода, м
до 3	4
3...10	3...3,5
более 10	2,5...3

Местные потери напора принимаются равными 0,7...1,2 м при использовании осевых насосов и 1...1,5 м – при использовании центробежных.

Расчетный напор насосной станции 1-го подъема определяют в соответствии с принятой схемой подачи (рисунок 101).

При ее подаче на очистные сооружения расчетный полный напор насосов определяют по формуле:

$$H_p = H_{\Gamma} + \sum h_{\text{вс}} + \sum h_{\text{wh}} + h_{\text{зап}}, \quad (5.8)$$

где H_p – расчетный напор насоса, м;

H_{Γ} – геодезический (статический) напор, м.

Это разность отметок воды в смесителе очистных сооружений, куда обычно подается вода от насосной станции 1-го подъема, и минимальной отметкой в водоприемной камере (береговом колодце) насосной станции:

$$H_{\Gamma} = \nabla_{\text{с.о.с.}} - \nabla_{\text{min бк.}} \quad (5.9)$$

где $\nabla_{\text{с.о.с.}}$ – отметка в смесителе очистных сооружений, м;

$\nabla_{\text{min бк.}}$ – минимальная отметка в береговом колодце.

Геодезический напор насоса может быть также определен по зависимости:

$$H_{\Gamma} = H_{\text{вс}} + H_{\text{Г.Н}}, \quad (5.10)$$

где $H_{\text{вс}}$ – геометрическая высота всасывания, т. е. разность отметок оси насоса и самого низкого уровня воды в водоприемном колодце;

$H_{г.н}$ – геометрическая высота нагнетания, т. е. разность отметок оси насоса и уровня воды в сооружениях (куда она подается), определяемая из условия подачи воды в смеситель, очистной станции, при обратном водоснабжении – в резервуар под градирней или в брызгальный бассейн; для предварительных расчетов высоту расположения смесителя можно принять 4–6 м над поверхностью земли; при окончательных расчетах эту высоту устанавливают в соответствии с проектом очистной станции, м;

$\sum h_{w,вс}$ и $\sum h_{w,н}$ – суммарные потери напора соответственно во всасывающем и нагнетательном трубопроводах, м;

$H_{зап}$ – запас напора на излив воды из трубопровода (принимается равным 1 м).

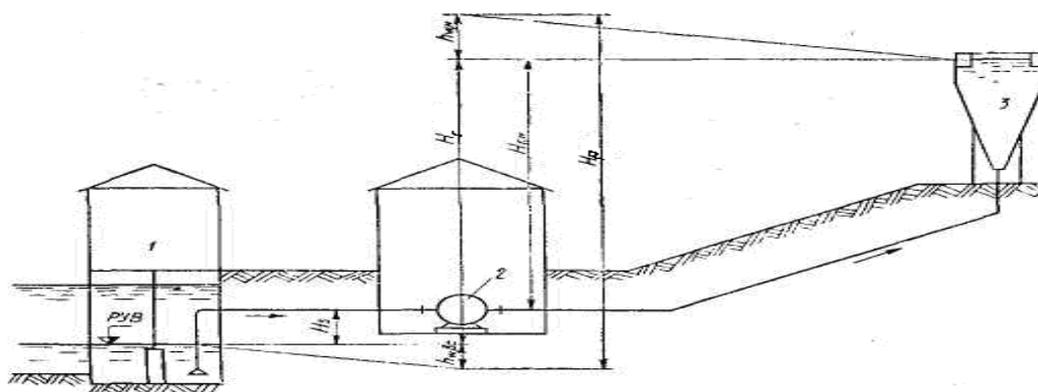


Рисунок 101 - Схема подачи воды на очистные сооружения

1 – водоприемный колодец; 2 – насос; 3 – смеситель; $\nabla_{\min б.к.}$ – отметка расчетного уровня воды в береговом колодце

5.5 Выбор количества, типа и марок основных насосов

При выборе количества и типа основных насосов необходимо руководствоваться положениями СНиП 2.04.02-84. Исходными данными для определения числа и типа рабочих насосов служат расчеты совместной работы насосов, водоводов, сетей, регулирующих емкостей, суточного и часового графиков водопотребления, условий пожаротушения. При этом нужно руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Количество основных насосов должно быть наименьшим (предпочтительно одних типоразмеров и марок) и их суммарная подача должна соответствовать максимальной подаче насосной станции. Таким образом, предпочтение должно отдаваться более крупным, высокопроизводительным машинам с высоким КПД, а не малым и средним, что значительно уменьшит вероятность экономически невыгодной параллельной работы нескольких насосов на один трубопровод.

2. При длительной подаче насосы должны работать в области наивысших КПД. Кратковременная работа может осуществляться при более низких коэффициентах полезного действия насоса.

3. Насосы должны иметь минимальную величину избыточных напоров при всех режимах работы за счет использования регулирующих емкостей, регулирования числа оборотов рабочих колес в соответствии с изменением условий их работы в течение расчетного срока.

4. Установка на насосной станции одноступенчатых основных насосов упрощает ее эксплуатацию, способствует взаимозаменяемости агрегатов, но не всегда является экономически оптимальной. Ступенчатость графика водоподдачи предопределяет изменение расходов насосной станции, обеспечение которых может быть осуществлено применением разнотипных насосов или групп насосов. Этот прием может обеспечить наивысший КПД всей насосной станции при различных режимах ее работы.

5. Число резервных агрегатов на насосных станциях водоснабжения назначается в соответствии с их категорией. Резервные насосы принимаются с характеристиками, соответствующими наибольшему насосу, установленному на насосной станции.

Пожарные насосы включаются в число рабочих агрегатов. Количество рабочих агрегатов одной группы должно быть не менее двух. На насосных станциях II и III категории при обосновании режима их работы допускается установка одного рабочего агрегата. Количество резервных агрегатов зависит от количества основных агрегатов насосной станции и определяется согласно СНиП 2.04.02-84 по (таблица 13).

На насосных станциях 1-го подъема, работающих в равномерных режимах, целесообразно устанавливать не менее двух одноступенчатых основных насосов и один или два резервных. На крупных заглубленных насосных станциях 1-го подъема рекомендуется устанавливать вертикальные центробежные или осевые насосы для обеспечения большой подачи.

Применение таких насосов позволяет уменьшить площадь здания насосной станции, сделать ее более компактной. Это достигается за счет конструктивных особенностей агрегатов, электродвигатели которых располагаются над насосами. Такое техническое решение создает лучшие условия для эксплуатации и обслуживания этих агрегатов.

На насосных станциях малой и средней производительности применяются в основном горизонтальные центробежные насосы.

Таблица 13 – Зависимость резервных агрегатов от основных агрегатов

Количество рабочих агрегатов одной группы	Количество резервных агрегатов в насосных станциях для категории		
	I	II	III
До 6	2	1	1
От 6 до 9	2	1	-
Более 9	2	2	-

Основные насосы подбирают по H_p и Q_p по каталогам насосного оборудования. В зависимости от типа конструкции насоса, вначале их находят по соответствующим сводным графикам номенклатуры, на которых нанесены

«поля» $Q-H$ или оптимальные зоны главных характеристик $Q-H$ данного типа насосов. На этих графиках приведены марки насосов, рекомендуемые рабочие диапазоны работы и частоты вращения валов насосов, для которых составлены эти характеристики.

В каталоге отыскивается характеристика выбранного насоса, которая переснимается на миллиметровую бумагу в масштабе, удобном для дальнейших графических построений с целью определения рабочих точек и др. Кроме того, в каталогах находят более подробные сведения о насосе и условиях его эксплуатации – габаритные и другие размеры, вес, расчетные значения кавитационного запаса, установочные схемы, марки используемых для данного насоса электродвигателей и т. д.

Если в каталогах нет насоса, удовлетворяющего расчетным данным H_p и Q_p , то необходимо принять по этим данным другой подобный насос, позволяющий путем изменения его характеристик пересчетом на новую частоту вращения или обточкой диаметра рабочего колеса удовлетворять расчетным показателям подачи и напора.

5.6 Выбор приводных двигателей насосов

В качестве привода для насосов применяются электродвигатели трехфазного переменного тока синхронные и асинхронные, горизонтального и вертикального исполнения.

Насосы типов «К», «Д», «В», «ОВ», «ОПВ» и «ОПГ», применяемые на насосных станциях 1-го подъема при добыче воды из поверхностных источников, поставляются насосостроительными заводами в комплекте с двигателями. Если комплектуемый с насосом электродвигатель не удовлетворяет требованиям установки или насос насосостроительным заводом поставляется без электродвигателя, то его нужно подбирать по каталогам двигателей, руководствуясь следующими рекомендациями:

для насосов мощностью до 200 кВт следует применять низковольтные асинхронные электродвигатели, а большей мощностью - высоковольтные асинхронные двигатели;

для насосов мощностью более 250 кВт следует применять высоковольтные синхронные электродвигатели;

при выборе электродвигателя исполнение его должно соответствовать исполнению насоса (вертикальное или горизонтальное), а частота вращения вала соответствовать частоте оборотов ротора насоса. Если такого соответствия нет, то характеристики насоса пересчитываются на новое число оборотов двигателя. Мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_{дв} = \frac{9,81 \cdot Q_H \cdot H_H \cdot K}{\eta_H \cdot \eta_{пер}}, \quad (5.11)$$

где Q_H , H_H – соответственно, расход (m^3/c) и напор (м) насоса, дающие

наибольшую мощность по режиму работы (для центробежных насосов чаще всего максимальная мощность соответствует максимальному расходу $Q_{н.мах}$ при минимальном напоре $H_{н.мин}$, а для осевого насоса – минимальному расходу при максимальном напоре);

η_n – КПД насоса;

$\eta_{пер}$ – КПД передачи (при непосредственном соединении насоса и двигателя $\eta_{пер} = 1$);

K – коэффициент запаса мощности (таблица 14).

Таблица 14 - Коэффициент запаса мощности

Мощность двигателя, кВт	До 20	21- 50	51 - 300	Более 300
Коэффициент запаса	1,25	1,2	1,15	1,1

6 ВСАСЫВАЮЩИЕ И ПОДВОДЯЩИЕ ТРУБОПРОВОДЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

6.1 Проектирование всасывающих трубопроводов

Всасывающие трубопроводы применяют на насосных станциях II и III категорий надежности подачи, когда ось насоса находится выше отметки минимального уровня воды в источнике питания насоса. Поскольку поступление воды в насос в этом случае обусловлено вакуумом во всасывающем трубопроводе, то основное требование к этим трубопроводам – их герметичность. Число всасывающих труб на насосных станциях 1-го подъема обычно равно числу насосов.

При относительно большой длине всасывающих линий и при сложных дорогостоящих конструкциях водоприемных сооружений (что характерно для крупных насосных станций 1-го подъема раздельного типа) допускается меньшее число всасывающих труб, чем число насосов. Количество всасывающих линий на насосных станциях I и II категорий надежности подачи независимо от количества групп насосов, включая пожарные, должно быть не менее двух.

При выключении одной линии остальные должны быть рассчитаны на пропуск полного расхода для насосных станций первого и второго классов надежности действия и 0,7 расчетного расхода – для станций третьей категории. Устройство одной всасывающей линии допускается на насосных станциях третьего класса надежности действия или на противопожарных насосных станциях при установке одного рабочего пожарного насоса.

При количестве всасывающих трубопроводов, меньшем количества установленных насосов для обеспечения забора воды, трубопроводы объединяют коллектором с переключающими задвижками. На рисунок 102 а показана схема подвода воды двумя всасывающими трубами к четырем насосам, при которой обеспечивается постоянная работа двух насосов во время ремонта любой трубы или задвижки, а на рисунок 102 б – схема коллекторного переключения трех всасывающих трубопроводов шести насосов, обеспечивающая при любых условиях постоянную работу четырех насосов. Из приведенных примеров видно, что устройство всасывающего коллектора значительно усложняет коммуникации и увеличивает размеры здания станции.

Всасывающие трубопроводы как внутри здания насосной станции, так и вне его обычно выполняют из стальных труб на сварке с применением фланцевых соединений лишь для присоединения к арматуре и насосам.

В насосных станциях систем водоснабжения, работающих как правило круглогодично, необходимо предусматривать меры по защите всасывающих трубопроводов от промерзания при минусовых температурах.

Над поверхностью земли всасывающие трубопроводы укладывают на опоры, при установке которых необходимо учитывать толщину слоя нарушенной структуры грунта и глубину промерзания. Расстояние между опорами

определяется статическим расчетом трубы как неразрезной многопролетной балки.

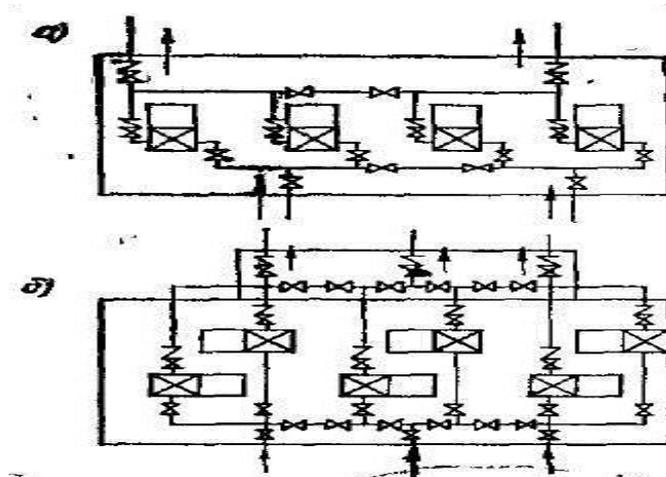


Рисунок 102 – Коллекторные переключения на всасывающих и напорных трубопроводах

Всасывающие трубопроводы, проходящие в траншеях, укладывают на подготовку толщиной 5–10 см из крупнозернистого песка, щебня или мелкого гравия. Наружную поверхность трубопроводов покрывают битумной гидроизоляцией с обертыванием строительной бумагой или мешковиной. Затем трубопроводы засыпают грунтом.

Всасывающие трубопроводы выполняют по возможности короткими (до 50 м), с минимальным числом поворотов (не более 4) и непрерывным подъемом к насосу с уклоном не менее 0,005. Перед насосом должен быть прямолинейный участок длиной не менее $2D_b$. Диаметры всасывающих труб D_b должны приниматься в зависимости от скоростей движения воды в них:

$$V_b = 0,7 \div 1,0 \text{ м/с,}$$

$$D_b \leq 250 \text{ мм;}$$

$$V_b = 1,0 \div 1,5 \text{ м/с,}$$

$$250 \text{ мм} \leq D_b \leq 800 \text{ мм;}$$

$$V_b = 1,5 \div 1,8 \text{ м/с,}$$

$$D_b \geq 800 \text{ мм.}$$

Во всех случаях диаметр всасывающей линии должен быть больше диаметра всасывающего патрубка насоса.

Сопряжение всасывающего трубопровода с всасывающим патрубком насоса осуществляется посредством одностороннего конуса (конфузора) с горизонтальной верхней образующей (рисунок 103). Длину конфузора принимают $l_k = (3,5-4) (D_b - d_b)$, где d_b – диаметр всасывающего патрубка насоса.

На входе всасывающие трубы оборудуются конусами сужения, которые могут иметь центральный угол конусности от 8° до 16° , что определяет длину конфузора $L_k = (3,5-7,0)(D_{вх} - D_в)$, где $D_{вх}$ – диаметр входа во всасывающую трубу, который определяют, исходя из скоростей на входе $V_{вх} = (0,8 \div 1,0)$ м/с.

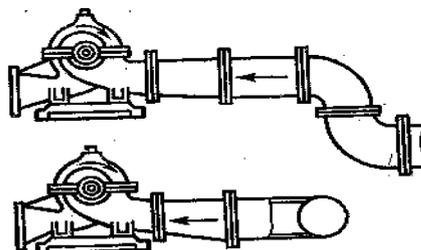


Рисунок 103 – Схема устройств всасывающих линий

Если в процессе эксплуатации насосной станции уровень воды в источнике может подняться выше отметки уровня установки насоса, то на всасывающем трубопроводе предусматривают задвижку для отключения насосов.

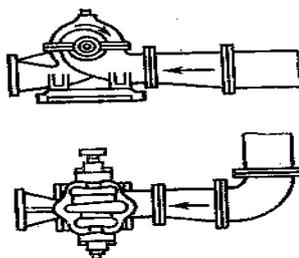


Рисунок 104 – Схема устройств всасывающих линий

Всасывающие трубы необходимо закреплять в водоприемных камерах во избежание их вибрации при работе насосов. Трубы крепятся к стене или днищу камеры, или к специальной металлической раме (рисунки 105, 106, 107).

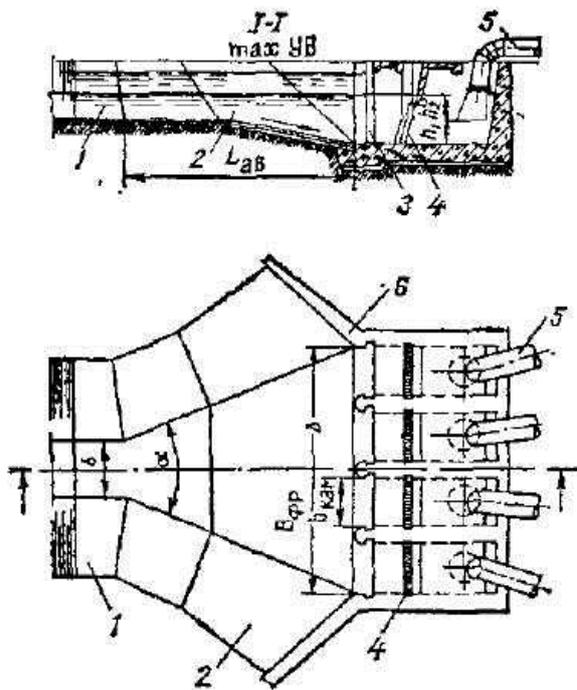


Рисунок 105 – Крепление всасывающей трубы к днищу водоприемной камеры

1 – анкерные болты; 2 – опора трубы; 3 – всасывающая труба; 4 – сальниковый проход через стену

Рисунок 106 – Раздельная компоновка водозаборного сооружения насосной станции на тупиковом канале. Крепление всасывающей трубы

1 – подводящий канал;
 2 – расширяющаяся аванкамера;
 3 – паз для ремонтного затвора;
 4 – сороудерживающая решетка;
 5 – всасывающая труба насоса;
 6 – камерный водоприемник;
 7 – крепление всасывающей трубы в камере

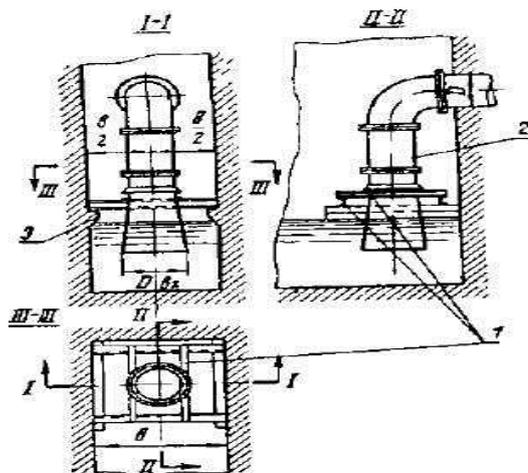
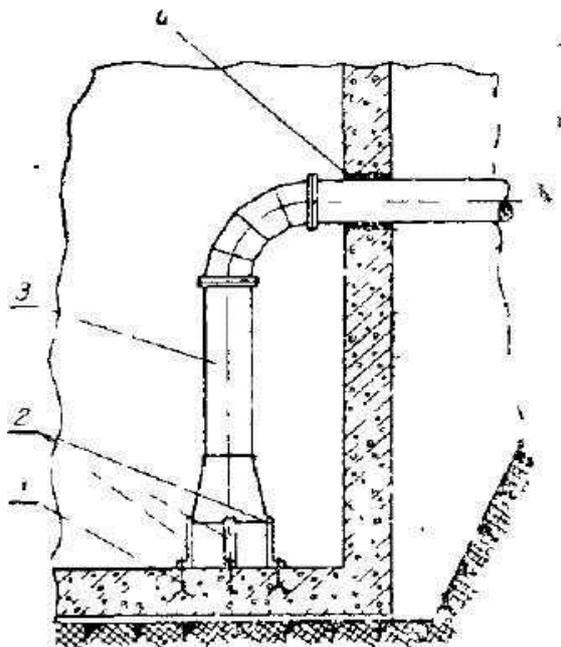


Рисунок 107 – Крепление всасывающей трубы в водоприемной камере на стальной раме к стене водоприемной камеры

1 – стальная опорная рама;
 2 – всасывающая труба;
 3 – железобетонные выступы



6.2 Проектирование подводящих трубопроводов

Подводящие трубы применяются на насосных станциях, когда уровень воды в источнике выше уровня установки насоса. Это снижает требования к ним в отношении герметичности. Подводящие трубопроводы могут выполняться из стальных или железобетонных труб.

В насосных станциях камерного типа с насосами типа «К» или «Д» подводящая труба размещается выше пола машинного зала согласно схеме (рисунок 108). При установке насосов типа «В» подводящая труба выполняется в виде стального сварного конфузора, жестко заделанного в стену, задвижки, монтажной вставки и сварного стального колена переменного сечения (рисунок 109).

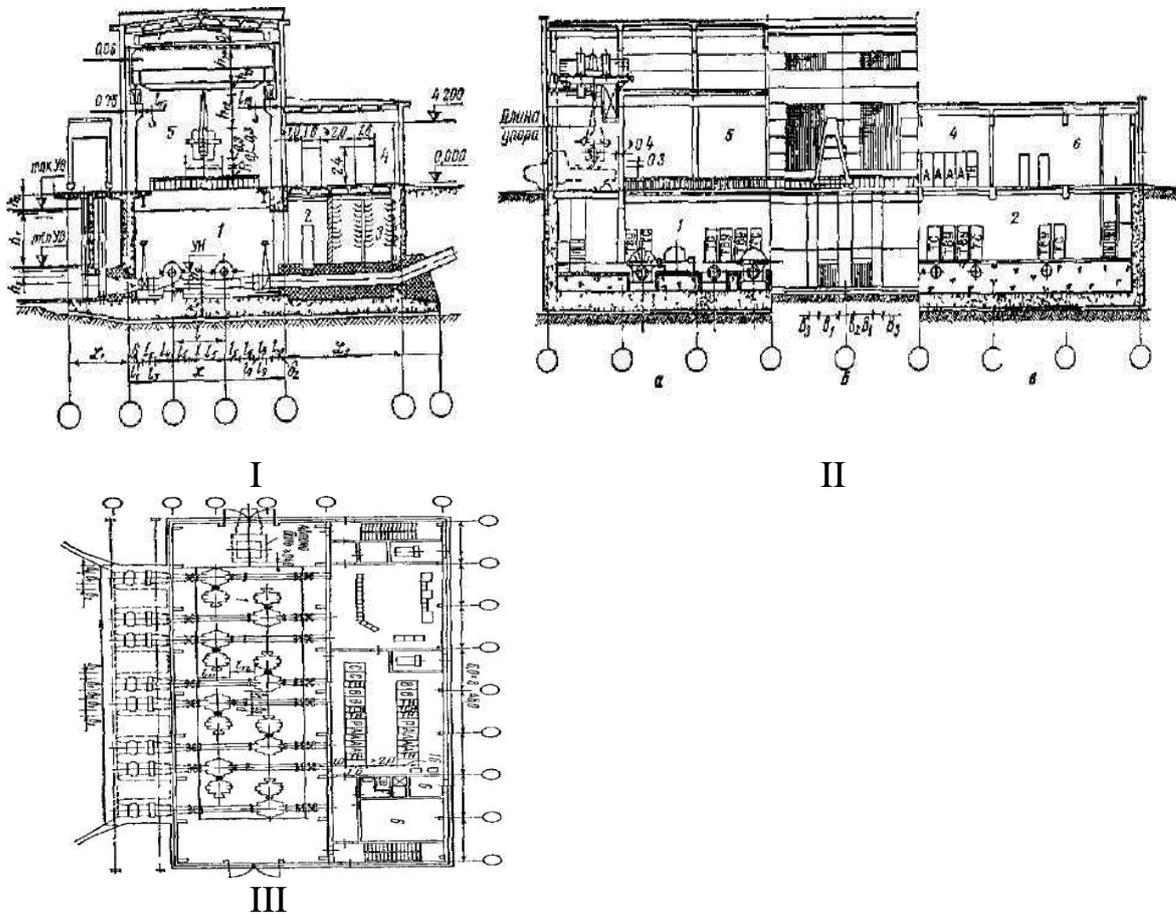


Рисунок 108 – Схема здания насосной станции камерного типа с насосами типа «Д»

I – поперечный разрез: 1 – насосное помещение; 2 – ТВУ; 3 – кабельный этаж; 4 – РУ напряжением 6 кВт; 5 – машинный зал;

II – продольный разрез: а, б, в, – фрагменты машинного зала, фасада и служебных помещений; III – план: С – шкаф секционного выключателя; В – шкаф ввода; Р – разрядки; А – агрегатный шкаф; ТН – трансформатор напряжения; ТСН – трансформатор собственных нужд

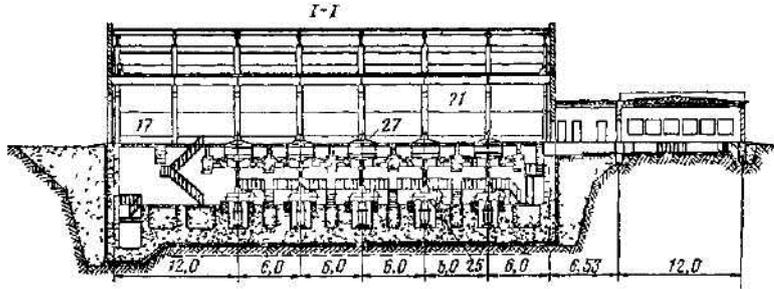
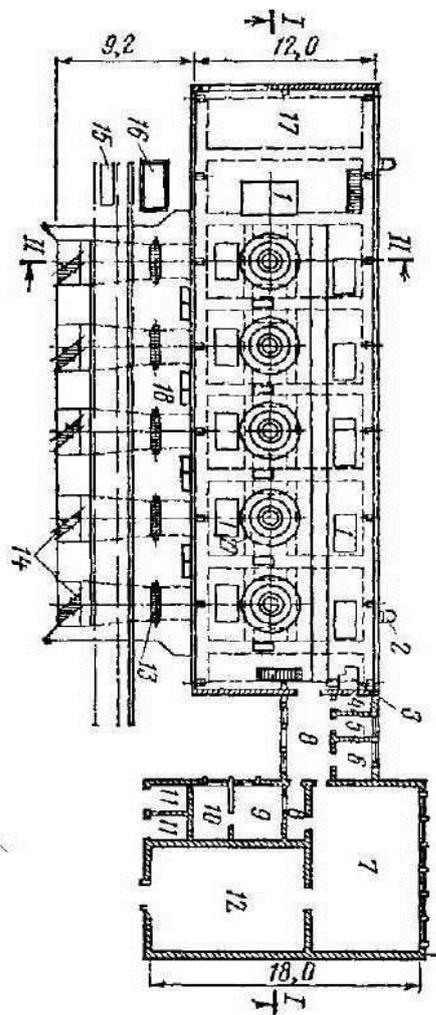


Рисунок 109 – Здание насосной станции камерного типа, оборудованное насосами типа «В» на подачу до $4 \text{ м}^3/\text{с}$

1 – люки в перекрытиях; 2 – пожарная лестница; 3 – площадка для подъема на мостовой кран; 4 – санузел; 5 – душевая, 6 – склад электроаппаратуры; 7 – пульт управления; 8 – коридор; 9 – общая комната персонала; 10 – кабинет начальника станции; 11 – камеры трансформаторов собственных нужд; 12 – распределительное устройство; 13 – паз ремонтного затвора, 14 – грубая решетка, 15 – яма для мусора; 16 – затворохранилище; 17 – монтажная площадка; 18 – вентиляционные шахты; 19 – решеткоочистительная машина; 20 – мостовой кран; 21 – верхнее строение; 22 – задвижка; 23 – напорный трубопровод; 24 – подземная камера здания; 25 – насос типа В, 26 – ремонтная задвижка, 27 – электродвигатель, 28 – водоприемная часть здания

В насосных станциях блочного типа с насосами типа «В», «ОВ» и «ОПВ» подводящие трубы выполняют в здании насосной станции в монолитном железобетонном блоке. Трубы криволинейного очертания, изогнутые в вертикальной плоскости позволяют осуществлять плавный подвод воды к агрегатам с наименьшими гидравлическими потерями. Коленчатые трубы бывают расширенные в плане (рисунок 110 б) и суженные в плане (рисунок 110 а).

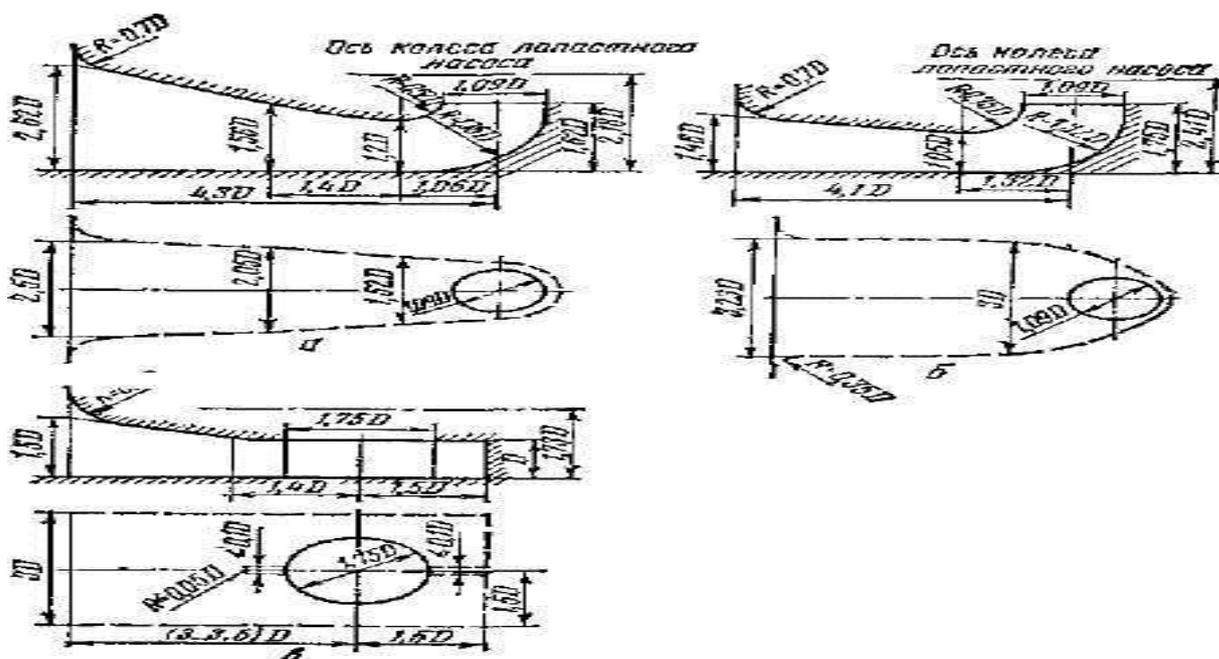


Рисунок 110 – Схема труб с коленчаты *a* – суженная и *б* – расширенная в плане *м* и *в* – камерным подводом воды

Для осевых насосов модификации К применяют подводящие трубы по типу камерного подвода (рисунок 110, в). Размеры труб на рисунке 110 даны в зависимости от диаметра всасывающего патрубка насоса d_v . Коэффициент гидравлических сопротивлений $\xi_{вт}$, отнесенный к входному патрубку насоса, для труб, изображенных на рисунок 43 а, б, равен 0,5, а для камерного подвода (рисунок 110, в) – 0,577.

6.3 Определение отметки рабочего колеса насосов

Отметку оси насосов следует определять, как правило, из условия установки корпуса насосов под заливом от минимального уровня воды в водостоке или водоеме. Это условие относится, прежде всего, к насосным станциям 1-го подъема и первой категории надежности подачи.

При определении отметки оси насосов следует учитывать высоту всасывания или кавитационный запас.

Отметка оси рабочего колеса насоса определяется по зависимости:

$$\nabla_{р.к} = \nabla_{н.б. \min} \pm h_n, \quad (6.1)$$

где $\nabla_{н.б. \min}$ – отметка минимального уровня в источнике питания (в приемной камере насоса);

h_n – высота установки насоса, м.

Высота установки насосов может быть рекомендована заводом - изготовителем (требуемый заводом – изготовителем необходимый подпор со стороны всасывания указывается в паспортных данных насоса) или определяется расчетом. Для насосов, на характеристиках которых приведена величина

допустимого кавитационного запаса Δh , высота установка насоса определяется по формуле:

$$h_n = \frac{P_a - P_{\text{с.п.}}}{\rho g} - \Delta h - \sum h_{\text{св}}, \quad (6.2)$$

где $\frac{P_a}{\rho g}$ – атмосферное давление столба перекачиваемой жидкости, м;

$\frac{P_{\text{с.п.}}}{\rho g}$ – давление насыщенного пара столба этой жидкости, м;

$\sum h_{\text{св}}$ – сумма потерь напора на всасывающей линии насоса, м.

Для насосов, на характеристиках которых приведена величина допустимой вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$, высота установки насоса равна:

$$h_n = H_{\text{вак}}^{\text{дон}} - \sum h_{\text{св}} - \frac{\alpha \cdot V_{\text{с.п.}}^2}{2g}, \quad (6.3)$$

где $\frac{\alpha \cdot V_{\text{св}}}{2g}$ – скоростной напор во всасывающей патрубке насоса, м.

7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВАНКАМЕР И ВОДОПРИЕМНЫХ КАМЕР НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Длину расходящейся аванкамеры $L_{ав}$ определяют по формуле:

$$L_{ав} = (1,2-1,3)l_г, \quad (7.1)$$

где $L_г$ – длина водоворотной зоны при расширении потока с ширины подводящего канала $в_к$ до ширины водозаборного фронта $в_{фр}$.

Для горизонтального дна аванкамеры $L_в$ определяется так:

$$L_г = 8в_о(\gamma - 1), \quad (7.2)$$

$$B_о = 0,5B_{ср}, \quad (7.3)$$

$$B_{ср} = B_к + mh_к, \quad (7.4)$$

где $в_к$ – ширина подводящего канала по дну, м; m – коэффициент заложения откоса канала, м; $h_к$ – максимальная глубина воды в канале, м;

$$\gamma = \frac{B_{фр}}{в_{ср}}, \quad (7.5)$$

$$B_{фр} = (B_{кам} + B_б)n - B_б, \quad (7.6)$$

где $B_{кам}$ – ширина водоприемной камеры, м; $B_б$ – ширина быка, м; n – число камер.

Аванкамеры необходимо устраивать с центральным углом конусности $40^\circ - 45^\circ$, но не менее $30^\circ - 35^\circ$.

Если отметка дна водоприемных камер ниже отметки дна подводящего канала, то аванкамеру выполняют с прямым уклоном дна $i = 0,2$, однако в этих условиях не всегда удастся выдержать предыдущие рекомендации и, в частности, соотношение, определяющее длину аванкамеры $l_{ав}$.

В такой аванкамере создаются благоприятные условия для осаждения наносов, плохо происходит растекание потока и осложняется его подход к крайним агрегатам.

Для улучшения гидравлических условий в аванкамере необходимо попытаться сократить длину водозаборного фронта $B_{фр}$. Для отдельной компоновки это достигается уменьшением ширины камеры до $(1,2-1,3) D_{вх}$.

При совмещенной компоновке, в основном на станциях блочного и камерного типов, этот прием недопустим, так как ширина камеры обусловлена шириной всасывающей трубы.

Когда насосная станция располагается на тупиковом подводящем канале, в состав водозаборных сооружений входят: при подаче одного насо-

са до $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ аванкамерой в виде ковша с откосными стенками (рисунок 111), при большей производительности – аванкамера и водоприемные камеры (рисунок 112).

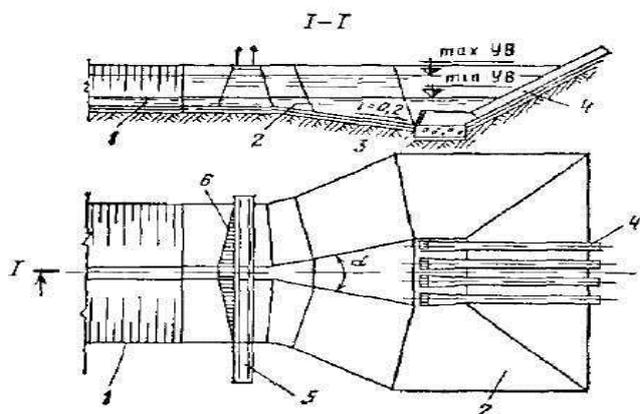


Рисунок 111 – Схема ковшового водозаборного сооружения насосной станции на тупиковом канале
 1 – подводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – решетка на входе во всасывающую трубу; 4 – всасывающие трубы насосов; 5 – служебный мостик; 6 – выносная сороудерживающая решетка

В первом случае всасывающие трубы насосов необходимо располагать на торцевом откосе аванкамеры. Заложение откосов аванкамеры выбирается по таблица 1 приложения В, в зависимости от рода грунта. Дно и откосы аванкамеры и подводящего канала на подходе к ней крепятся обычно железобетонными плитами по подготовке. Расстояние между осями всасывающих труб принимают $(3-4)D_{\text{вх}}$, где $D_{\text{вх}}$ – диаметр входного отверстия всасывающей трубы. Заглубление верха входного отверстия всасывающей трубы под минимальный уровень воды в аванкамере принимают $1,5D_{\text{вх}}$, но не менее $0,5 \text{ м}$. Отверстие необходимо располагать в плоскости, близкой к вертикальной. Водозабор оборудуется выносной сороудерживающей решеткой, расположенной при входе в аванкамеру. Для обслуживания решетки вдоль нее устраивается мостик.

Камерные водоприемники могут быть отдельными и совмещенными со зданием насосной станции (см. рисунок 105, 112).

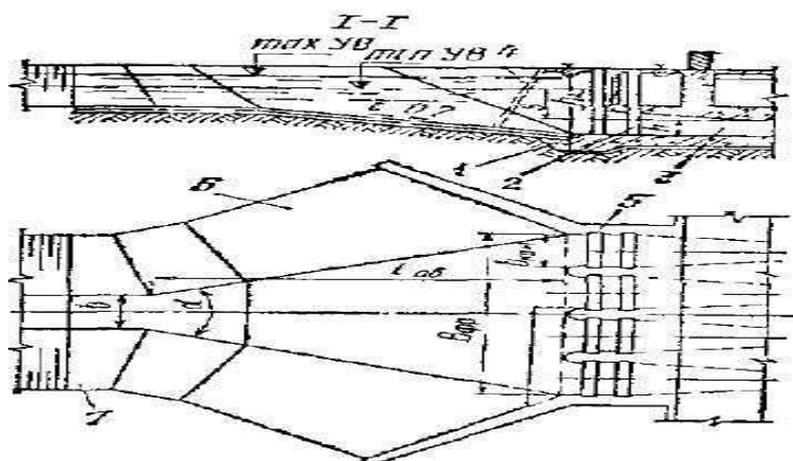


Рисунок 112 – Совмещенная компоновка водозаборного сооружения насосной станции на тупиковом канале
 1 – паз для сороудерживающей решетки; 2 – паз для ремонтного затвора; 3 – всасывающая труба насоса; 4 – сороочистительная решетка; 5 – камерный водоприемник; 6 – расширяющаяся аванкамера; 7 – подводящий канал

Раздельная компоновка обычно применяется на насосных станциях камерного и незаглубленного типа при использовании на них горизонталь-

ных центробежных насосов типа «Д», совмещенная – при использовании вертикальных центробежных насосов типа «В» и осевых вертикальных насосов типов «ОВ» и «ОПВ» на насосных станциях блочного и камерного типов.

Бесперебойная работа насоса и минимум гидравлических потерь во всасывающей линии обеспечивается также правильным расположением всасывающих труб в приемной камере насосной станции. Расстояние от входного сечения всасывающей трубы до дна и стен камеры или прямка следует принимать таким образом, чтобы скорости подхода воды к оголовку были не больше скорости течения воды во входном сечении. Получающиеся при этом размеры показаны на рисунок 111.

Размеры водоприемных камер определяют так. Ширина камеры подсчитывается в зависимости от диаметра входа во всасывающую трубу $B_k = 3D_{вх}$ и округляется до ближайшего из следующих значений: 0,8; 1,0 м и далее до 2,5 м через 0,25; 0,5 до 5 м и через 1,0 м при ширине камеры более 5 м.

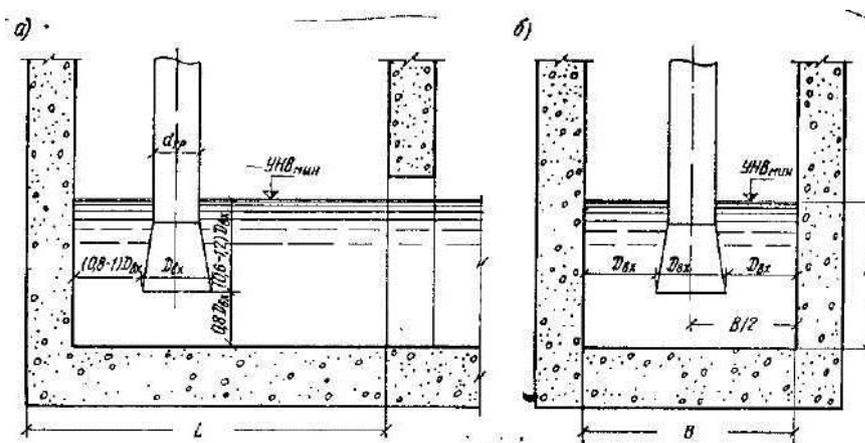


Рисунок 113 – Расположение всасывающей трубы в приемной камере

При необходимости уменьшения водозаборного фронта насосной станции ширину камеры можно принимать $B_k = (1,5-2,5)D_{вх}$.

Длину водоприемной камеры L определяют из условия расположения пазовых конструкций затворов, шандор и решеток, а также служебных мостиков. Минимальная длина камеры $3D_{вх}$ для вертикальных всасывающих труб, $2D_{вх}$ – для горизонтальных подводящих труб. Или Lk определяется из условия, что отношение k объема воды в приемной камере W к средней подаче насоса Q должно быть не менее 15–20, т. е.:

$$\frac{W}{Q} = k \text{ и } L = \frac{W}{Bh} = \frac{kQ}{Bh}; \quad (7.7)$$

При наличии в водоприемной камере двух или более всасывающих труб расстояние между ними должно быть не менее $(1,5-2)D_{вх}$. Взаимное расположение труб при этом должно исключать возможность влияния работающих насосов друг на друга.

Расстояние входного отверстия вертикальной всасывающей трубы от дна камеры $h_1 = 0,8D_{\text{вх}}$. Заглубление входного отверстия всасывающей трубы, расположенной у задней стенки камеры, под минимальный уровень h_2 равно $0,6D_{\text{вх}}$, но не менее 0,5 м.

Аналогично определяются размеры и размещаются осевые, вертикальные насосы в мокрых камерах насосных станций.

При совмещенной компоновке ширина водоприемной камеры зависит от расстояния между насосами, которое, в свою очередь, обусловлено шириной подводящей трубы и толщиной быка (см. рисунок 111), которая принимается не менее 0,6 м.

8 НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

8.1 Внутростанционные напорные трубопроводы насосных станций

Напорные трубопроводы предназначены для транспортирования воды от насосной станции первого подъема до водоприемного устройства, в качестве которого используется смеситель очистной станции.

Напорные трубопроводы бывают внутростанционные и внешние. По внутростанционным напорным коммуникациям осуществляется подача воды от насосов к внешним напорным трубопроводам (см. рисунок 114).

Напорные коммуникации центробежных насосов включают монтажную вставку (принимается по диаметру напорных патрубков насосов); обратный клапан, который подбирается в зависимости от диаметра напорного трубопровода $d_{н.т}$ по таблице 11 приложения В; задвижку или поворотный затвор (подбираем в зависимости от $d_{нт}$ и $P_y = H/10$, кг/см) по таблица 8, 9, 10 приложения 3; диффузор длиной $L = (6 - 7) \cdot (d_{н.т} - d_{н.п.})$, где $d_{н.п.}$ – диаметр напорного патрубка.

Обычно в системах водоснабжения устраивают два внешних напорных трубопровода и только в редких случаях – три и более. Число устанавливаемых на станции насосов, таким образом, превышает число ниток трубопроводов, и поэтому возникает необходимость в устройстве сборного коллектора. Размещение задвижек на коллекторе и на напорных трубопроводах (внутростанционных и внешних) должно обеспечивать возможность смены или ремонта любого из насосов, внешнего напорного трубопровода, обратных клапанов и основных задвижек при непрерывной подаче воды на хозяйственно-питьевые нужды в размере, предусмотренном классом надежности действия насосной станции.

На практике применяется много различных способов коллекторного переключения напорных трубопроводов внутри крупных водопроводных насосных станций. Эти схемы коммуникаций обеспечивают постоянную работу двух и четырех насосов соответственно из четырех и шести, устанавливаемых на станции. В зависимости от числа агрегатов, типа основных насосов и класса надежности действия станции возможно большое число вариантов.

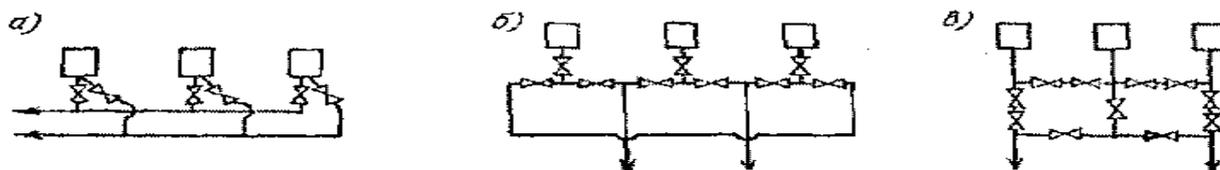


Рисунок 114 – Схемы внутростанционных коммуникаций напорных трубопроводов

Практически полной бесперебойности в подаче воды можно добиться установкой двух коллекторов или применением кольцевой системы соединения насосов, как это показано на рисунок 114. В системах, показанных на

схемах (рисунок 114 а – б), можно ремонтировать любую из задвижек при отключении всего лишь одного насоса, независимо от общего их числа. Бесперебойность в работе насосной станции еще надежнее обеспечивает схема, показанная на рисунок 114 в.

Рассмотренные схемы внутриванционных коммуникаций напорных трубопроводов с коллекторами и большим числом задвижек требуют значительного увеличения плановых размеров здания насосной станции и, следовательно, приводят к удорожанию его строительной стоимости (рисунок 115, а). Существенного уменьшения ширины здания можно добиться размещением арматуры насоса на вертикальном участке напорного трубопровода, в результате чего сборный коллектор оказывается расположенным значительно выше насосов (рисунок 115, б). Неизбежное при этом увеличение высоты здания станции позволяет применять эту компоновку лишь для заглубленных насосных станций шахтного типа.

Для наземных и частично заглубленных насосных станций иногда более приемлемым оказывается решение, при котором напорный коллектор с задвижками размещается в отдельном помещении, примыкающем к стене здания насосной станции.

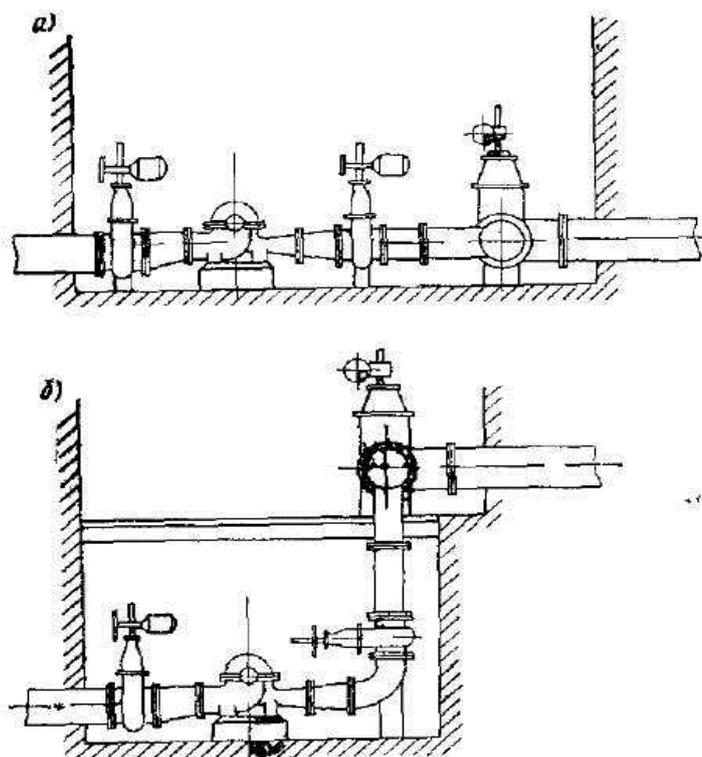


Рисунок 115 – Горизонтальная и вертикальная компоновки напорных внутриванционных трубопроводов

Окончательный выбор схемы компоновки и размещения внутриванционных напорных трубопроводов должен производиться на основе технико-экономического сопоставления всех возможных вариантов.

Скорость движения воды в напорных внутриванционных трубопроводах принимают: 1,0–1,5 м/с для труб диаметром до 250 мм, 1,2– 2,0 м/с для

труб диаметром от 300 до 800 мм, 1,8–3,0 м/с для труб диаметром более 800 мм.

Трубопроводы внутри здания насосной станции обычно прокладывают из стандартных стальных труб с наваренными фланцами для соединения с фасонными частями и арматурой. Наружную поверхность труб после соответствующей подготовки окрашивают. Цвет краски для напорных и всасывающих линий должен быть различным.

Материал внешних напорных трубопроводов выбирают на основании статических расчетов с учетом условий их работы. На трубопровод всегда действует собственная масса трубы. Кроме того, он может находиться под воздействием давлений внутреннего, атмосферного, гидростатического, грунтовых вод, грунта, временных нагрузок и массы транспортируемой воды.

При выборе материала труб нужно учитывать наиболее опасные комбинации указанных давлений и нагрузок для конкретных условий работы напорных трубопроводов.

Для напорных водоводов и сетей, как правило, следует применять неметаллические трубы (железобетонные, асбестоцементные, пластмассовые и др.). Отказ от применения неметаллический труб должен быть обоснован.

Применение стальных труб допускается:

- на участках с расчетным внутренним давлением более 1,5 МПа (15 кг/см²);
- для переходов под железными и автомобильными дорогами, через водные преграды и овраги;
- в местах пересечения линий хозяйственно-питьевого водопровода с сетями канализации;
- при прокладке трубопроводов по автодорожным и городским мостам, по опорам эстакад и в туннелях.

Водопроводные линии, как правило, надлежит принимать подземной прокладки. При этом запорная, регулирующая и предохранительная трубопроводная арматура должна устанавливаться в колодцах (камерах).

При прокладке водоводов в две или более линий необходимость устройства переключений между водоводами определяется в зависимости от количества независимых водозаборных сооружений или линий водоводов, подающих воду потребителю. При этом в случае отключения одного водовода или его участка общую подачу воды объекту на хозяйственно-питьевые нужды допускается снижать не более чем на 30% от расчетного расхода на производственные нужды по аварийному графику. Выбор диаметров труб водоводов надлежит производить на основании технико-экономических расчетов, учитывая при этом условия их работы при авариях.

8.2 Определение экономически наиболее выгодного диаметра напорного трубопровода

Диаметр напорного трубопровода зависит от средней экономической скорости соответствующей минимальным строительным и эксплуатацион-

ным затратам. Но так как скорость может меняться в широких пределах, расчет будет неточным. Более точно экономически наивыгоднейший диаметр напорного трубопровода можно определить по приведенным затратам, учитывающим срок окупаемости, ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт, потребление электроэнергии, ее стоимость и другие изменяющиеся факторы. Приведенные затраты Π_{\min} минимальны при экономически наивыгоднейшем диаметре $d_{\text{эк}}$.

Приведенные затраты рекомендуется определять по формуле:

$$\Pi = K \cdot E_n + C \quad (8.1)$$

где Π - приведенные затраты по рассматриваемому варианту (руб.),

C – ежегодные эксплуатационные издержки по варианту (руб.),

K – суммарные капитальные вложения в строительство (руб.),

E_n – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений. Принимается как величина, обратная сроку окупаемости трубопровода (в годах):

$$E_n = \frac{1}{T_0}, \quad (8.2)$$

где T_0 – нормативный срок окупаемости в годах.

Расчет ведется на 1 погонный метр напорного трубопровода.

Капитальные вложения на сооружение напорного трубопровода – это сумма стоимости строительных работ и затрат на приобретение, транспорт, хранение, монтаж, испытание трубопровода. В курсовом и дипломном проектах ограничивается стоимостью одного погонного метра трубопровода, условно предполагая, что затраты на транспорт, хранение и испытание растут пропорционально увеличению диаметра трубопровода.

Величина ежегодных эксплуатационных издержек состоит из следующих затрат:

- амортизационные отчисления на полное восстановление и капитальный ремонт;
- затрат на текущий ремонт;
- стоимости электроэнергии, затраченной на подачу воды.

Величина потребляемой электроэнергии определяется по расчетному графику водоподдачи.

Электрическая энергия затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления трубопровода. В общем виде формула для определения величины затраченной электроэнергии может быть записана в следующем виде:

$$\mathcal{E} = \int_{t_0}^T \frac{9,81 Q h t}{\eta \gamma} dt = \frac{9,81 S}{\eta \gamma} \int_{t=0}^T Q^3 dt, \quad (8.3)$$

где Q – расход воды в трубопроводе, м³/с,

$h_w = SQ^2$ – потери напора в трубопроводе, м;

S – гидравлическое сопротивление трубопровода, $\text{с}^2/\text{м}^5$ (в связи с тем, что обычно расчет выполняется для 1 м длины трубопровода, вместо S может быть использовано значение A – удельного сопротивления трубопровода);

T – продолжительность работы трубопровода в году, в часах;

$\eta_{н.у.}$ – коэффициент полезного действия насосной установки:

$$\eta_{н.у.} = \eta_{дв} \cdot \eta_n \cdot \eta_{п.н.} \cdot \eta_{п.н.}, \quad (8.4)$$

где $\eta_{дв}$ – КПД двигателя;

η_n – КПД передачи;

$\eta_{п.н.}$ – КПД насоса;

Обозначая $q_{p.m.}^3 = \frac{\int_0^T Q^3 dt}{T}$, формулу (8.3) можно записать в таком виде:

$$\mathcal{E} = \frac{9,81S}{\eta_{н.у.}} q_{p.m.}^3 \cdot T, \quad (8.5)$$

где $q_{p.m.}$ – среднекубическая расчетная величина расхода в трубопроводе, $\text{м}^3/\text{с}$.

Величина $q_{p.m.}$ зависит от графика водоподачи, числа ниток напорных трубопроводов, количества насосов и схемы их соединения.

В общем виде формулу для определения $q_{p.m.}$ можно записать:

$$q_{p.m.} = \sqrt[3]{\frac{\sum Q_i^3 \cdot T_i}{\sum T_i}}, \quad (8.6)$$

где i – порядковый номер периода графика водоподачи;

T_i – продолжительность i -го периода, ч.;

Q_i – величина расхода для i -го периода. $\text{м}^3/\text{с}$.

Насосные станции первого подъема систем водоснабжения осуществляют подачу, как правило, равномерно. В этом случае среднекубическая расчетная величина расхода в трубопроводе определяется делением общего расхода станции на число напорных трубопроводов:

$$q_{д.д.} = \frac{Q}{m}, \quad (8.7)$$

где Q – расход насосной станции, $\text{м}^3/\text{с}$;

m – число ниток напорных трубопроводов.

Расчет экономически наиболее выгодного диаметра напорного трубопровода ведется в следующей последовательности:

Определяют предварительно приближенный диапазон диаметров, в котором нужно вести поиск $d_{эк}$ по формуле:

$$d_{\text{эб}} = (0,75-1,2)\sqrt{q_{\text{д.д.}}}. \quad (8.8)$$

Задаваясь рядом стандартных диаметров в полученном диапазоне, для каждого диаметра последовательно определяют:

Стоимость (К) одного погонного метра напорного трубопровода, руб (приложение Г таблица 1).

Ежегодные отчисления на амортизацию и ремонт, руб.:

$$S = \frac{BK}{100}, \quad (8.9)$$

где Б – процент отчислений на амортизацию и ремонт (приложение Г таблица 2).

Скорость течения воды в напорном трубопроводе, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$v = \frac{q}{w} = \frac{4q}{\pi d^2}, \quad (8.10)$$

где w – площадь живого сечения трубопровода, м^2 ;

d – внутренний диаметр трубопровода, м.

Суммарные гидравлические потери напора по длине и на преодоление местных сопротивлений, м:

$$\sum h = 1,1\lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2q}, \quad (8.11)$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений на длине одного погонного метра трубопровода;

q – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

Величина энергии расходуемой за год на преодоление гидравлических сопротивлений, кВт/час:

$$\mathcal{E} = \frac{9,81q_{\text{п.м.}} \cdot \sum h}{\eta_{\text{н.у.}}} \cdot T, \quad (8.12)$$

где T – продолжительность работы насосной станции в году, в часах.

$$\eta_{н.у.} = \eta_n \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{пер}, \quad (8.13)$$

где $\eta_{н.у.}$ – коэффициент полезного действия насосной установки (КПД); η_n – КПД насоса; $\eta_{дв}$ – КПД двигателя; $\eta_{пер}$ – КПД передачи, ≈ 1 .

Ежегодные эксплуатационные издержки на 1 погонный метр напорного трубопровода, руб.:

$$П = KE_n + C. \quad (8.14)$$

Экономически наивыгоднейшим будет диаметр, обеспечивающий минимум приведенных затрат. Расчет удобно вести в таблично форме.

Таблица 15 - Определение экономически наивыгоднейшего диаметра напорного трубопровода

d, мм	K, руб	S, руб	V, м/с ²	∑h, м	Э, кВт/час	Э _а , руб	C, руб	KE _н , руб	П, руб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

9 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАСОСОВ И ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Рабочие точки получают на пересечении характеристики $Q-H$ насоса и гидродинамической характеристики трубопровода. Гидродинамическая характеристика трубопровода – это кривая функции $H_{\text{тр}} = f(Q)$,

$$H_{\text{тр}} = H_r + \sum h \quad (9.1)$$

где H_r – геодезический напор, м;

$\sum h$ – суммарные потери напора по длине трубопровода и на преодоление местных сопротивлений. Местные потери можно принять до 20 - 30% от потерь по длине (с учетом дополнительных потерь напора во всасывающем трубопроводе), тогда суммарные потери можно определить по зависимости

$$\sum h = \frac{Q^2}{K^2} \cdot l_{\text{прив}} \quad (9.2)$$

где Q - расходы насоса по его характеристике (от 0 до максимального значения), $\text{м}^3/\text{с}$; $K = \omega \cdot C \sqrt{R}$ - расходная характеристика трубопровода, $\text{м}^3/\text{с}$; ω - площадь живого сечения трубопровода, м^2 ; C - коэффициент Шези, $\text{м}^{0.5}/\text{с}$; R - гидравлический радиус трубопровода, м; d - диаметр трубопровода, м; $l_{\text{прив}} = 1,2 - 1,3 L_{\text{н.м}}$ - приведенная длина напорного трубопровода; $L_{\text{н.м}}$ - длина напорного трубопровода, м.

Коэффициент Шези C определяют по таблице (приложение 4 таблица 3) в зависимости от коэффициента шероховатости стенок трубопровода n и гидравлического радиуса R . Шероховатость n принимается по приложению 4 таблица 4 в зависимости от материала и состояния трубопровода.

Суммарные потери можно также определить по формуле:

$$\sum h = (1,2-1,3) \lambda \frac{L_{\text{н.м}}}{d} \cdot \frac{Q^2}{\omega^2 2g}, \quad (9.3)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (принимается по таблице 3 приложения 2). Расчет удобно вести в табличной форме (таблица 16):

Таблица 16 – Расчет точек для построения графика совместной работы насосов

1		$Q \text{ м}^3/\text{с}$					
2		Q^2					
3	H_r	$\sum h$					
4		НТР					
5		$2,25 \sum h$					
6		НТР					
7		$4 \sum h$					

продолжение таблицы 16

8		НТР						
9		$9\Sigma h$						
10		НТР						

Расходы Q принимаются во всем интервале работы насоса от $Q = 0$ до $Q = Q_{max}$ по его характеристике. Таблица построена применительно к одиночной (графы 3 и 4) и параллельной (графы 5 и 10) работе одинаковых насосов. Графы 5 и 6 дают возможность настроить характеристику трубопровода при параллельной работе трех насосов на два напорных трубопровода, графы 7 и 8 для параллельной работы двух насосов – на один напорный трубопровод и графы 9 и 10 для параллельной работы трех насосов – на один напорный трубопровод. Следует иметь в виду, что за период работы насосной станции H_r изменяется, а следовательно, характеристики трубопровода будут перемещаться на графике параллельно самим себе, изменяя тем самым положение рабочих точек.

Характеристики трубопровода наносятся на вычерченную ранее на миллиметровой бумаге характеристику насоса при всех значениях H_r (рисунок 49).

Используя рисунок 116, проводят анализ режима работы насосной станции. Цель анализа состоит в том, чтобы выявить возможность выполнения ею заданного графика водопотребления, установить предельные нагрузки двигателей и получить данные для водно-энергетического расчета.

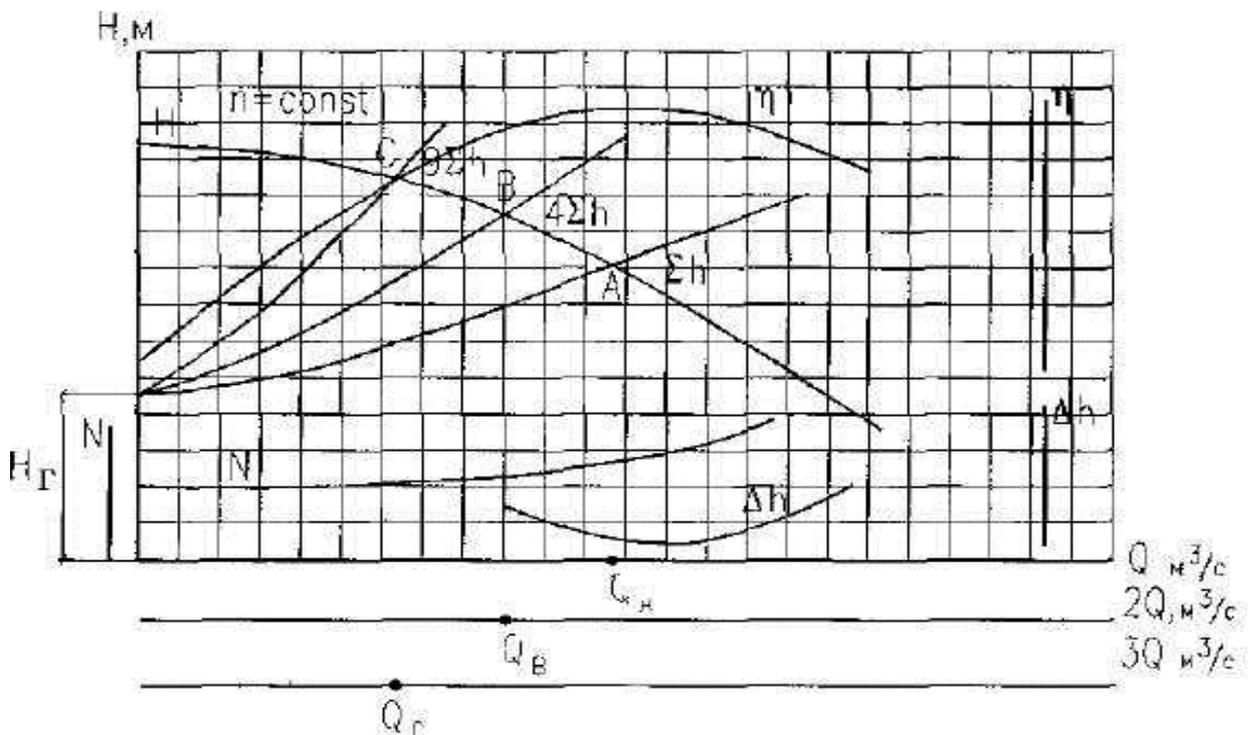


Рисунок 116 – Определение рабочих точек при одиночной и параллельной работе насосов

10 ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Вспомогательное оборудование насосных станций обеспечивает работу основного оборудования и способствует нормальной, безаварийной работе эксплуатационного штата при высокой производительности труда. К нему относятся системы залива основных насосов перед пуском, механическое оборудование (затворы, сороудерживающие решетки, рыбозащитные устройства), подъемно-транспортные механизмы, системы технического водоснабжения, системы дренажа и осушения, системы и устройства маслоснабжения, системы обдува, вентиляции и отопления, системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, канализации, противопожарное оборудование и т. п.

Перед пуском корпус насосов, всасывающий трубопровод и часть внутристанционного напорного трубопровода до задвижки должны быть заполнены водой.

Залив насосов напорного трубопровода возможен при наличии обводной трубы, соединяющей напорный трубопровод с корпусом насоса, и приемного (обратного) клапана на всасывающем трубопроводе (рисунок 117, а). На обводной трубе открывают задвижку и заливают всасывающий трубопровод и насос до тех пор, пока вода не покажется в воздушном кране (рисунок 117, а).

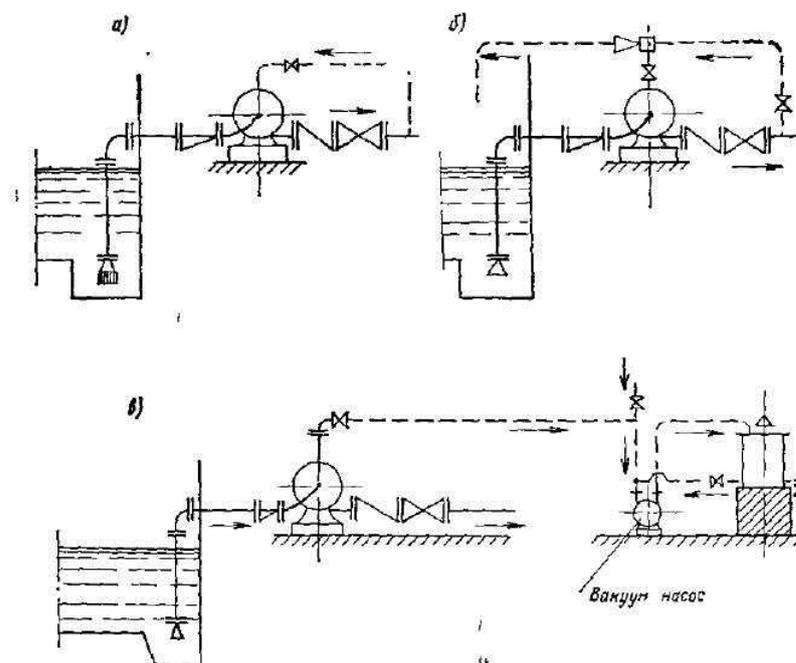


Рисунок 117 – Способы заливки центробежных насосов

Приемные клапаны выбирают таким образом, чтобы суммарное сечение отверстий в клапане было в 2–3 раза больше сечения всасывающего трубопровода. Необходимо отметить, что наличие приемного клапана на входе во всасывающий трубопровод приводит к резкому увеличению гидравличе-

ских сопротивлений и может, кроме того, стать причиной целого ряда эксплуатационных неполадок.

В связи с этим допускается установка приемных клапанов на всасывающих линиях диаметром до 300 мм лишь на насосных станциях 3-го класса надежности действия.

Залив насоса с помощью струйного насоса, создающего вакуум в корпусе насоса и его всасывающей линии, схематично изображен на рисунок 117, б. Струйный насос, работающий от напорного трубопровода или от автономного источника, присоединяется к верхней части корпуса насоса. Вода, пар, выхлопные газы внутреннего сгорания или сжатый воздух поступают с большой скоростью в сопло, захватывая с собой воздух из насоса и создавая таким образом разрежение, и заполняют насос водой. Перед пуском струйного насоса задвижка на напорном трубопроводе основного насоса должна быть полностью закрыта. Как только струйный насос начинает выбрасывать перекачиваемую жидкость, можно включать основной насос.

Залив насосов, установленных выше уровня воды в водоисточнике, с помощью роторных вакуум-насосов рекомендуется применять на насосных станциях любой мощности (рисунок 115 в). На насосных станциях с небольшим числом агрегатов (до четырех) рекомендуется предусматривать один вакуум-насос без резерва, при большем числе агрегатов – два вакуум-насоса (один рабочий, второй – резервный).

Подачу вакуум-насосов, м³/мин, рекомендуется определять по формуле:

$$Q = \frac{H_a \cdot W \cdot K}{T \cdot (H_a - h_e)}, \quad (10.1)$$

где H_a – напор воды, соответствующий атмосферному давлению, м; W – объем всасывающего и напорного (до задвижки) трубопроводов и корпуса насоса, м³;

K – коэффициент запаса, ($K = 1,05-1,1$);

$T = 2-5$ мин – время пуска основного агрегата;

h_e – геометрическая высота всасывания при минимальном уровне воды в нижнем бьефе.

Степень разрежения h_p может быть определена так:

$$h_p = h_e + a + \sum h_{e.n.}, \quad (10.2)$$

где a – расстояние от оси до верха корпуса заливаемого насоса, м;

$\sum_{вн} = 0,1-0,15$ – потери напора во всасывающей линии вакуум-насоса, м.

По полученной подаче и разрежению по (таблица 4, приложения 3) выбирают вакуум-насос.

Дренажные насосные установки предназначены для откачки из зданий насосных станций фильтрационных вод, которые просачиваются через стены

и днище подземной части здания, строительные швы, сальниковые устройства насосов.

Подачу дренажного насоса рекомендуется принимать для насосных станций малой подачи – 1 л/с, средней подачи – 3,5–5 л/с; большой подачи – 8–10 л/с.

Объем дренажного колодца $V_{д.к.}$, (m^3) обычно принимается равным 10–15-ти минутной подаче дренажного насоса

$$V_{д.к.} = (10...15)Q_{д.н.}, \quad (10.3)$$

где $Q_{д.н.}$ – подача дренажного насоса, m^3/c .

Задавшись размерами поперечного сечения колодца, определяют глубину его наполнения (h). Строительная глубина колодца $h_k = h + 0,2$.

Вода к дренажному колодцу подводится дренажными лотками (канавками), которые устраивают в полу вдоль длинной стороны здания станции с уклоном 0,002–0,0005, а пол делается с таким же уклоном к канавке.

Напор дренажного насоса $H_{д.н.}$, (м) определяется по формуле:

$$H_{д.н.} = \nabla НБ_{\max} - \nabla_{д.к.}^{\min} + \sum h_n, \text{ м}, \quad (10.4)$$

где $\nabla НБ_{\min}$ – отметка максимального уровня воды в нижнем бьефе, м;

$\nabla_{д.к.}^{\min}$ – отметка минимального уровня воды в дренажном колодце (принимается на 0,2–0,3 м выше отметки дна колодца, м).

Устанавливают два дренажных насоса (один – рабочий, второй – резервный).

Система осушения предназначена для удаления воды из всасывающих (подводящих) трубопроводов и водоприемных камер основных насосов (см. рисунок 105, 108, 109, 112).

Подачу насосов системы осушения в л/с следует определять по суммарному объему воды, подлежащему удалению из проточной части основного насоса, всасывающей трубы, водозаборной камеры и др.

$$\sum Q_o = \frac{W_o}{T \cdot 3600} + q \cdot l \cdot n \quad (10.5)$$

где W_o – начальный объем воды, подлежащий удалению (осушению), m^3 ;

T – время откачки (для основных насосов подачей до $25 m^3/c$, $T = 2–4$ ч; при подаче $25–100 m^3/c$, $T = 4–8$ ч; при более крупных насосах, $T = 8–16$ ч);

q – фильтрационный расход через неплотности ремонтных затворов (принимается до 1,5 л/с при наличии нерегулируемых резиновых уплотнений) на 1 м длины;

l – периметр затвора, по которому возможна фильтрация, м;

n – число осушаемых объектов.

Напор осушительных насосов, м:

$$H_{o.c} = \nabla HB_{\max} - \nabla_{\min} + \sum h_w, \quad (10.6)$$

где ∇HB_{\max} – максимальная отметка в нижнем бьефе, м;

∇_{\min} – минимальная отметка в сборном колодце (или минимальный уровень откачки);

$\sum h_w$ – гидравлические потери в осушительной насосной установке, м.

Для заглубленных насосных станций, оборудованных насосами подачи до 3 м³/с, следует принимать совмещенные дренажно-осушительные системы, при более крупных насосах – отдельные системы дренажа и осушения.

Для объединенной дренажно-осушительной системы подача насосов откачки должна быть не менее

$$Q = \sum Q_0 + Q_{o.n.} \quad (10.7)$$

Систему осушения обычно обслуживают не менее двух насосов (без резервного), а дренажно-осушительную систему – не менее трех насосов (один из них резервный) с большим напором из определенных ранее для дренажной и осушительной систем. Для дренажных и осушительных систем применяют самовсасывающие насосы или насосы типов «К» и «Д». Дренажные и осушительные системы следует устанавливать на незатопляемых отметках, или в специальных незатопляемых отсеках, или на высоких фундаментах.

На насосных станциях применяют в большинстве плоские затворы различных конструкций. По назначению они подразделяются на основные, ремонтные и аварийные.

Основные затворы предназначены для регулирования уровней и расходов воды, ремонтные – для временного перекрытия входных отверстий при ремонтах основных насосов и основных затворов, аварийные затворы применяют при авариях основных затворов, основных насосов и напорного трубопровода. Ремонтно-аварийные затворы совмещают функции аварийных и ремонтных затворов.

Сорудерживающие решетки устанавливаются на входных отверстиях основных насосов. Решетки оборудуются решеткоочистительными машинами, механическими граблями с ручным приводом.

Подъемно-транспортное оборудование машинных залов насосных станций выбирают в зависимости от габаритов зданий и массы монтируемых агрегатов по таблицам 5 – 7 приложения 3. При массе груза до 1 т рекомендуется устанавливать неподвижные балки с таями, при массе груза до 5 т – краны подвесные ручные, более 5 т – краны мостовые ручные. При подъеме груза на высоту более 18 м следует применять краны с электроприводом. Грузоподъемность подъемно-транспортного оборудования следует прини-

мать по массе наиболее тяжелой монтажной единицы с учетом 10%-ной надбавки.

При более детальном проектировании насосных станций следует предусматривать систему технического водоснабжения для охлаждения и смазки технологического оборудования, систему маслоснабжения, систему снабжения сжатым воздухом, хозяйственно-питьевую систему и канализацию, вентиляцию, противопожарную систему.

Контрольно-измерительные приборы способствуют нормальной эксплуатации сооружений и оборудования насосной станции. Для контроля основных технологических параметров насосов (напора, подачи, вакуума во всасывающей трубе, уровней в водоприемной камере и водовыпускном сооружении) применяют манометры, вакуумметры, моновакуумметры пружинные, дифференциальные манометры, расходомеры, уровнемеры и т. п.

В электрифицированных насосных станциях, кроме того, устраивается контрольно-измерительная арматура для определения напряжения, силы тока, мощности, количества расходуемой электроэнергии, коэффициента мощности. С помощью датчиков контролируются уровни и температура масла в подшипниках двигателей и насосов.

11 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

11.1 Условия применения различных типов зданий насосных станций

При выборе типа зданий насосной станции можно руководствоваться следующими рекомендациями:

а) здания насосных станций незаглубленного типа применяются при производительности одного насоса не более $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и оборудуются насосами с горизонтальным валом и положительной высотой всасывания. Колебания уровней воды в нижнем бьефе должны быть в пределах допустимой геометрической высоты всасывания;

б) насосные станции со зданием камерного типа «с сухой камерой» применяются при подаче одного насоса менее $2 \text{ м}^3/\text{с}$ (насосы типа «В» до $4 \text{ м}^3/\text{с}$). В этом случае используются насосы любой конструкции с любой высотой всасывания. Колебания уровней воды в нижнем бьефе средние, не более 8 м;

г) «блочный» тип здания насосной станции применяют при использовании насосов типов «ОВ», «ОПВ» и «В» с вертикальным расположением вала, отрицательной высотой всасывания, при любых колебаниях уровней воды в нижнем бьефе;

д) «блочный» тип здания насосной станции «с камерным подводом» применяется при использовании насосов «ОВ» и «ОПВ» модификации К с вертикальным расположением вала при отрицательной высоте всасывания.

Таблица 17 – Факторы, определяющие тип здания насосной станции

Фактор	Тип здания насосной станции				
	«Блочный»	«Блочный» с камерным подводом	С сухой камерой	С мокрой камерой и сухим насосным помещением	Незаглубленный
Расход одного насоса, $\text{м}^3/\text{с}$	Более 2,0	Менее 4	Менее 2,0	Менее 2,0	Менее 1,5
Тип насоса	В, О, ОП	О, ОП	Любой	Любой	Центробежные с горизонтальным валом
Геометрическая высота всасывания	Отрицательная	Отрицательная	Любая	Отрицательная	Положительная
Колебания уровня воды в нижнем бьефе	Любые	Любые	Любые	До 8 м	В пределах допустимой геометрической высоты всасывания

Схема расположения агрегатов в здании насосной станции целиком и полностью определяется типом, размерами и числом основных насосов, а также формой машинного здания в плане.

Применительно к центробежным насосам с горизонтальным валом, устанавливаемым в машинном здании прямоугольной формы, наибольшее распространение получили следующие основные схемы расположения агрегатов (рисунок 118).

- а) однорядное расположение агрегатов параллельно продольной оси станции;
- б) однорядное расположение агрегатов перпендикулярно продольной оси станции;
- в) однорядное расположение агрегатов под углом к продольной оси станции;
- г) двухрядное расположение агрегатов;
- д) двухрядное расположение агрегатов в шахматном порядке.

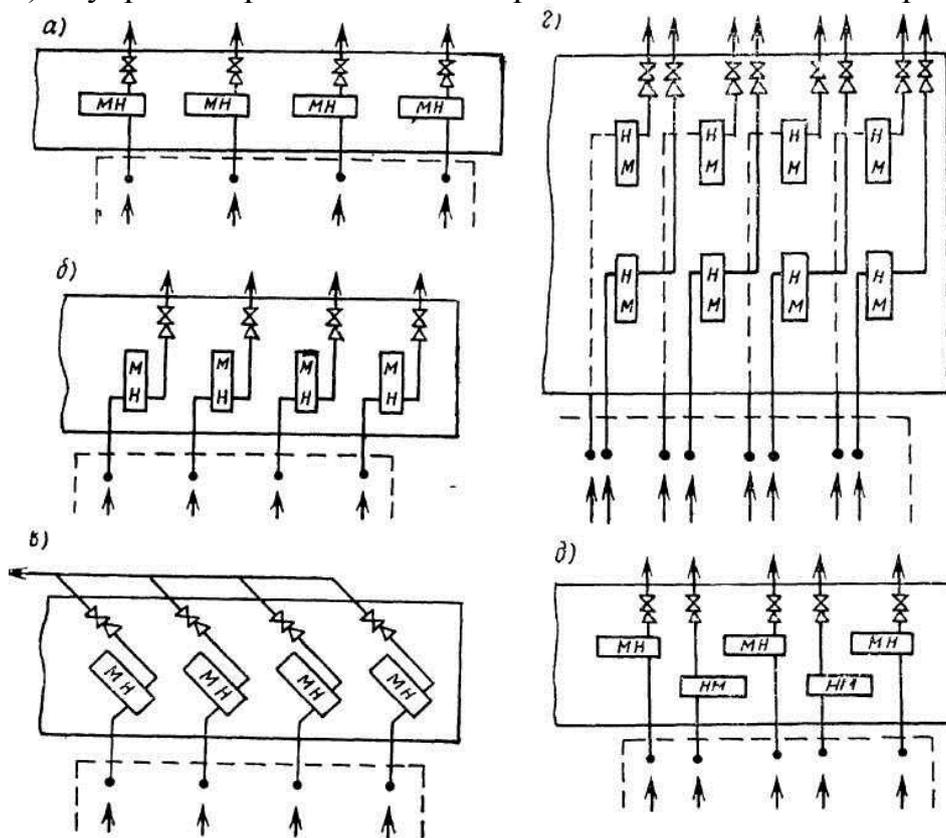


Рисунок 118 – Схемы расположения агрегатов с горизонтальными центробежными насосами

Достоинствами однорядного расположения агрегатов параллельно продольной оси станции (см. рисунок 118, а.) являются компактность размещения оборудования и небольшая ширина машинного здания. Особенно выгодна эта схема при применении двусторонних насосов, у которых всасывающая и напорная линии располагаются в плоскости, перпендикулярной оси насоса. Недостатком является большая длина здания насосной станции, поэтому применение этой схемы целесообразно при небольшом числе агрегатов.

К достоинствам второй схемы однорядного расположения агрегатов (см. рисунок 118, б) следует отнести: компактность размещения оборудования, как и в первой схеме, и значительно меньшую длину машинного здания.

Особые преимущества имеет эта схема при применении насосов консольного типа, у которых всасывающая линия подходит к торцу насоса. Однако ширина машинного здания насосной станции при такой схеме расположения несколько увеличивается.

При однорядном расположении насосных агрегатов под углом к продольной оси здания станции (см. рисунок 118, в) в известной мере объединяются достоинства первых двух схем. За счет небольшого, по сравнению со второй схемой, увеличения длины здания можно существенно уменьшить его ширину.

Схема двухрядного расположения агрегатов (см. рисунок 118, г) находит применение при большом числе агрегатов различного назначения и, следовательно, разных размеров. При таком расположении агрегатов значительно увеличивается пролет здания и усложняется коммуникация трубопроводов.

Двухрядное расположение агрегатов в шахматном порядке (см. рисунок 118, д) применяется при большом числе крупных агрегатов. Размещение внутристанционных трубопроводов по этой схеме более компактно, чем по предыдущей. Кроме того, значительно сокращается площадь машинного зала, если электродвигатели в одном ряду установить с одной стороны от насосов, а в другом – с другой стороны, что возможно лишь при разном направлении вращения рабочих колес насосов.

Насосы с торцовым разъемом корпуса, например «К», «ЦНС», у которых вал с рабочим колесом при демонтаже выдвигается наружу по направлению оси агрегата, следует устанавливать на расстоянии от стены или других агрегатов не менее чем длина вала насоса плюс 0,25 м (но не менее 0,8 м). Такое же расстояние должно быть оставлено и для устройства демонтажа электродвигателей с горизонтальным валом. Проход между агрегатами и электрораспределительным щитом должен быть не менее 2 м.

Круглые в плане машинные здания типичны для заглубленных насосных станций. На таких станциях, совмещенных с водоприемником, наиболее целесообразным оказывается кольцевое расположение агрегатов. Особенности компоновки внутристанционных коммуникаций определяются схемой подвода воды к насосам изнутри (рисунок 119, а) или извне (рисунок 119, б) здания. При раздельном расположении водозабора и здания станции насосные агрегаты могут быть расположены в один или несколько рядов (рисунок 119, в), уступом (рисунок 119, г) или радиально (рисунок 119, д).

В силу больших размеров и особенностей конструкции осевые насосы марок «О», «ОПВ», «ОПГ» и вертикальные центробежные насосы марок «В» располагаются обычно в здании станции в один ряд вдоль водозаборного фронта насосной станции.

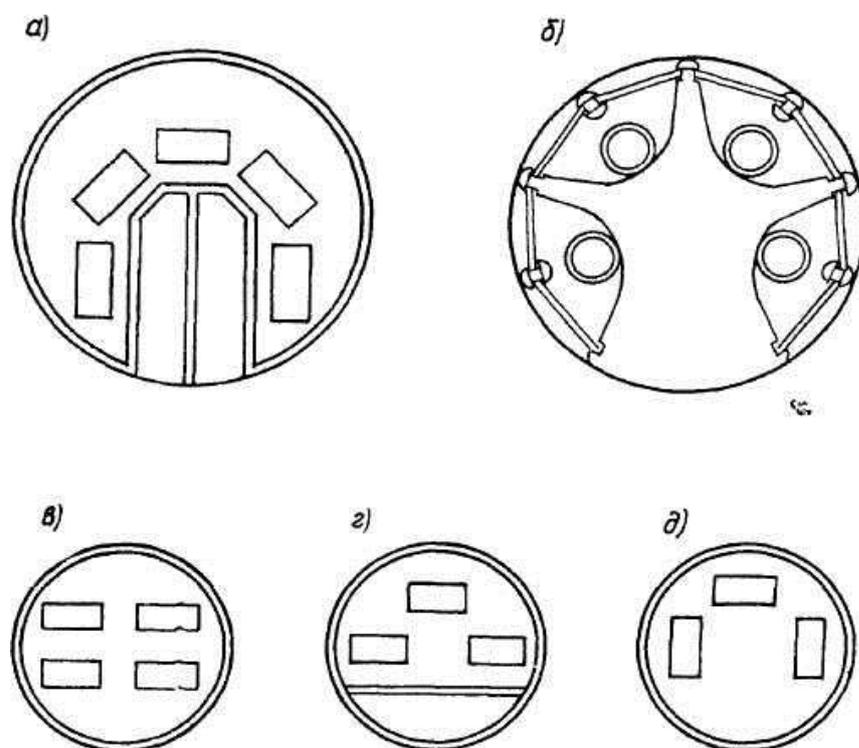


Рисунок 119 – Расположение насосных агрегатов в круглых машинных зданиях

Для уменьшения ширины подземной части здания насосной станции при наличии на пристанционных напорных трубопроводах большого числа арматуры (что характерно для насосов типа «В») можно применить косое соединение их с внешними напорными трубопроводами и коллектором или расположить арматуру на вертикальном участке внутристанционного напорного трубопровода.

При определении размеров машинного здания насосной станции, оборудованной вертикальными насосами, надо учитывать, что над насосным помещением находится зал электродвигателей, размеры которого определяются габаритами двигателей и расстоянием между ними, расположением люков в полу зала, размещением электрооборудования и габаритами крана. Поэтому линейные размеры подземной части необходимо увязывать с линейными размерами верхнего помещения.

В зданиях насосных станций, оборудованных крупными насосными агрегатами, должно быть предусмотрено место для так называемой монтажной площадки, на которой ремонтируют насосы и электродвигатели. Монтажную площадку обычно устраивают в торце здания на уровне поверхности земли.

Вспомогательные насосы (дренажные, осушительные, вакуум-насосы) обычно располагают в свободных местах машинного зала таким образом, чтобы это не вызывало увеличения размеров здания. Для таких насосов проход может быть оставлен только с одной стороны. Вакуум-насосы ввиду их малых размеров и периодичности работы могут быть установлены даже на кронштейнах на стенах машинного зала.

Щиты и пульты управления насосными агрегатами и задвижками располагают, как правило, на балконах или на площадках вдоль стен. Размеры машинного здания станции в плане определяются после выбора схемы расположения насосных агрегатов и компоновки внутростанционных трубопроводов с учетом рекомендуемых расстояний между стенами зданий и элементами оборудования.

11.2 Здания насосных станций незаглубленного типа

Такие станции обычно оборудованы насосами типов «Д», «К», «ЦНС». Сначала производят определение плановых и высотных размеров здания насосных станций (рисунок 43).

Расчетный минимальный пролет здания насосной станции определится по формуле

$$L_{\text{пр.расч.}} = 2\delta + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 + l_9 ; \quad (11.1)$$

где δ – привязка несущих стен к продольным осям здания (рисунок 120);

l_1 – расстояние, необходимое для ремонта сварных швов конфузора и сборки фланцевого соединения, $l_1 = 0,2-0,3$ м;

l_2 – длина цилиндрического патрубка с фланцем, $l_2 = 0,15-0,2$ м;

l_3, l_4 – габаритные размеры насоса от всасывающего до напорного патрубка, м;

l_5 – длина диффузора плюс $0,3-0,35$ м – на цилиндрическую обечайку с сальником и фланцем;

l_6 – строительная длина обратного клапана;

$l_7 = 0,2-0,5$ м;

l_8 – строительная длина задвижки, м;

l_9 – расстояние, определяемое шириной служебного мостика (не менее $0,8$ м) или из условия минимального приближения фланца к стене ($0,3-0,4$ м).

Значение суммы l_1 и l_2 проверяют по условию прохода между стеной и электродвигателем, которое должно быть не менее 1 м при напряжении 1000 В и $1,2$ м при напряжении более 1000 В. Полученный минимальный расчетный пролет здания насосной станции округляют в большую сторону до ближайшего унифицированного пролета промышленных зданий. Пролеты назначают равными $6, 9, 12, 15, 18, 21, 24$ м при шаге колонн 6 и 12 м. Пролет здания увязывают с пролетом кран-балки или мостового крана.

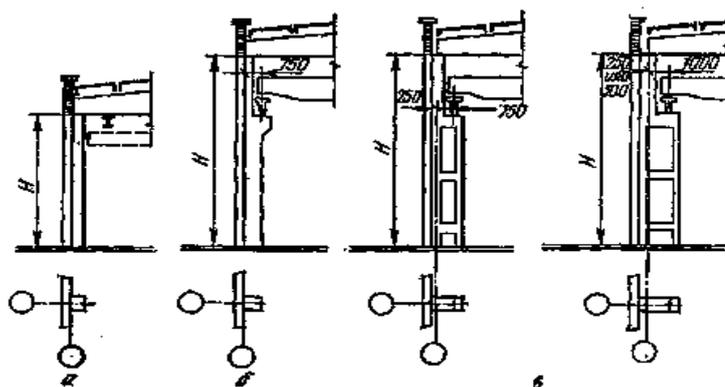


Рисунок 120 – Схема привязки колонн и стен к продольным разбивочным осям

На рисунке 120 изображены следующие схемы привязки колонн и стен к продольным разбивочным осям: а) «нулевая» в зданиях, оборудованных кран-балками грузоподъемностью 5т (шаг колонн 6 или 12 м); б) «нулевая» в зданиях с мостовыми кранами грузоподъемностью 30 т (шаг колонн 6 м при $H < 16,2$ м); в) смещение на 250 или 500 мм наружу в зданиях с мостовыми кранами грузоподъемностью 50 или 75 т с шагом колонн 6 м при $H = 16,2$ и 18 м, а также с шагом 12 м при $H = 8,4 - 18$ м.

Корректировку ширины пролета здания станции производят изменением величины l_1 и l_0 (рисунок 121).

Расчетная высота здания станции может быть определена по одному из двух уравнений:

$$H_{\text{расч.}} = h_5 + h_6 + h_7 + h_8 + h_9, \quad (11.2)$$

$$H_{\text{расч.}} = h_{10} + h_{11} + h_6 + h_7 + h_8 + h_9, \quad (11.3)$$

где h_5 – расстояние от чистого пола до низа проносимой детали или узла (0,5–0,7 м – при гибких стропях и 0,25–0,35 м при жестком креплении с учетом высоты нижерасположенного оборудования);

h_6 – высота проносимого оборудования с учетом высоты крепления (высоту гибких строп определяют по углу между стропами $\alpha = 60^\circ$), м;

h_7 – высота подвесного крана при стянутой тали (от крюка до низа монорельса), принимаемая по каталогу кранов, м;

h_8 – высота монорельса, принимаемая по каталогу кранов, м;

h_9 – расстояние от верха монорельса до низа несущей балки покрытия от 0 до 0,3 м в зависимости от крепления конструкции, м;

h_{10} – высота транспортной платформы автомобиля с учетом толщины прокладок под оборудование (0,1–0,2 м); ЗИЛ-130 – 2,055 + 0,1–0,2 м; МАЗ-500 – 1,39 + 0,1–0,2 м; КамАЗ-550 – 1,37 + 0,1–0,2 м; ГАЗ-53А – 1,0 0,1–0,2 м;

h_{11} – запас на пронос оборудования над платформой, равный 0,3 м.

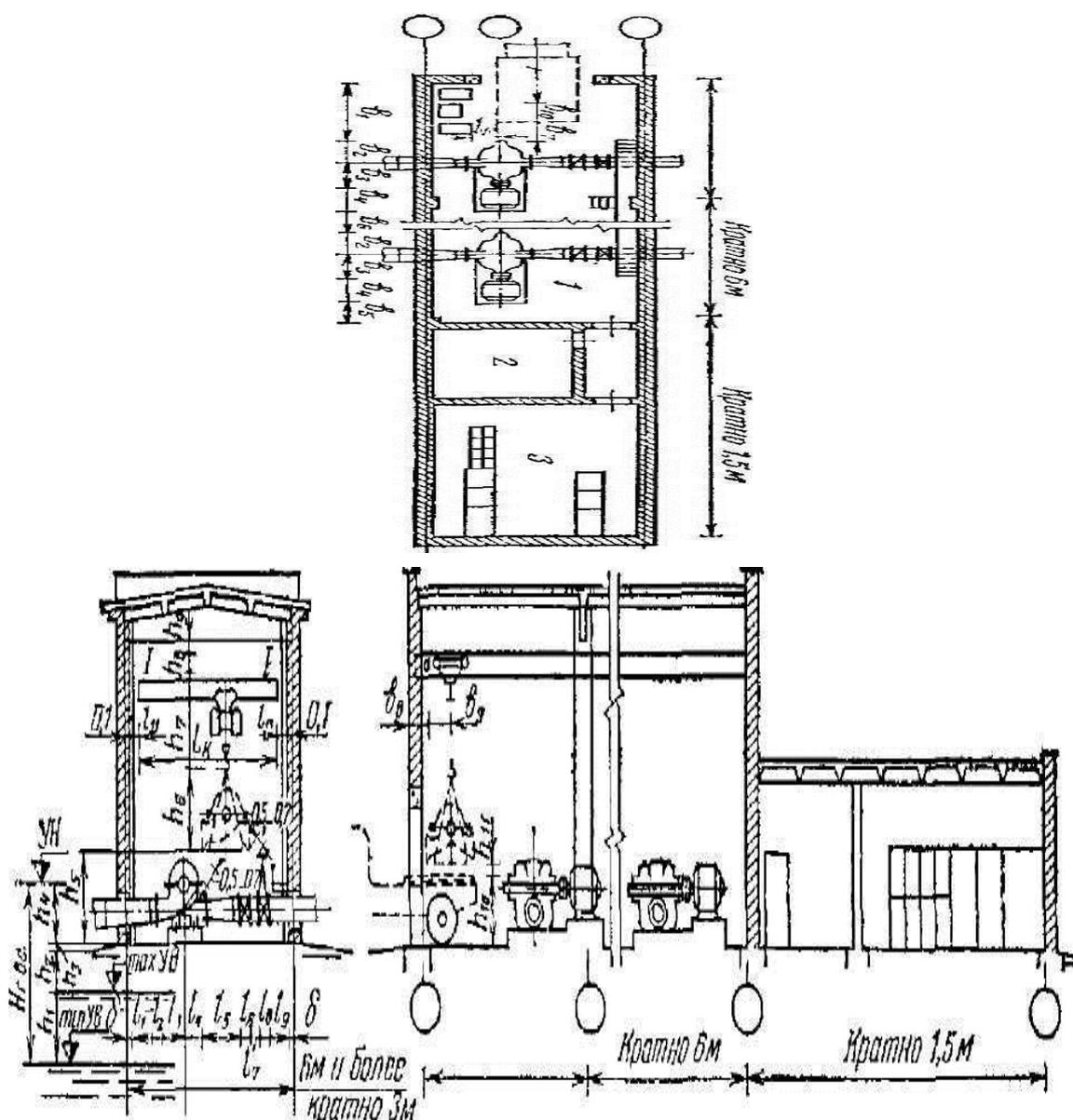


Рисунок 121 – Схема здания насосной станции наземного типа с насосами типа «Д», «К» и «ЦНС»

1 – машинный зал; 2 – комната дежурных; 3 – РУ напряжением 0,4 кВ.

Высоту здания насосной станции до низа несущей балки перекрытия принимают по большей величине, полученной из двух уравнений, и округляют до ближайшей стандартной высоты: 3; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6 м; в зданиях с мостовыми кранами: 8,4; 9,6; 10,8; 12,6; 14,4; 16,2; 18 м. Длина машинного зала:

$$B_{\text{расч}} = v_1 + v_5 + v_6(n-1) + (v_2 + v_3 + v_4)n \quad (11.4)$$

где v_1 – длина монтажной площадки, равная полуторному расстоянию между осями агрегатов; v_2 и v_3 – габаритные размеры насоса по каталогу; v_4 – габариты электродвигателя (по каталогу); v_5 – расстояние между торцом оборудования и стеной, $v_5 = 1,0$ м; v_6 – расстояние между торцами агрегатов, $v_6 = 1-1,2$

м; n – число агрегатов.

Полученную длину машинного зала уточняют с учетом расположения вспомогательного оборудования насосной станции (систем залива основных насосов, дренажных насосов и т. д.). Затем принимают окончательную длину здания B , округляя расчетную величину в большую сторону до значения, кратного 6 м для каркасного типа сооружения, и до значения, кратного 1,5 м для бескаркасных сооружений.

11.3 Здания насосных станций камерного типа

При однорядном и двухрядном расположении основных агрегатов расчетный пролет здания $l_{\text{пр.расч.}}$ и длину машинного зала $B_{\text{расч}}$ определяют аналогично ранее рассмотренному примеру для незаглубленных станций как сумму длин, показанных на рисунок 106. При двухрядной компоновке основных агрегатов, которая рекомендуется при количестве их на станции более четырех, необходимо определить расстояние между агрегатами в осях l (см. рисунок 106):

$$l = 2l_{11} + l_{12}, \quad (11.5)$$

где l_{11} – половина ширины фундамента под электродвигатель. м;

l_{12} – расстояние между параллельно стоящим оборудованием (в данном случае это двигатели); при выступающих из пола фундаментах расстояние l_{12} берется между ними. l_{12} принимают не менее 1 м при напряжении электродвигателей до 1000 В и 1,2 – при напряжении более 1000 В.

Расчетная высота здания насосной станции камерного типа равна сумме глубины подземной части здания и высоты верхнего строения.

Расчетная глубина подземной (камерной) части здания:

$$H_{\text{расч}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (11.6)$$

где h_1 – разность между \max и \min уровнями воды в источнике;

h_2 – превышение пристанционной площадки над \max уровнем воды;

h_3 – расстояние от минимального уровня воды в нижнем бьефе до оси рабочего колеса. м;

h_4 – толщина плиты, определяется расчетом на всплытие, в курсовом проекте принимается $h_4 = 0,1H_{\text{ст}}$,

$H_{\text{ст}}$ – максимальный напор воды на конструкцию в м, но не менее 0,4 м;

h_5 – высота от оси агрегата до фундаментной плиты, равная сумме высот от оси агрегата до низа трубопровода плюс 0,15–0,25 м.

Длину монтажной площадки принимают не более 6 м. Как исключение при соответствующем обосновании допускается применение двух монтажных площадок (см. рисунок 106).

Вспомогательное оборудование может располагаться под монтажной площадкой.

11.4 Здания насосных станций блочного типа с насосами «ОВ», «ОПВ» и «В»

Вертикальные осевые и центробежные насосы, как правило, устанавливают в один ряд. Зная уровни в нижнем бьефе и используя схемы установки осевых и вертикальных центробежных насосов, имеющиеся в каталоге, вычерчивают эскиз насоса, двигателя, подводящей трубы или камерного подвода.

В высотном отношении отметка оси рабочего колеса $\nabla_{\text{рк}}$ должна находиться на величину h_n ниже отметки минимального уровня воды в нижнем бьефе.

Высота машинного здания насосной станции представляет собой сумму высот подземной части и верхнего строения.

Высота подземной части здания насосной станции заглубленного типа зависит главным образом от величины $\pm h_n$ – высоты установки насоса по отношению к минимальному уровню воды в источнике или в водоприемной камере, определяемого, в свою очередь, допустимой геометрической высотой всасывания.

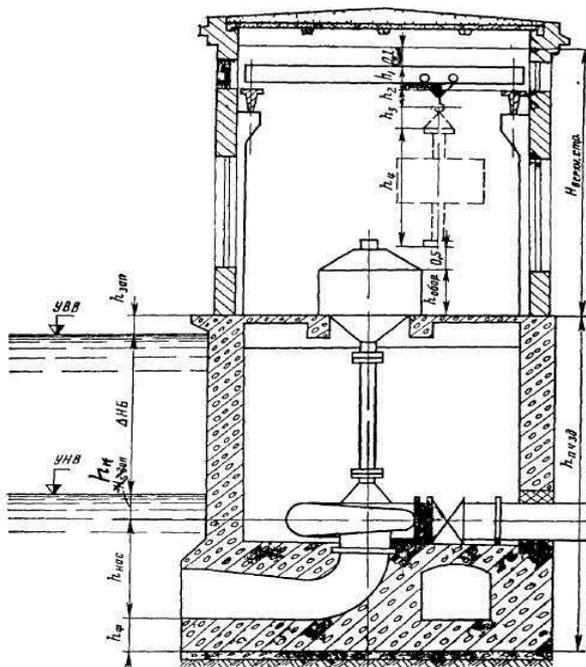


Рисунок 122 – К определению высоты здания насосной станции

В общем случае (рисунок 122) она может быть определена по формуле

$$h_{\text{п.ч.}} \geq h_{\text{ф}} + h_{\text{нас.}} \pm h_n + \Delta\text{НБ} + h_{\text{зан.}}, \quad (11.7)$$

где $h_{\text{ф}}$ – толщина фундаментной плиты, определяемая статическим расчетом (обычно 0,8– 1,5 м);

$h_{\text{нас}}$ – высота насоса от верха фундаментной плиты до оси рабочего колеса. м;

h_n – допустимая геометрическая высота всасывания (знак плюс принимается при установке насоса с подпором). м;

$\Delta НБ$ – максимальная амплитуда колебаний уровней воды в источнике (водоприемной камере). м;

$h_{зап}$ – необходимое превышение отметки пола верхнего строения над максимальным уровнем воды в источнике или в водоприемной камере, м.

Мощные приводные электродвигатели вертикальных насосов серий «В», «О» и «ОП» для предотвращения их затопления при авариях обычно устанавливаются выше максимального уровня воды в источнике или в водоприемной камере. Для этого применяют специальные валы-проставки длиной $h = 2 \div 5$ м, если длины вала - проставки не хватает, то применяют длинный вал с одним или несколькими промежуточными подшипниками (этажами).

Это приводит к необходимости сооружения подводной части машинного здания большой высоты.

Высота верхнего строения, не оборудованного подъемными механизмами, в зданиях насосных станций незаглубленного типа должна быть не менее 3 м. В зданиях станций, оборудованных стационарными грузоподъемными механизмами, высоту верхнего строения определяют расчетом.

Помещение, оборудованное подвесной кран-балкой (рисунок 121, а), должно иметь высоту:

$$H_{\text{верхн.стр.}} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0.5 \quad (11.8)$$

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 (принимаемая равной 0,5–1,0 м);

h_4 – высота груза. м;

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

Если при транспортировании груза на монтажную площадку его необходимо пронести над установленным оборудованием (рисунок 121, б), то в формулу вводится дополнительно высота этого оборудования $h_{\text{обор.}}$.

Верхнее строение насосной станции, оборудованной мостовым краном (см. рисунок 121, б), должно иметь высоту

$$H_{\text{верхн.стр.}} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0.5 + h_{\text{обор.}} + 0.1, \quad (11.9)$$

где h_1 – высота крана над головкой подкранового рельса. м;

h_2 – минимальная высота от крюка крана до головки рельса. м;

0,1 – минимальное расстояние по высоте от низа перекрытия до верха балки или грузовой тележки крана. м.

Остальные обозначения те же, что и ранее.

Если груз (насос, электродвигатель и т. д.) доставляется непосредственно на монтажную площадку насосной станции, то для возможности его погрузки и выгрузки высота верхнего строения, подсчитанная по формулам, должна быть увеличена на высоту $h_{\text{трансп.}}$ от пола до грузовой платформы, с учетом деревянных прокладок 0,1–0,2 м.

Окончательные размеры машинного здания насосной станции, как в плане, так и по высоте устанавливаются технико-экономическими расчетами и обязательно увязываются с унифицированными размерами конструкций производственных помещений, предусмотренными СНиП.

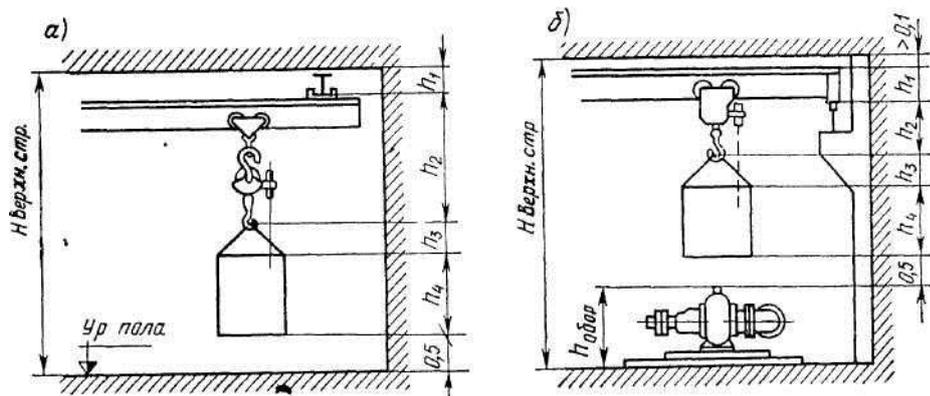


Рисунок 123 – К определению высоты верхнего строения зданий насосных станций

Расчетный пролет насосного помещения при использовании насосов «ОВ» и «ОПВ» (рисунок 123) получают по формуле:

$$l_{\text{расч.}} = l_1 + 2l_2 + l_3 + l_4, \quad (11.10)$$

где l_1 – расстояние между внутренними гранями фундаментов под насос, м;

l_2 – фундамента (значения l_1 и l_2 приведены в каталогах насосов.), м;

l_3 – проход между фундаментом и стеной, принимаются обычно равным 0,8 м;

l_4 – проход вдоль здания принимается из условия размещения вспомогательного оборудования и устройств, м. Окончательный пролет здания увязывают с выбранным ближайшим пролетом верхнего строения насосной станции. Размеры отдельных элементов здания, приведенного на рисунок 122, следующие:

l_5 – 0,1 $H_{\text{ст}}$, но не менее 0,4 м;

l_6 – определяется габаритами козлового крана и длиной всасывающей трубы, м.

l_7 – ширина паза, м;

l_8 – расстояние между двумя пазами $l_8 = 2d + 0,1H'_{\text{ст}}$ ($H_{\text{ст}}$ – напор на забральную стенку, м);

l_9 – длина закругленной части быка, $l_9 = 0,5v_2 + d$ (v_2 – толщина быка);

l_{10} – расстояние, необходимое для размещения направляющих пазов решетко-очистительной машины 0,2–0,4 м;

l_{11} – расстояние от оси насоса до опоры, не более $2d_{\text{рк}}$, где $d_{\text{рк}}$ – диаметр рабочего колеса насоса;

l_{12} – 1,0–1,2 м;

l_{13} – для средних станций не менее 0,35 м, для крупных – 0,6 м;

l_{14} – пролет крана, м;

l_{15} – ширина служебного мостика, пешеходного – не менее 1,5 м, автомобильного не менее 4,5 м.

Габариты вертикальных пазов для установки плоских затворов или решеток принимаются по таблице 10.

Таблица 18 – Габариты вертикальных пазов, м

Элементы конструкций	Пролет затвора или решетки, м						
	2	4	6	8	10	15	20
Габариты, м							
Глубина паза, м	0,25	0,4	0,5	0,6	0,65	0,75	0,9
Ширина паза, м	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5
Ширина штрабы для установки одной ветви пазовой конструкции	0,12	0,18	0,2	0,22	0,25	0,3	0,4

Высота подземной части здания насосной станции

$$H_{\text{п}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5, \quad (11.11)$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – определяются согласно схемам установки насосов (см. каталоги);

$$h_5 = 0,1H_{\text{ст}},$$

Высота верхнего строения

$$H_{\text{в.с.}} = h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{12} + h_{13} + h_{14}, \quad (11.12)$$

где h_9 – высота статора электродвигателя;

h_{10} – запас по высоте, равный 0,3 м;

h_{11} – высота вала насоса без рабочего колеса, м;

h_{12} – высота жесткого крепления вала при транспортировке 0,25 – 0,35 м;

h_{13} – расстояние от крюка до верха подкранового пути;

h_{14} – высота крана (см. приложение 3 – таблица 6,7). Окончательная высота надземного строения округляется согласно рекомендациям, м.

Расчетная длина здания насосной станции определяется так:

$$L = n_1 v_1 + (n_1 + 1) v_2 + n_2 v_3 + 2 v_9, \quad (11.13)$$

где n_1 – число основных агрегатов;

v_1 – ширина всасывающих труб (камерных подводов), м;

n_2 – число пар разменных агрегатов (если они есть), суммарная ширина входных отверстий которых равна v_3 ; остальные обозначения показаны на рисунок 122.

Полученную длину округляют в большую сторону до величины, кратной 6 м. При длине здания более 18 м необходимо предусмотреть две лестничные клетки.

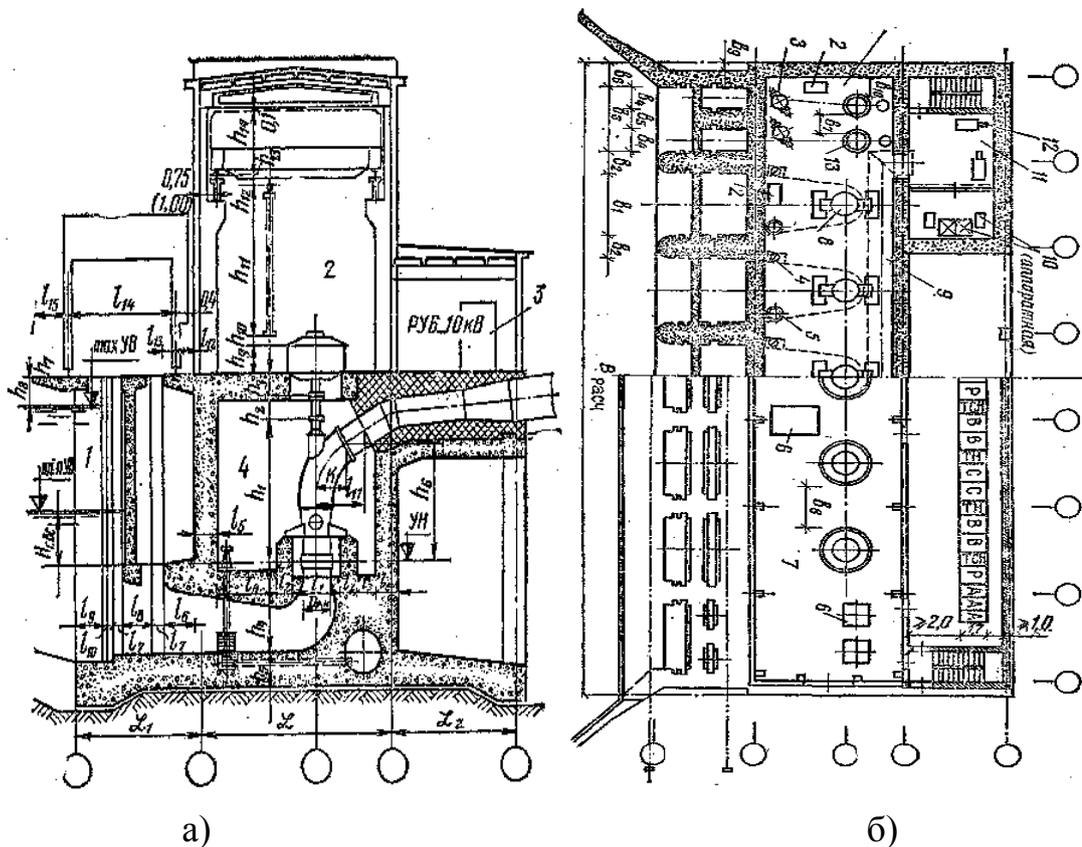


Рисунок 124 – Схема здания насосной станции блочного типа с насосами «ОПВ». Размеры даны в метрах.

а – разрез: 1 – водоприемник; 2 – машинный зал; 3 – РУ напряжением 6 кВ; 4 – насосное помещение; б – вид сверху: 1 – насосные помещения; 2 – насосы ТВС; 3 – фильтры ТВС; 4 – колонка управления тарельчатым клапаном; 5 – люк во всасывающую трубу; б – монтажный люк; 7 – машинный зал; 8 – основной насос; 9 – сборная дренажная потерна; 10 – операционные маслобаки и маслонасосы; 11 – дренажный колодез (расположен под перекрытием); 12 – дренажные насосы; 13 – разменный насос моноблочного использования

Плановые и высотные размеры здания насосной станции с насосами типа «В» определяются аналогично ранее рассмотренным примерам, это хорошо видно из рисунка 125. При расчете подземной части здания размер L_{II} определяется размерами подводящей трубы или размерами помещения для вспомогательного оборудования или разменных агрегатов, если они есть.

Пролет помещения дисковых затворов:

$$l_{22} = l_{23} + l_{24} + l_{25} + l_{26} + l_{27} + l_{28} - l_3, \quad (11.14)$$

где l_{23} – габаритный размер насоса (см. каталог);

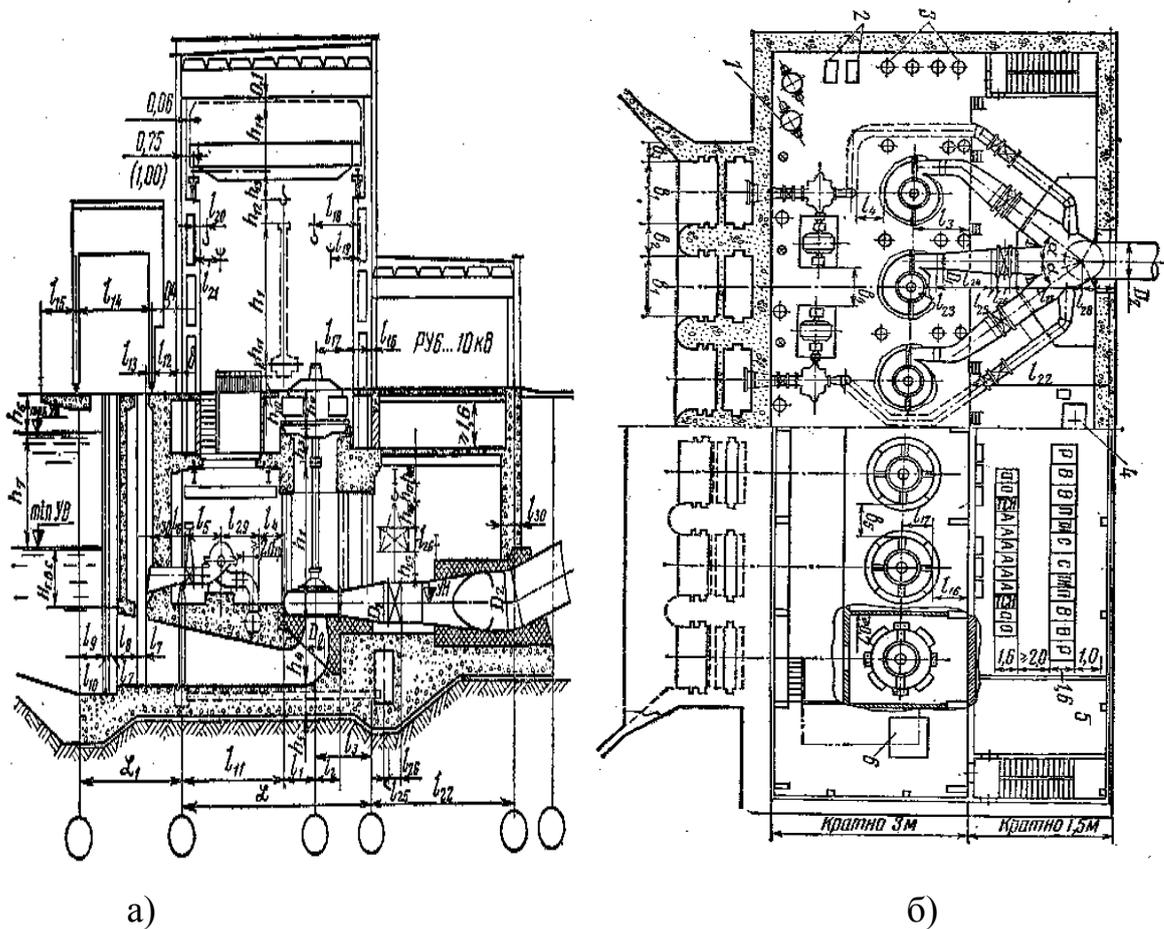
$l_{24} + l_{27}$ – суммарная длина двух диффузоров при величине центрального угла $\alpha = 8^\circ$, т. е. $l_{24} + l_{27} = 7(d_2 - d_1)$;

l_{25} – длина компенсатора 0,3–0,5 м;

l_{26} – габарит затвора;

l_{28} – привязка к оси здания, м;

l_3 – суммарная длина габарита двигателя l_{17} и расстояния от двигателя до стены здания $l_{16} = 1–1,2$ м. Изменяя привязку и отчасти размеры l_{24} , l_{25} , получаем стандартный размер здания. Диаметры d_1 и d_2 получают в зависимости от диаметра дискового затвора, диаметра напорного патрубка насоса и диаметра общего трубопровода.



а – разрез, б – вид сверху: 1 – фильтр; 2 – насосы ТВС; 3 – насосы осушения и дренажа; 4 – масляные баки и масляный насос; 5 – вентиляционная камера; 6 – люк

Рисунок 125 - Схема здания насосной станции блочного типа с насосами типа «В»

Варьируя привязкой к оси L_{28} и от части длинами L_{24} и L_{27} , можно получить стандартный пролет помещения дисковых затворов.

Высоту наземной и подземной частей здания определяют, руководствуясь схемами изображенными на рисунок 124 и 125, последовательным суммированием вертикальных размеров отдельных узлов и конструкций.

11.5 Служебные помещения насосных станций.

Состав служебных помещений зависит от подачи, типа здания насосной станции, вида основного гидромеханического и энергетического оборудования, степени автоматизации технологических процессов и т. д.

В курсовом проекте состав и размеры вспомогательных помещений можно определить, руководствуясь таблицей 19.

Таблица 19 – Состав служебных помещений насосной станции

Помещение	Высота, м	Ориентировочная площадь помещений станции м ²		
		средней	крупной	уникальной
Кабинет начальника станции	3,0	12	15	20
Общая комната	3,0	15	20	25
Служебное помещение (комната для рабочих, ИТР, технический архив, библиотека и т.д.)	3,0		30	40
Узел связи	3,0	–	20	25
Распределительное устройство напряжением 6–10кВ	3,6–4,0		По проекту	
Кабельный полуэтаж	2,5		По проекту	
Электротехническая лаборатория	3,0	–	30–40	40–60
Механическая мастерская	3,0	–	25–30	30–40
Склад электротехнической аппаратуры	3,0	7	15	25
Склад гидроцефа	3,0	–	20	35
Кислотная	3,0–3,6	–	20	35
Аккумуляторная	3,0–3,6	–	20–40	70
Гардеробная	2,5–3,0	–	6	2*–9
Душевая	2,5–3,0	–	2*–4	2*–6
Туалет	2,5–3,0	3	2*–3	2*–3

*– количество помещений

В зданиях насосных станций с низковольтными электродвигателями мощностью до 250 кВт, предусматривают, как правило, одно помещение для распределительных устройств (РУ) напряжением 0,4 кВ, а при высоковольтных двигателях мощностью более 250 кВт – два и более; для РУ напряжением – 6–10 кВ и 0,4 кВ предусматриваются щиты управления, аккумуляторная, кислотная, трансформаторы собственных нужд и т. д.

Планы и размеры служебных помещений, в том числе и РУ, приведены на рисунок 126 – 128.

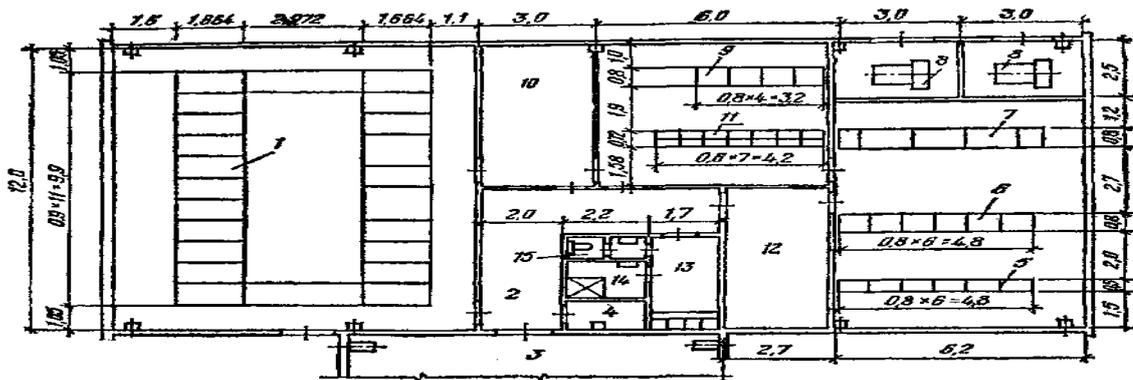


Рисунок 128 – Схема компоновки электромашинных помещений насосных станций, оборудованных шестью насосами Д6300-80 и электродвигателями мощностью по 2000 кВт (два ввода)

1 – КРУ; 2 – коридор; 3 – машинный зал; 4 – склад; 5 – согласующий трансформатор для ТВУ (ТС); 6 – тиристорное устройство (ТВУ); 7 – щит переменного тока (ЩПТ); 8 – трансформатор собственных нужд; 9 – щит измерения и сигнализации (ЩИС); 10 – диспетчерская; 11 – щит станции управления (ЩСУ); 12 – комната дежурного персонала; 13 – гардероб; 14 – душевая; 15 – туалет

11.6 Краткие рекомендации по выполнению графической части проекта

При выборе варианта строительной части здания насосной станции руководствуются заданием на курсовое проектирование, в котором обозначается назначение насосной станции, определяющее ее расположение в общей схеме водоснабжения. Проводится полный анализ принятых инженерных решений, обусловленных производственными расчетами, которые дают возможность определить тип и марки основных насосов и двигателей, тип здания насосной станции, виды вспомогательного оборудования и систем, принять компоновочное решение стационарного узла сооружений.

Перед выполнением графической части проекта, мы рекомендуем в специальной литературе или в приложении 1 настоящего учебного пособия (рисунок 6–13) выбрать аналог проектируемой насосной станции, которым можно руководствоваться при расчетах и построениях поперечного, планового и продольного разрезов здания станции.

На чертеже вычерчивается сначала поперечный разрез здания станции. Располагать его необходимо так, чтобы слева от него можно было разместить аванкамеру или ее часть, всасывающие коммуникации насосной станции и рыбозащитное оборудование или устройство (РЗУ).

Наносится вертикальная ось агрегата (ось здания насосной станции, см. рисунок 122, 124, 125). Затем на ней отмечаются минимальный, максимальный и форсированный уровни в водоприемной камере (аванкамере). Отметки уровней в водоприемной камере (аванкамере) можно принять равными отметками уровней в подводящем канале, если пренебречь потерями напора в соросодерживающей решетке и в РЗУ.

Определяется отметка пристанционной площадки $\nabla_{пл}$:

$$\nabla_{nl} = \nabla_{max} + h_2; \quad (11.15)$$

где ∇_{max} – отметка максимального уровня воды в аванкамере;

h_2 – превышение пристанционной площадки над максимальным уровнем воды в аванкамере при водозаборе из открытых каналов назначается в зависимости от расхода, м. При расходе до $1 \text{ м}^3/\text{с}$ – $h_2 = 0,3$ м; при расходе $1-10 \text{ м}^3/\text{с}$ – $h_2 = 0,35$ м; при расходе $10-30 \text{ м}^3/\text{с}$ – $h_2 = 0,4$ м; при расходе $30-50 \text{ м}^3/\text{с}$ – $h_2 = 0,5$ м; при расходе $50-100 \text{ м}^3/\text{с}$ – $h_2 = 0,6$ м;

h_3 – превышение чистого пола над уровнем пристанционной площадки $0,15-0,20$ м;

h_4 – превышение отметки оси рабочего колеса над отметкой чистого пола, м.

Превышения h_3 и h_4 зависят от следующих обстоятельств: верх фундаментов под оборудование должен возвышаться над уровнем чистого пола не менее чем на $0,1$ м; низ труб всасывающих и напорных линий должен быть выше отметки чистого пола не менее, чем на $0,15$ м – при диаметрах труб до $0,4$ м и не менее чем $0,25$ м – при больших диаметрах. Определяют действительную отметку установки насоса

$$\nabla_{УН} = h_x + h_2 + h_3 + h_4, \quad (11.16)$$

Полученная отметка $\nabla_{УН}$ должна быть меньше или равна ранее определенной отметке $\nabla_{РК_{доп}}$, т. е.

$$\nabla_{УН} < \nabla_{РК_{доп}}$$

На уровне отметки $\nabla_{УН}$ проводят горизонтальную ось насоса. На полученных осях вычерчивают эскиз насоса. Затем, пользуясь полученными ранее значениями плановых и высотных размеров здания насосной станции, вычерчивают ее поперечный разрез, план и продольный разрез.

Насосная станция 1-го подъема при заборе воды из открытых источников подает воду на станции очистки воды, которая изображается на листе (или ее фрагмент – смеситель).

Графическая часть проекта зачастую выполняется на компьютере с помощью различных графических редакторов.

12 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

В проекте определяется коэффициент полезного действия насосной станции и стоимость израсходованной на подъем воды электроэнергии.

Коэффициентом полезного действия насосной станции называется отношение полезной мощности насосных агрегатов к затраченной (потребляемой) мощности электродвигателями всех агрегатов.

$$\eta_{н.с.} = \frac{N_{п.н.с.}}{N_{з.н.с.}}; \quad (12.1)$$

где $N_{п.н.с.}$ – полезная мощность всех агрегатов насосной станции, кВт:

$$N_{п.н.с.} = \rho g H Q \quad (12.2)$$

где $N_{з.н.с.}$ – мощность, затраченная электродвигателями, кВт:

$$N_{з.н.с.} = \frac{\rho g Q H}{\eta_a}, \quad (12.3)$$

где ρ – плотность перекачиваемой воды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; Q – среднесуточный расход воды, м³/с; H – напор насосных агрегатов, м; η_a – коэффициент полезного действия насосных агрегатов;

$$\eta_a = \eta_n \eta_{дв} \eta_{пр}, \quad (12.4)$$

где η_n – коэффициент полезного действия насоса; $\eta_{дв}$ – коэффициент полезного действия двигателя; $\eta_{пр}$ – коэффициент полезного действия передачи от двигателя к насосу ($\eta_{пр} \approx 1$).

Таким образом $\eta_{н.с.} = \eta_a$.

Это выражение справедливо, если на насосной станции установлены одинаковые насосные агрегаты. Если на станции установлены различные насосы, имеющие различные КПД насосов и электродвигателей, то КПД насосной станции нужно определять по формуле:

$$\eta_{н.с.} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_m}{\frac{Q_1}{\eta_{a1}} + \frac{Q_2}{\eta_{a2}} + \frac{Q_3}{\eta_{a3}} + \dots + \frac{Q_{am}}{\eta_{am}}}, \quad (12.5)$$

где $Q_1; Q_2; Q_3 \dots Q_m$ – соответственно подача 1-го, 2-го, 3-го, ... m -го насосного агрегата $\sum Q$ – подача насосной станции;

$\eta_{a1}; \eta_{a2}; \eta_{a3} \dots \eta_{am}$ – соответственно КПД 1-го, 2-го, 3-го, ... m -го насосного агрегата.

$$\eta_{a1} = \eta_{n1} \cdot \eta_{\text{дв}1} \cdot \eta_{\text{нр}1},$$

$$\eta_{a2} = \eta_{n2} \cdot \eta_{\text{дв}2} \cdot \eta_{\text{нр}2},$$

$$\eta_{a3} = \eta_{n3} \cdot \eta_{\text{дв}3} \cdot \eta_{\text{нр}3},$$

$$\eta_{a.m} = \eta_{n.m} \cdot \eta_{\text{дв}m} \cdot \eta_{\text{нр}m},$$

При ступенчатой параллельной работе насосной станции ее КПД равен отношению суммы полезной энергии всех ступеней работы к сумме потребляемой энергии при всех ступенях работы насосной станции (рисунок 127).

3

Рисунок 129 – Характеристики параллельной ступенчатой работы насосной станции с тремя рабочими агрегатами с одинаковыми характеристиками

Один насос работает t_1 часов в сутки и подает Q_1 (м³/с) напором H_1 (м), имея $\eta_{a1} = \eta_{n1} \cdot \eta_{\text{дв}1}$. Два насоса работают параллельно в течение t_2 часов в сутки и подают Q_2 (м³/с) напором H_2 м, имея $\eta_{a2} = \eta_{n2} \cdot \eta_{\text{дв}2}$. Три насоса работают параллельно в течение t_3 часов в сутки и подают Q_3 м³/с напором H_3 м, имея $\eta_{a3} = \eta_{n3} \cdot \eta_{\text{дв}3}$.

При этом $\eta_{\text{нр}1}, \eta_{\text{нр}2}, \eta_{\text{нр}3}$ приняты равными 1 и $t_1 + t_2 + t_3 = 24$ ч.

КПД насосной станции найдем по формуле:

$$\eta_{\text{nc}} = \frac{Q_1 H_1 t_1 + Q_2 H_2 t_2 + Q_3 H_3 t_3}{\frac{Q_1 H_1 t_1}{\eta_{a1}} + \frac{Q_2 H_2 t_2}{\eta_{a2}} + \frac{Q_3 H_3 t_3}{\eta_{a3}}} \quad (12.6)$$

При аналогичной работе насосов с различными характеристиками КПД насосной станции определяют по формуле:

$$\eta_{\text{nc}} = \frac{Q_1 H_1 t_1 + Q_2 H_2 t_2 + Q_3 H_3 t_3}{\frac{Q_1 H_1 t_1}{\eta_{a1}} + \left(\frac{Q_1}{\eta_{a1,2}} + \frac{Q_2}{\eta_{a2}} \right) H_2 t_2 + \left(\frac{Q_1}{\eta_{a1,3}} + \frac{Q_2}{\eta_{a2,3}} + \frac{Q_3}{\eta_{a3}} \right) H_3 t_3}; \quad (12.7)$$

где $\eta_{a1} = \eta_{n1} \cdot \eta_{\text{дв}1}$ – КПД 1-го агрегата при одиночной работе;

$\eta_{a1,2} = \eta_{n1,2} \cdot \eta_{\text{дв}1,2}$ – КПД 1-го агрегата при параллельной работе со 2-м агрегатом;

$\eta_{a2} = \eta_{n2} \cdot \eta_{\text{дв}2}$ – КПД 2-го агрегата при параллельной работе с 1-м агрегатом;

$\eta_{a1,3} = \eta_{n1,3} \cdot \eta_{\text{дв}1,3}$ – КПД 1-го агрегата при параллельной работе со 2-м и 3-м агрегатом;

$\eta_{a2,3} = \eta_{n2,3} \cdot \eta_{\text{дв}2,3}$ – КПД 2-го агрегата при параллельной работе с 1-м и 3-м агрегатом;

$\eta_{a3} = \eta_{н3} \cdot \eta_{дв3}$ – КПД 3-го агрегата при параллельной работе с 1-м и 2-м агрегатом.

При определении КПД насосной станции большое значение имеет учет расходования электроэнергии, который производят отдельно по каждому насосному агрегату и записывают в журнал работы агрегата, где также отмечают режим его работы, т. е. подачу воды и манометрический напор.

Годовую стоимость электроэнергии, затрачиваемой насосными агрегатами, при равномерной круглосуточной работе насосной станции определяют по среднесуточной подаче насосной станции:

$$C_{э} = \frac{\rho g Q H}{\eta_n \eta_{дв}} \cdot a, \quad (12.8)$$

где Q – среднесуточная подача воды насосной станцией, м³/с

H – напор, м;

ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

η_n – КПД насоса по каталогу;

$\eta_{дв}$ – КПД двигателей, принимаемый по мощности электродвигателей: до 10 кВт – 0,85, до 50 кВт – 0,9 и более 50 кВт – 0,92;

$$\eta_{np} = 1.$$

Годовую стоимость электроэнергии, затрачиваемой насосными агрегатами при ступенчатом режиме работы насосной станции, следует определять по формуле 12.9:

$$C_{э} = \left(\frac{\rho g Q_1 H_1 t_1}{\eta_{н1} \eta_{дв1}} + \frac{\rho g Q_2 H_2 t_2}{\eta_{н2} \eta_{дв2}} + \dots + \frac{\rho g Q_m H_m t_m}{\eta_{н.m} \eta_{дв.m}} \right) \cdot a \quad (12.9)$$

где $Q_1, Q_2 \dots Q_m$ – подача воды насосной станцией соответственно в 1-й, 2-й– m -й ступени работы насосной станции, м³/с;

$H_1, H_2 \dots H_m$ – напоры насосов при соответствующих ступенях работы станции, м;

$t_1, t_2 \dots t_m$ – число часов работы насосов в году при соответствующих ступенях;

$\eta_{н1}, \eta_{н2}, \eta_{н.m}$ – КПД насосов при соответствующих ступенях работы станции;

$\eta_{дв1}, \eta_{дв2}, \eta_{дв.m}$ – КПД электродвигателей при соответствующих ступенях работы станции.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Образцы конструктивного и компоновочного решения водозаборных сооружений и насосных станций систем водоснабжения при заборе воды из подземных источников

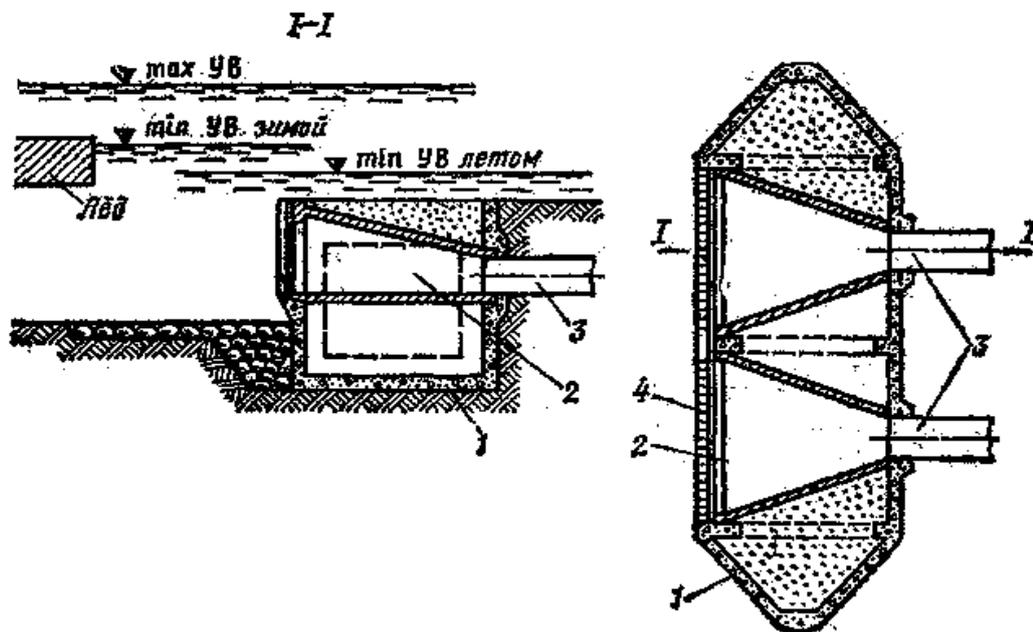


Рисунок А.1 – Схема типового защищенного оголовка конструкции Водоканалпроекта:

1 – железобетонный кожух, заполняемый гравием или бетоном; 2 – раструб; 3 – самотечные трубопроводы; 4 – решетки

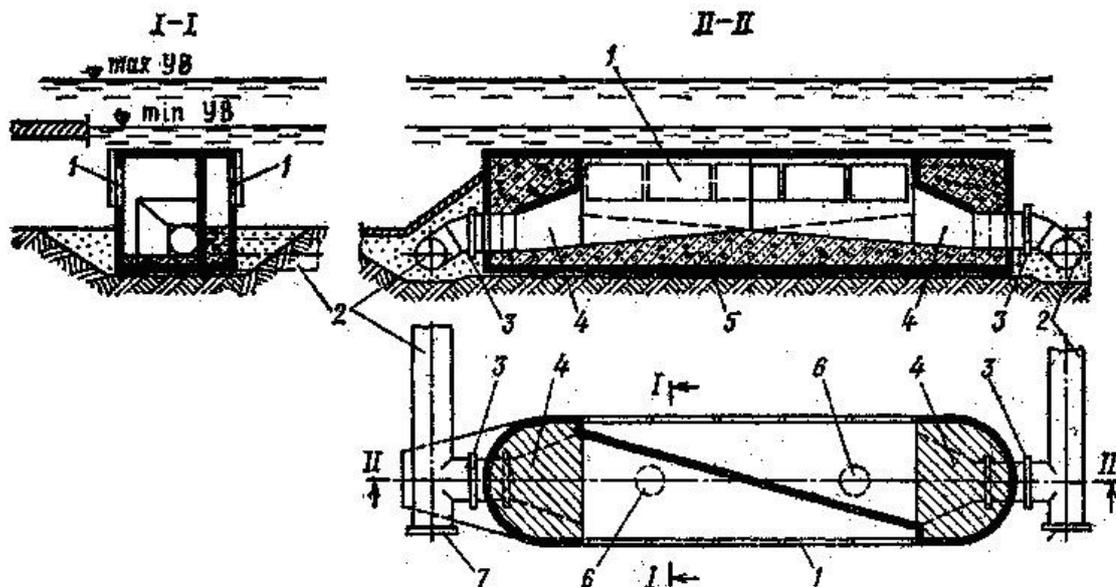


Рисунок А.2 – Схема железобетонного двухсекционного защищенного оголовка конструкции ВНИИВодгео:

1 – водоприемные отверстия с соросдерживающими решетками; 2 – подводящие водоводы (самотечные или сифонные); 3 – соединительные фланцы; 4 – раструбы; 5 – железобетонный корпус оголовка; 6 – смотровые люки; 7 – заглушки

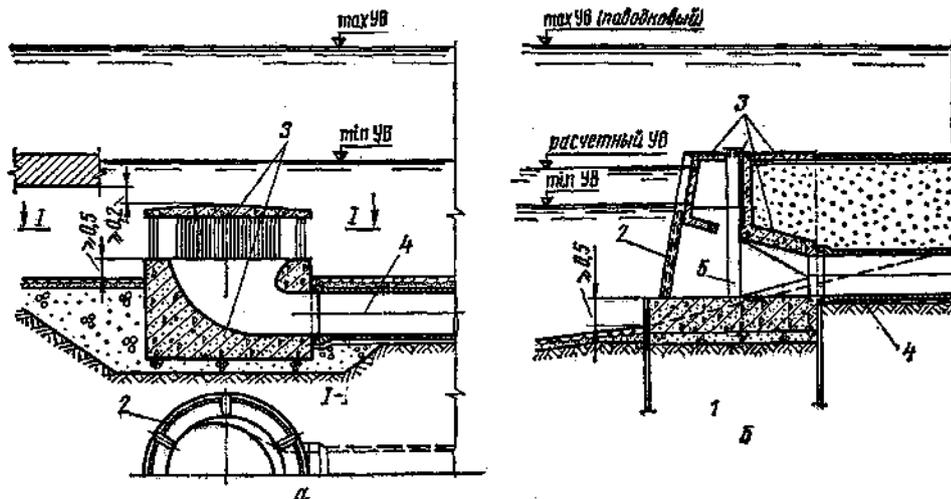


Рисунок А.3 – Схема водоприемных сооружений:
а – с затоплением оголовком; *б* – с частично затопляемым береговым колодезем:
 1 – шпунтовое ограждение; 2 – паз для решеток; 3 – оголовок; 4 – самотечные водоводы;
 5 – паз для ремонтных затворов

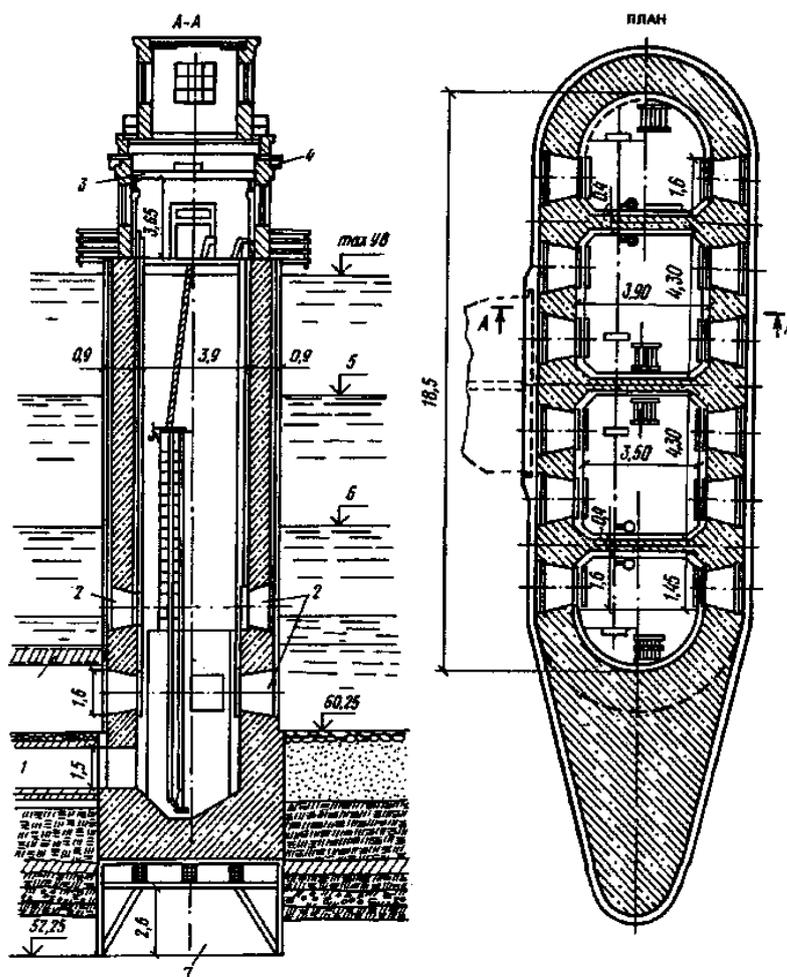


Рисунок А.4 – Незатопляемый водоприемник:
 1 – самотечная галерея; 2 – водоприемные отверстия; 3 – кран мостовой; 4 – кошка с талью; 5 и 6 – максимальный и минимальный уровни ледохода; 7 – заполнение бетоном после опускания кессона

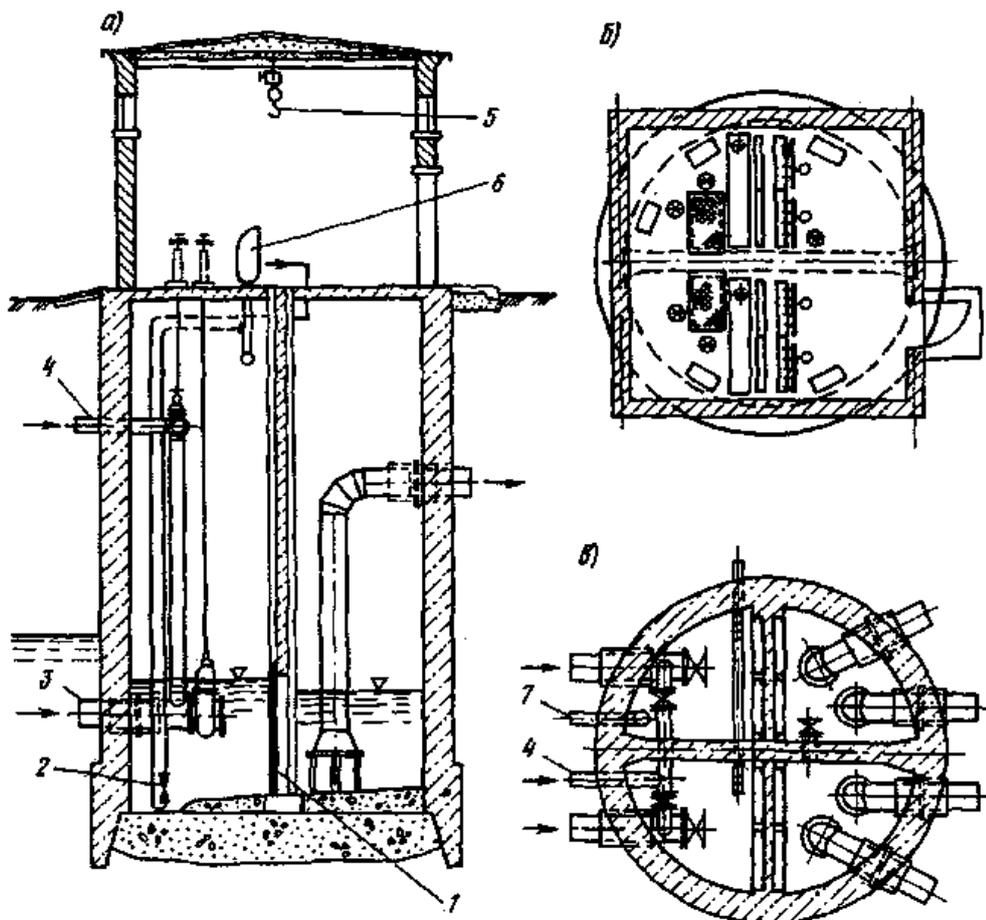


Рисунок А.5 – Береговой сеточный колодец:

а – разрез; б – план наземного павильона; в – план подземной части; 1 - сетка плоская; 2 – эжектор; 3 – самотечный водовод; 4 – подвод воды для промыва сеток и самотечных водоводов; 5 – кошка с подъемным механизмом; 6 – ванна с экраном для промыва сеток; 7 – подвод воды из реки к самописцу уровней воды

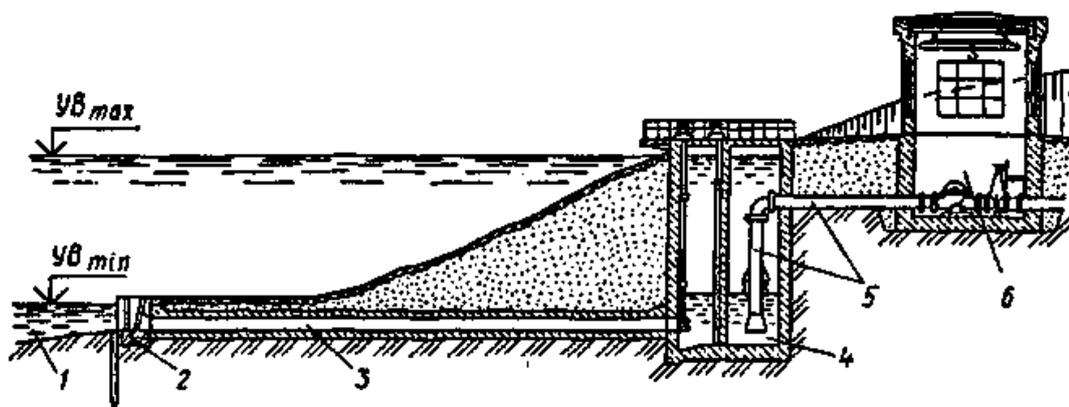


Рисунок А.6 – Схема руслового водозаборного сооружения отдельного типа:

1 – река; 2 – водоприемный оголовок; 3 – самотечный водовод; 4 – береговой колодец; 5 – всасывающая труба насоса; 6 – здание насосной станции

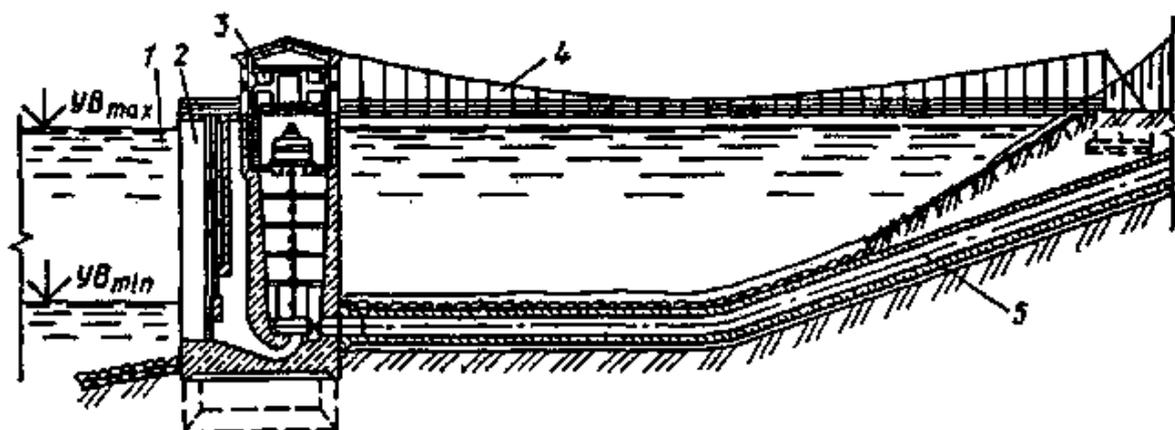


Рисунок А.7. Схема руслового водозабора сооружения совмещенного типа:

1 – река; 2 – водоприемная часть сооружения; 3 – здание станции; 4 – подвесной мост; 5 – напорный трубопровод.

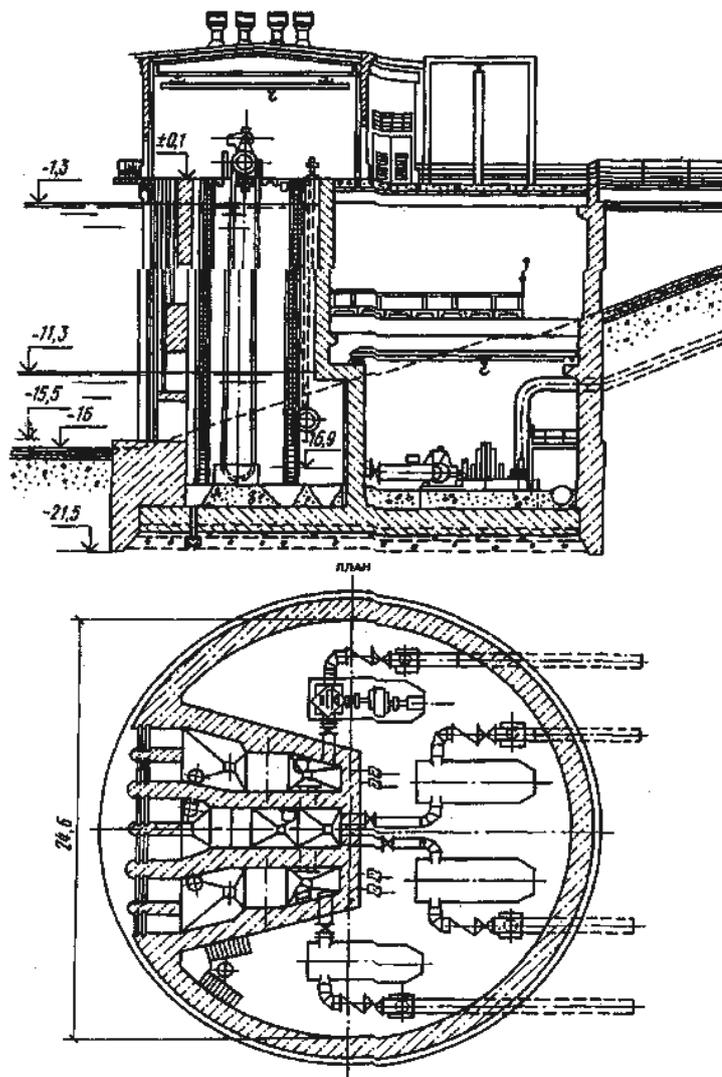


Рисунок А.8 – Водозаборное сооружение береговое совмещенного типа

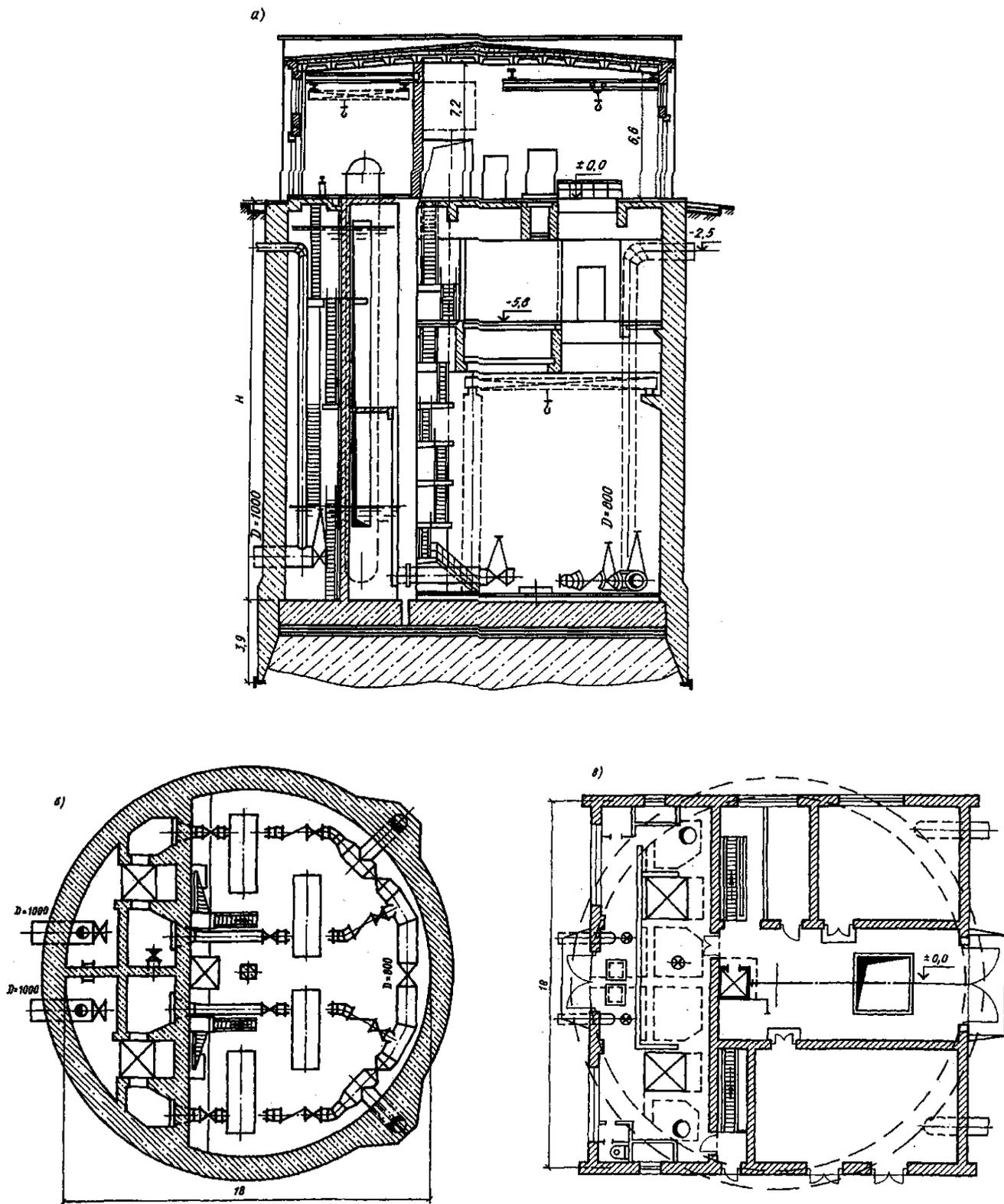


Рисунок А.9 – Насосная станция, совмещенная с сетчатым колодцем:
 а – разрез; б – план подземной части; в – план наземной части

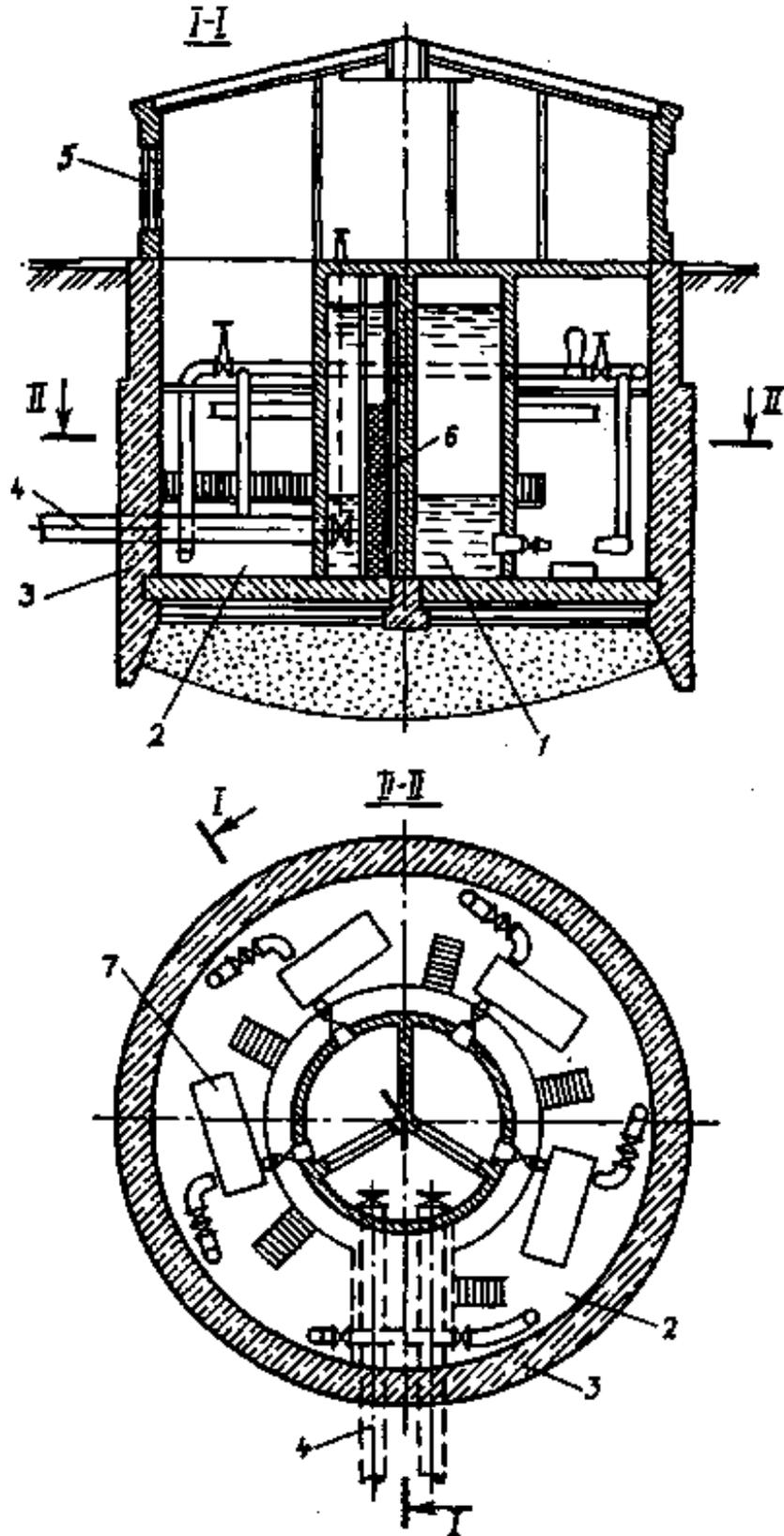


Рисунок А.10 – Конструкция головного водозаборного сооружения, совмещенного с насосной станцией 1-го подъема:

1 – водоприемный колодец; 2 – помещение насосов; 3 – стены опускающего колодца; 4 – самотечные подводящие водоводы; 5 – верхнее строение; 6 – мелкие водоочистные сетки; 7 – основные насосы

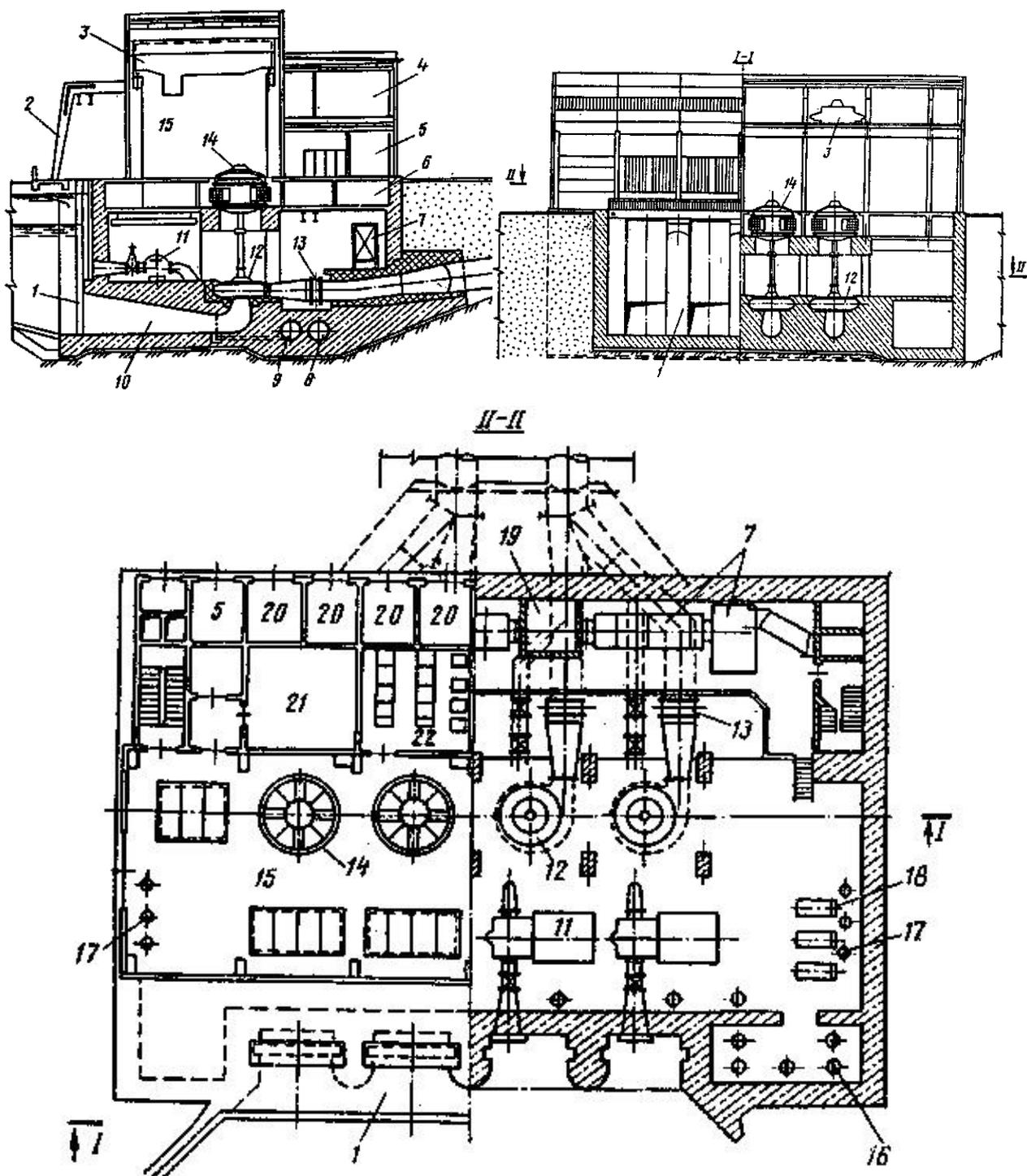


Рисунок А.11 – Компоновка здания блочного типа, оборудованного вертикальными центробежными (1200В – 6,3/100) и горизонтальными разменными (Д400 – 951) насосами:

1 – водоприемная часть здания; 2 – эстакада для установки монорельсов; 3 – мостовой кран; 4 – дис-петчерская; 5, 20 – камеры трансформаторов; 6 – кабельный этаж; 7 – промышленный кондиционер; 8, 9 – потерны дренажная и осушения всасывающих труб; 10 – изогнутая всасывающая труба; 11 – разменный агрегат; 12, 17, 18 – насосы основной типа «В», арте-зианский «ТВС» соответственно; 13 – дисковый затвор; 14 – электродвигатель; 15 – машинный зал; 16 – сетчатые фильтры ТВС; 19 – вентиляционная шахта; 21 – аккумуляторная; 22 – помещение щитов постоянного тока

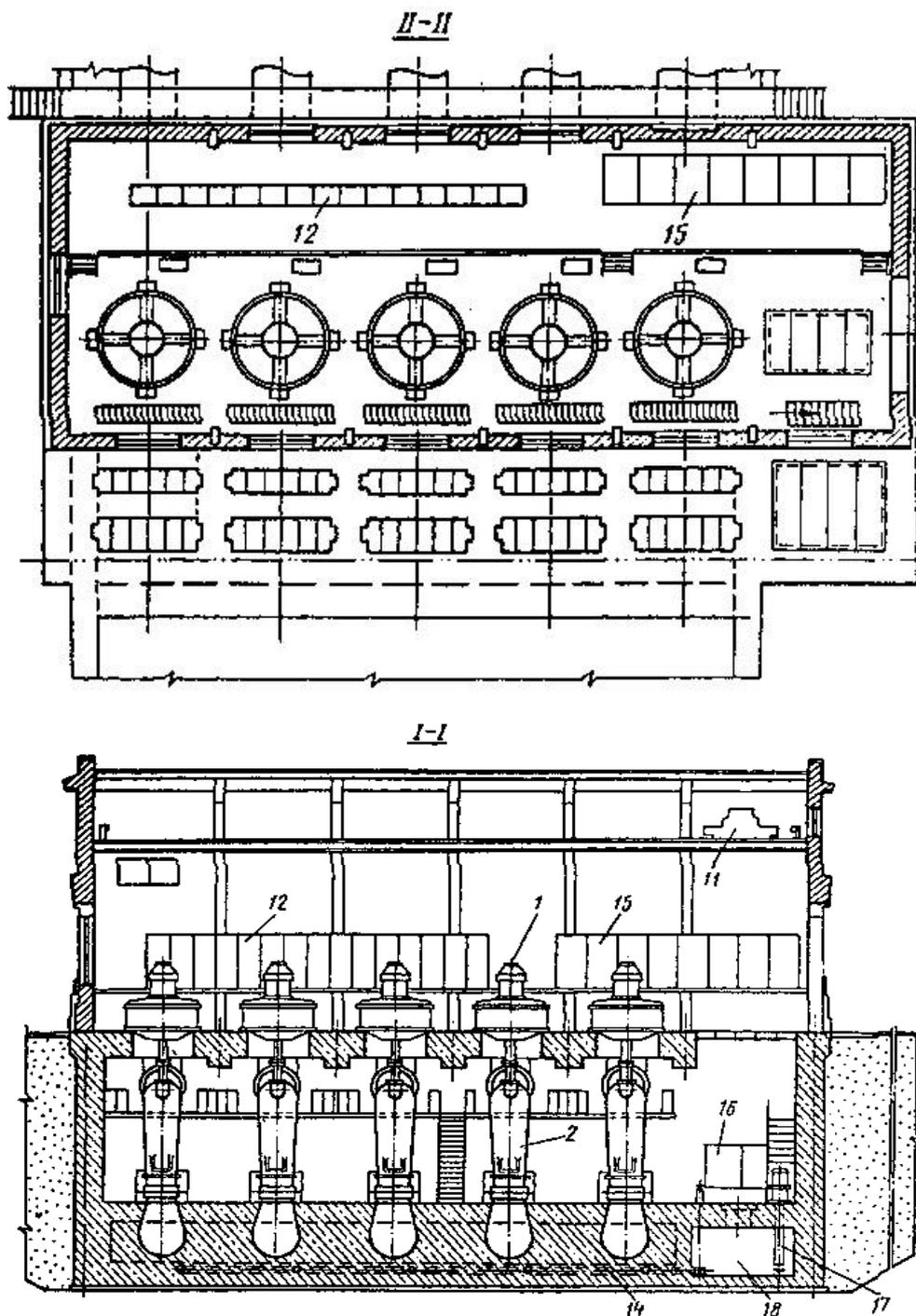


Рисунок А.12 – Компоновка здания блочного типа, оборудованного вертикальными осевыми насосами ОПВЗ – 110:

1 – электродвигатель ВДСУ 213/24-10; 2, 17 – насосы ОПВ 3-110 и артезианский; 3, 4 – всасывающая и сливная трубы; 4 – лаз в трубу; 5, 6 – пазы; 7 – ремонтный затвор; 8 – сороудерживающая решетка; 9 – решеткоочистительное устройство; 10, 11 – полукозловой и мостовой ручной краны; 12 – шкафы управления; 13 – дренажная потерна; 15 – комплектное распределительное устройство; 16 – двухсекционный операционный бак для масла; 18 – колодец откачки

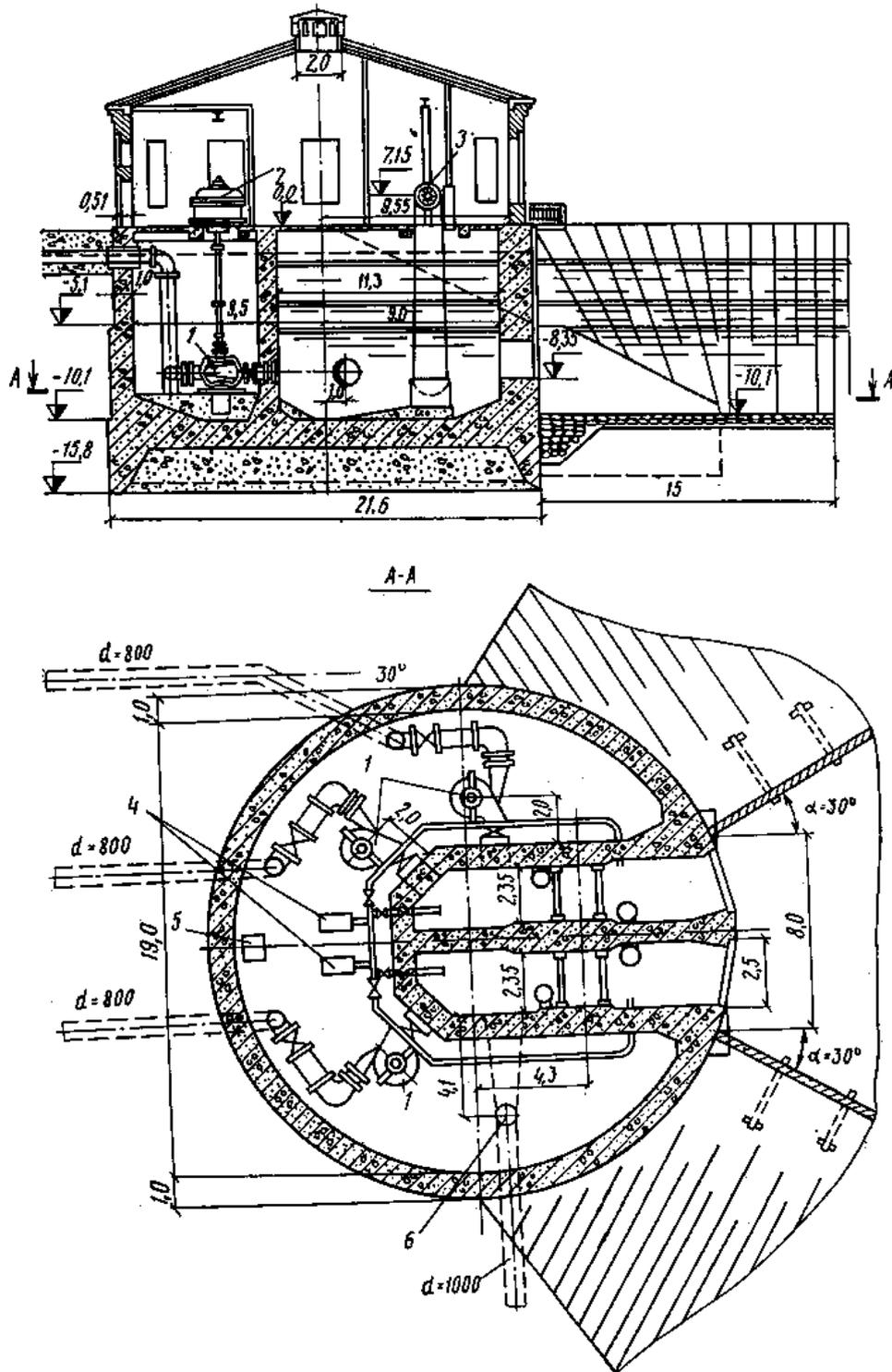


Рисунок А.13 – Насосная станция 1-го подъема, совмещенная с водоприемником:

1 – вертикальный центробежный насос; 2 – электродвигатель; 3 – вращающиеся механические сетки; 4 – грязевые насосные агрегаты; 5 – дренажные насосы; 6 – трубопровод для резервного насосного агрегата

Значения коэффициентов сопротивления для определения потерь напора на местное сопротивление

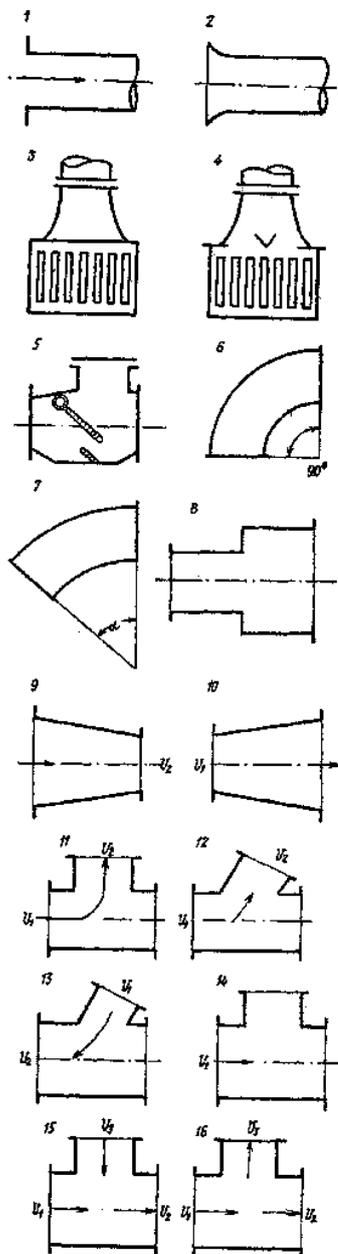


Рисунок Б.1 – Схемы возникновения местных сопротивлений потоку

(ПО ДАННЫМ Н. Н. ПАВЛОВСКОГО И ДР.)

Потери напора на местные сопротивления определяются по формуле:

$$h_M = \xi \frac{v^2}{2g},$$

где v – скорость движения воды, м/с;

ξ – коэффициент местного сопротивления;

$\frac{v^2}{2g}$ – скоростной напор, м.

В зависимости от вида сопротивления (см. рисунок Б.1) коэффициенты местных сопротивлений следует принимать по таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Значения коэффициентов сопротивления для определения потерь напора на местное сопротивление

схема 1 – вход в трубу без расширения	$\xi = 0,5$
схема 2 – плавно очерченный вход в трубу	$\xi = 0,1 \dots 0,2$
схема 3 – приемная сетка без клапана	$\xi = 2,0 \dots 3,0$
схема 4 – приемный клапан с сеткой	$\xi = 5,0 \dots 8,0$
схема 5 – обратный клапан	$\xi = 1,7$
схема 6 – колено с углом 90° по нормальному сортаменту	$\xi_k = 0,5 \dots 0,6$
схема 7 – колено с углом α	$\xi = \frac{\alpha}{90} \xi_k$
схема 8 – выход из трубы в резервуар или в канал под уровнем	$\xi = 1,0; h = \xi \frac{v_1^2}{2g}$
схема 9 – переход суживающийся (по нормальному сортаменту)	$\xi = 0,1; h = \xi \frac{v_2^2}{2g}$
схема 10 – переход расширяющийся (по нормальному сортаменту)	$\xi = 0,25;$ $h = \xi \frac{v_1^2}{2g}$
схема 11 – тройник в направлении ответвления	$\xi = 1,5; h = \xi \frac{v_2^2}{2g}$
схема 12 – в ответвлении при косом тройнике	$\xi = 1,0; h = \xi \frac{v_2^2}{2g}$
схема 13 – в ответвлении при входе	$\xi = 0,5; h = \xi \frac{v_1^2}{2g}$
схема 14 – в магистрали при отсутствии расхода в ответвлении	$\xi = 0,1; h = \xi \frac{v_1^2}{2g}$
схема 15 и 16 – в ответвлении при соединении и разделении потоков	$\xi = 1,5; h = \xi \frac{v_3^2}{2g}$
схема 17 – для задвижки	$\xi = 0,11 - 0,12$

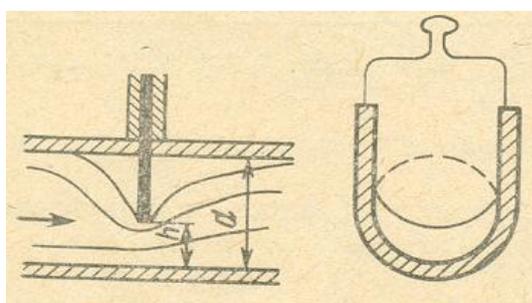


Рисунок Б.2 – Схема 17 возникновения местных сопротивлений потоку

Таблица В.1 – Коэффициенты заложения откосов

Грунты	Подводных при глубине наполнения, м			Надводных (выше бермы)
	1	1–2	2–3	
Скала	0,1	0,25	0,25	0
Выветренная скала	0,25	0,5	0,5	0,25
Полускальный водостойкий	0,5	1,0	1,0	0,5
Галечник, гравий с песком	1,5	1,5	1,5	1,0
Глина, суглинок тяжелый и средний	1,0	1,5	1,5	1,0
Суглинок легкий	1,5	1,5	2,0	1,5
Супесь	1,5	1,5	2,0	1,5
Песок	2,0	2,0	2,5	2,0
Песок мелкозернистый пылеватый	3,0	3,0	3,5	2,5

Таблица В.2 – Допустимые неразмывающие скорости V_p для связных грунтов при гидравлическом радиусе $R = 1-2\text{м}$

Грунт	V_p , м/с
Супесь слабая	0,7–0,8
Супесь уплотненная	1,0
Суглинки легкие и лессовидные	0,7–0,8
Суглинки средние	1,0
Суглинки плотные	1,1–1,2
Глины мягкие	0,7
Глины нормальные	1,2–1,4
Глины плотные	1,5–1,8
Илистые грунты	0,5

Примечание. При $R > 2$ скорость V_p следует увеличить в $(R/2)^{0.125}$ раза

Таблица В.3 – Значения λ для круглых труб

d, м	Коэффициент шероховатости, n				
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
0,20	0,021	0,026	0,033	0,039	0,050
0,30	0,019	0,024	0,029	0,035	0,044
0,40	0,017	0,022	0,026	0,033	0,039
0,50	0,016	0,020	0,025	0,030	0,036
0,60	0,016	0,019	0,024	0,028	0,034
0,70	0,015	0,019	0,023	0,027	0,032
0,80	0,015	0,018	0,022	0,026	0,031
0,90	0,014	0,017	0,021	0,025	0,029

продолжение таблицы В.3

1,00	0,013	0,017	0,020	0,023	0,028
1,20	0,013	0,016	0,019	0,022	0,026
1,50	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025
2,00	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022
2,50	0,011	0,013	0,015	0,018	0,021
3,00	0,010	0,012	0,014	0,017	0,020

Таблица В.4 – Техническая характеристика вакуум-насосов

Показатель	КВН-4	КВН-8	ВВН-0,75	ВВН-1,5	ВВН-3	РМК-1	РМК-2	РМК-3	РМК-4
Подача, м /мин.	0,4	0,8	0,75	1,50	3,00	1,5	4,2	11,5	27,0
Максимальный вакуум, %	80	80	60	80	80	90	92	97	96
Частота вращения, об/мин	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	960	720
Мощность электродвигателя, кВт	1,7	2,8	2,2	4,0	7,5	4,5	10,0	29,0	70,0
Ориентировочный расход оды, л/мин	4	5	3	10	12	10	20	60	108
Габариты, мм									
длина	392	417	445	682	1085	575	575	1215	1645
ширина	240	240	240	450	510	360	360	500	680
высота	278	278	295	938	1102	390	390	790	1070
Диаметр патрубка, мм									
входного	25	25	25	50	65	65	65	125	170
напорного	25	25	25	50	65	65	65	76	170
Масса насоса, кг	38	42	50	163	380	93	109	475	1028

Таблица В.5 – Техническая характеристика ручных подвесных кранов

Длина крана, м	Грузоподъемность	Пролет, м	Размеры, мм						Тяговое усилие, Н				Скорость передвижения, м/мин		номердвугавра для подкранового пути	Масса крана, кг
			1	2	3	4	5	6	подъема груза	передвижения		тали крана	тали крана			
										тали	крана					
3,6	0,5	3,0	300	1000 для А = 3,6–5,7 м	590	220	1300 для А = 3,6–5,7м	150	300	100	60	9,2	2,9	18	274	
	1,0				590	220		150	300	100	60	9,2	2,9	18	274	
	2,0				890	280		200	600	150	150	5,3	3,6	24	460	
	3,2				950	280		200	600	150	150	5,3	3,6	24	469	
	5,0				1095	340		220	750	200	200	5,5	3,6	30	633	
6,6	0,5	6,0	300	1500 для А = 6,6–9,3 м	590	220	1800 для А = 6,6–9,3 м	150	300	100	60	9,2	2,9	18	372	
	1,0				590	220		150	300	100	60	9,2	2,9	18	372	
	2,0				950	340		200	600	150	150	5,3	3,6	30	663	
	3,2				950	340		200	600	150	150	5,3	3,6	30	679	
	5,0				1155	400		220	750	200	200	5,5	3,6	36	889	
10,2	0,5	9,0	600	1800 для А = 10,2– 11,4 м	650	280	2100 для А = 10,2– 11,4 м	150	300	100	60	9,2	2,9	24	562	
	1,0				650	280		150	300	100	60	9,2	2,9	24	562 ;	
	2,0				1010	400		200	600	150	150	5,3	3,6	36	940 !	
	3,2				1010	400		200	600	150	150	5,3	3,6	36	961	
	5,0				1245	490		220	750	200	200	5,5	3,6	45	1271	

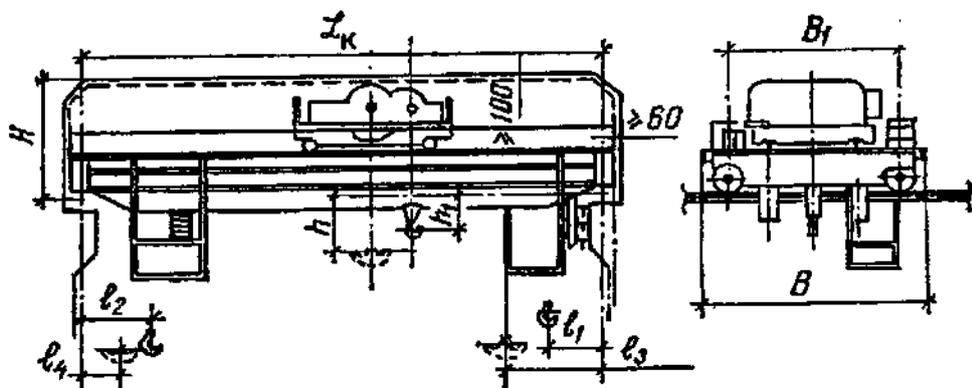
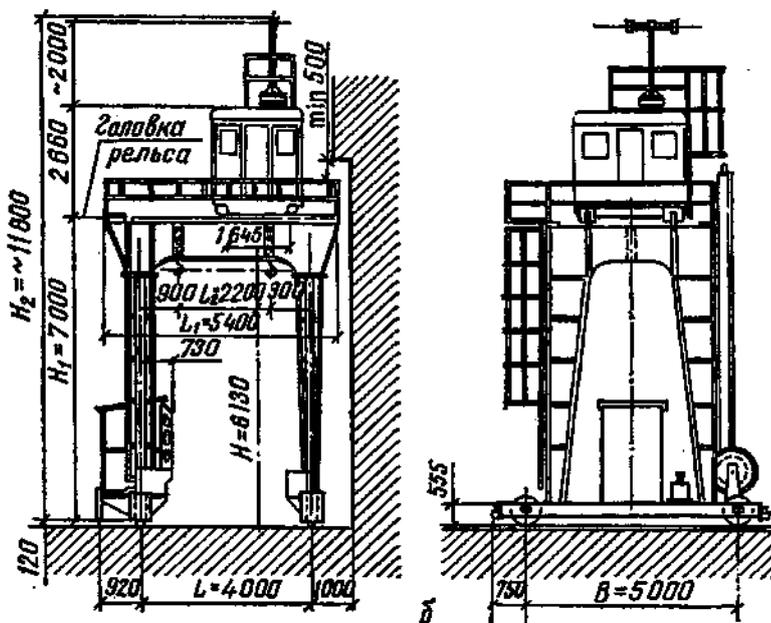
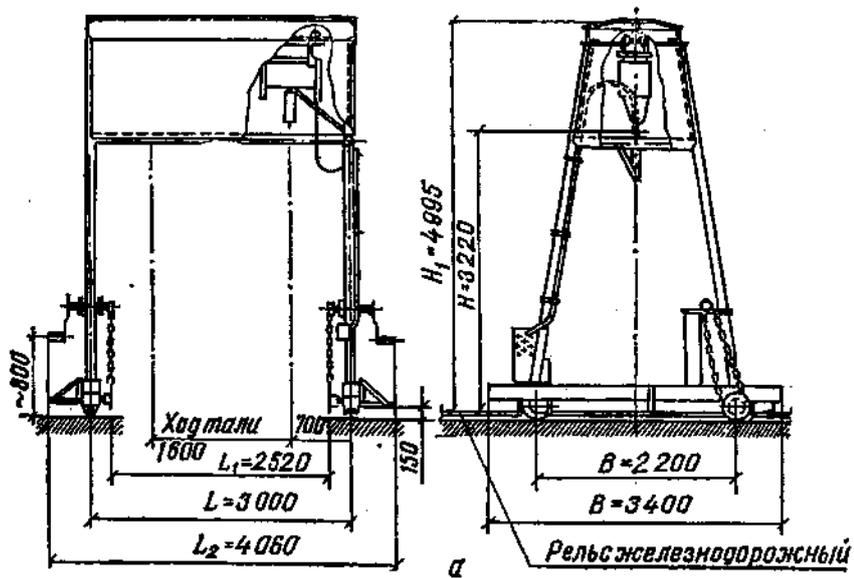


Рисунок В.1 – Схемы а) мостового крана электрического грузоподъемностью 5–50 т б) электрического грузоподъемностью до 20 т. Козловые краны изготавливают по специальному заказу необходимой грузоподъемности, любого пролета и высоты. Размеры даны в миллиметрах.

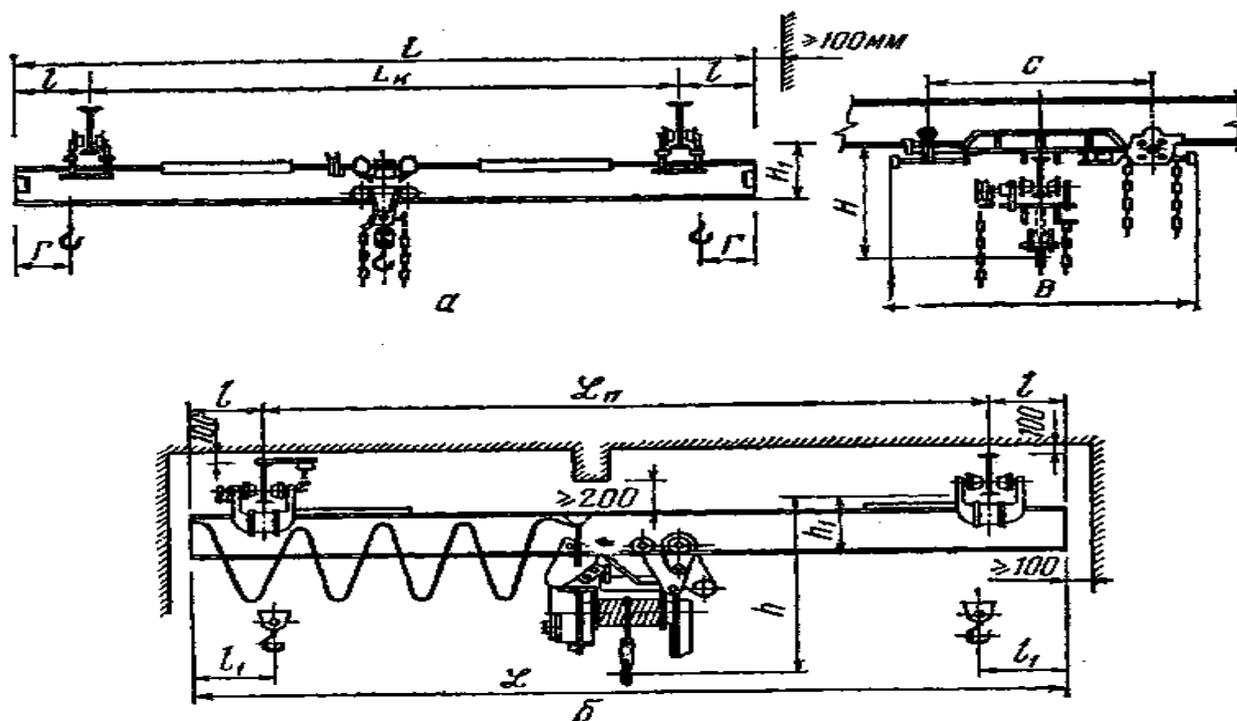


Рисунок В.2 – Схема подвесных кранов однобалочных (к таблице В.5):
 а) ручных грузоподъемностью 0,5–5 т с высотой подъема от 3 до 12 м; б) электрических грузоподъемностью 1–5 т с высотой подъема от 6 до 18 м. Размер может изменяться в зависимости от ширины здания (размеры в миллиметрах)

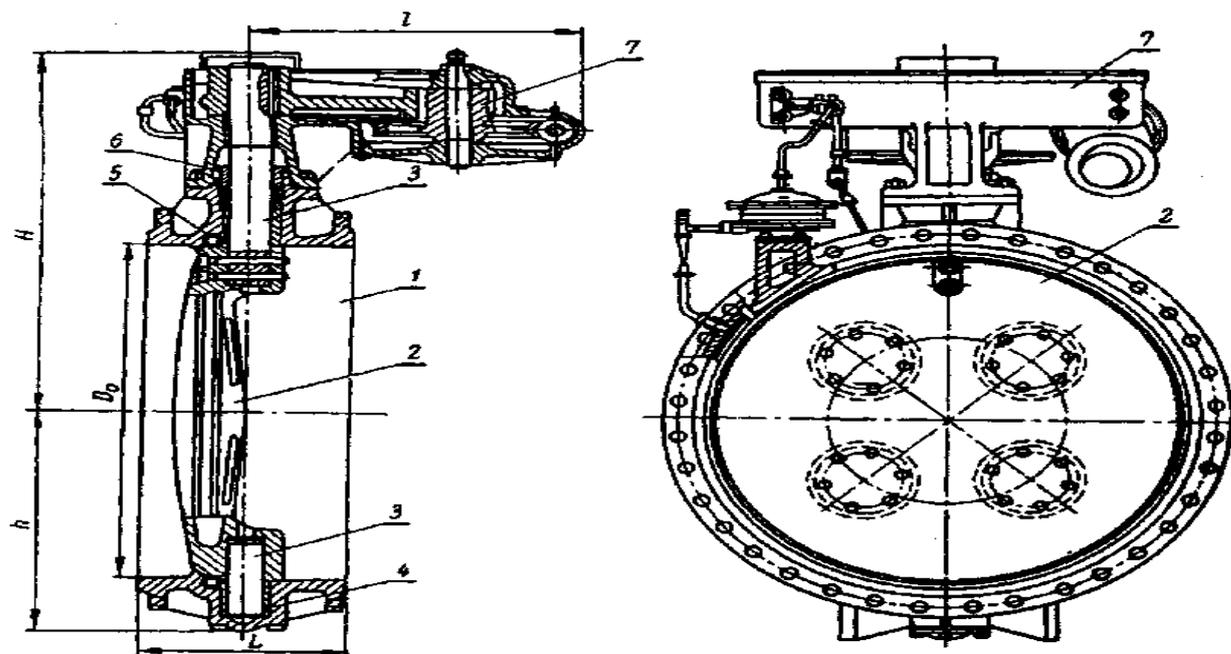


Рисунок В.3 – Затвор поворотный дисковый с электроприводом фланцевый (32с908р) (к таблице В.8)

Таблица В.6 – Техническая характеристика подвесных кранов с электроприводом

Длина крана, м	Грузоподъемность, т	Пролет крана, м	Размеры, мм				Размеры тележки		Мощность электродвигателей			Номер двутавра для подкранового пути	Масса крана, кг
			1h	2h ₁	3l ₁	4l	база, мм	ширина, мм	подъема, кВт	передвижения			
										тали, кВт	крана, кВт		
3,6	1	3,0	1120	260	660	300	1000	1350	1,7	0,18	0,36	18	590
	2		1350	320	710		1000	1350	2,8	0,40	0,54	24	785
	3,2		1635	325	750		1000	1365	4,5	0,40	0,80	30	1060
	5		1910	390	900		1500	2095	7,0	1,20	1,20	30	1470
5.1	1	4,5	1125	265	660	300	1000	1350	1,7	0,18	0,36	18	695
	2		1360	330	710		1000	1350	2,8	0,40	0,54	24	895
	3,2		1645	335	750		1000	1365	4,5	0,40	0,80	30	1180
	5		2010	490	900		1500	2095	7,0	1,20	1,20	30	1745
7,8	1	6,0	1125	265	660	900	1500	1850	1,7	0,18	0,36	24	860
	2		1360	330	710		1500	1850	2,8	0,40	0,54	30	1100
	3,2		1705	395	750		1500	1865	4,5	0,40	0,80	36	1460
	5		2010	490	900		1800	2395	7,0	1,20	1,20	36	2070
10,8	1	9,0	1125	265	660	900	1800	2150	1,7	0,18	0,36	24	1045
	2		1420	390	710		1800	2150	2,8	0,40	0,54	30	1425
	3,2		1795	485	750		1800	2165	4,5	0,40	0,80	36	1945
	5		2160	640	900		2100	2695	7,0	1,20	1,20	36	2480

Таблица В.7 – Техническая характеристика мостовых кранов с электроприводом

Грузоподъемность, т	Пролет L_k , м	Размеры, мм									Масса крана, т
		H	h	h ¹	L ¹	L ²	L ³	L ⁴	B	B ₁	
5	11–32	1650	50	–	–	–	1100	800	5000–6500	3500–5000	13,6–33,3
10	10,5–34,5	1900	500	–	–	–	1200	1100	5508–5802	4400–5000	11–34,9
12,5	10,5–34,5	1410	500	–	–	–	1330	1300	6200–7200	4500–5500	16,3–40,8
15	11–26	2300	600	–	–	–	1300	1100	5600	4400	20,5–34,4
15/3*	11–26	2300	600	100	1300	1950	2250	1000	5600	4400	20,5–34,4
20/5*	10,5–25,5	2400	600	50	1120	2000	1280	1280	5600	4400	23–40,5
30/5*	10,5–31,5	2750	400	300	1600	1910	2560	950	6300	5100	33,5–66
50/12,5*	19,5–31,5	3060	370	40	1900	1970	3000	870	6855	5600	45,5–82,5

* – В числителе дана грузоподъемность основного крюка, в знаменателе – вспомогательного.

Таблица В.8 – Размеры, (мм) и масса, (кг) затворов марки 32с908р*

Условный проход D_y	L	D	D_1	D_2	b	H	H_1	L_2	L_2	l	L_1	D_0	n	Масса, кг
400	240	565	515	482	28	938	650	903	603	428	360	240	16	390
600	300	780	725	685	31	1305	890	1096	696	458	328	240	20	600
800	400	1010	950	905	33	1610	1055	1216	696	493	328	240	24	1040
1000	450	1220	1160	1115	45	2050	1395	1775	1100	603	390	320	28	2240
1200	500	1450	1380	1325	51	2283	1518	1900	1100	603	390	320	32	3220
1400	600	1675	1590	1525	57	2545	1635	2025	1100	603	390	320	36	4000
1600	675	1915	1820	1750	63	2995	1955	2210	1155	820	532	400	40	5465

* – Изготовители затворов на $D_y = 400$ Н 200мм – Ивано-Франковский арматурный завод; затворов на $D_y = 1200$ Н 1600мм – Алексинский завод «Тяжпромарматура».

Таблица В.9 – Размеры (мм) и масса (кг) задвижек клиновых с выдвиг-
ным шпинделем (фланцевых стальных и чугунных)

D _y	H	Размеры присоединительных фланцев			Масса
		D	D ₁	D ₂	
Задвижки P _y =1,6Мпа (ГОСТ 10194-69) во взрывобезопасном исполнении					
50	1030	160	125	102	140
80	1125	195	160	138	155
100	1165	215	180	158	170
150	1340	280	240	212	225
200	1560	335	295	268	300
250	1700	405	355	320	400
300	1745	460	410	378	500
350	2000	520	470	438	640
400	2080	580	525	490	780
500	2570	710	650	610	1500
600	3110	840	770	720	1970
800	4080	1020	950	900	4950
1000	4840	1255	1170	1110	8750

Таблица В.10 – Размеры (мм) и масса (кг) задвижек клиновых с невы-
движным шпинделем (фланцевых, стальных и чугунных)

D _y	H	D ₀	Размеры присоединительных фланцев			Обозначения электропривода	Масса
			D	D ₁	D ₂		
Задвижки 30ч925бр на P _y =0.25Мпа(ГОСТ 10042-75);фланцы (ГОСТ 1235-67)							
800	2000	320	975	920	-	87B045E	1875
1000	2405	320	1175	1120	-	87B080E	2810
1200	2930	400	1375	1320	-	87Г140E	4580
1400	3255	400	1575	1520	-	87Г225E	5145
1600	3410	400	1785	1730	-	87Г225E	6350
2000	4350	400	2190	2130	-	87Д450E	12710
Задвижки 30ч915бр на P _y =1 Мпа (ГОСТ 19-75);фланцы (ГОСТ 1235-67)							
500	1710	400	670	620	585	87B080Д	845
600	1840	400	780	725	685	87B080Д	1180
800	2445	400	1010	950	905	87Г140E	2660
1000	2715	400	1220	1160	1110	87Г225E	4400
1200	2910	400	1450	1380	1325	87Д750E	7556
1400	3705	400	1675	1590	1525	87Д750E	9120
1600	3675	400	1915	1820	1750	87Д750E	9940

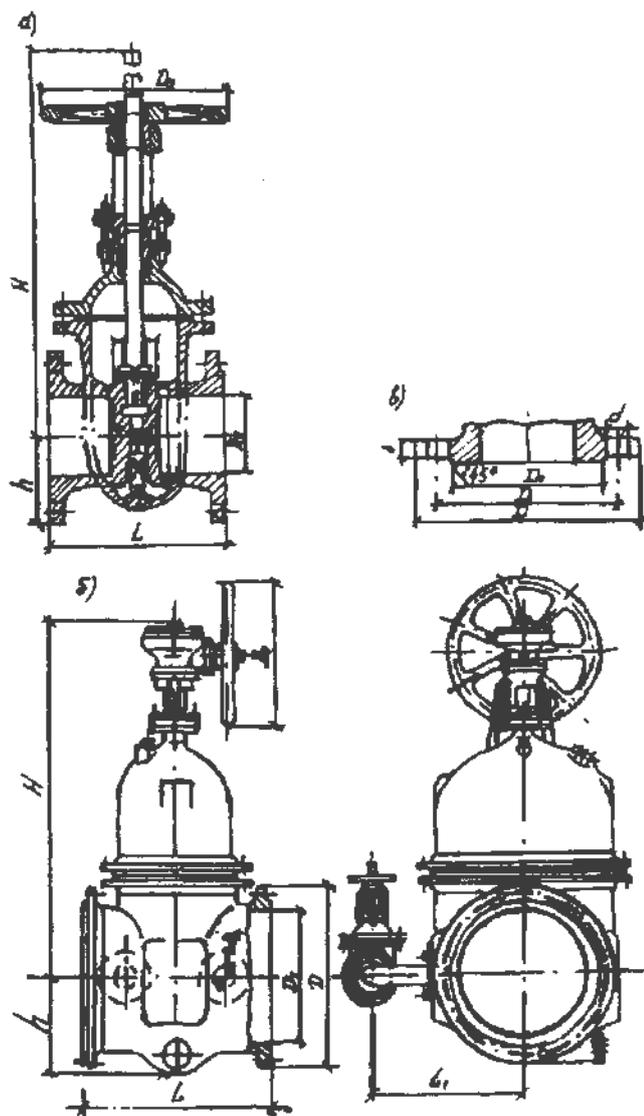


Рисунок В.4 – Задвижки параллельные с ручным управлением (к таблицам В9, В10):
а) без обвода б) с обводом в) фланец

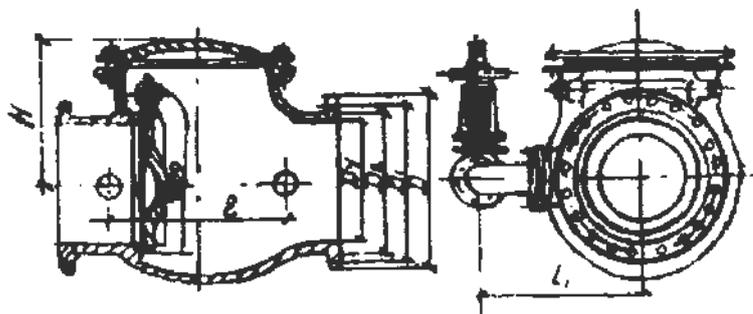


Рисунок В.5 – Кран обратный, поворотный, однодисковый, фланцевый (к таблице В.11)

Таблица В.11 – Размеры (мм) и масса (кг) клапанов обратных поворотных однодисковых фланцевых чугунных

Dy	H	Размеры присоединительных фланцев			Масса
		D	D ₁	D ₂	
Задвижки P _y = 1,6 Мпа (ГОСТ 19827-74, тип 2, исполнения Г, Д, Е)					
50	–	–	–	–	2,4
80	–	–	–	–	4,9
100	–	–	–	–	6
150	–	–	–	–	11,6
Клапаны на P _y = 1 Мпа (ГОСТ 19827-74, тип 2, исполнения Г, Д, Е)					
200	–	–	–	–	25
250	–	–	–	–	38
300	–	–	–	–	45
400	–	–	–	–	128
500	–	–	–	–	183
600	–	–	–	–	237
Клапан с противовесом на P _y = 1 Мпа		ГОСТ 19827-74, тип 2, исполнение Ж)			
800	–	1010	950	-	808
1000	-	1220	1160	-	1176

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1 – Стоимость одного погонного метра напорного трубопровода для стальных, чугунных, асбестоцементных труб

Номинальный наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Цена в руб. 1 п.м. без НДС	Номинальный наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Цена в руб. 1 п.м. без НДС	Номинальный наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Цена в руб. 1 п.м. без НДС	Номинальный наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Цена в руб. 1 п.м. без НДС	Номинальный наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Цена в руб. 1 п.м. без НДС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Трубы стальные электросварные. Группа прямшовные			Трубы стальные бесшовные группа горячедеформированные			Группа: трубы стальные профильные			Трубы стальные, группа прямшовные и спиральношовные			Трубы асбестоцементн. гр.класса ВТ - 9 и Трубы стальные в изоляции. Трубы стальные с наружным антикоррозийным полиэтиленовым покрытием		
57	3	93.22	25	2.5	39.25	225	1.5	15.4 3	426	4	722.8	57	3.5	174.69
76	2.8	118.6 4	45	2.8	72.56	400	1.5	18.5 3	530	4	1571.82	76	3.5	229.95
69	3.5	133.1 7	57	3	92.45	525	1.5	24.7 1	630	5	2563.00	89	3.5	262.5
83	2.8	94.44	76	3	125.3 6	700	2	20.0 6	720	5	2813	159	5	567.22
89	2.8	139.8 3	89	4	242.1 7	900	2	23.0 9	820	5	2614.3	219	5	796.97
102	3	166.6 6	89	4	242.1 7	800	1.5	29.0 3	920	7	4980.09	273	5	1027.5 5
108	2.8	152.3 3	89	4	242.1 7	1000	1.5	29.0 3	1020	6	4791.73	325	5	1233.7 7

114	2.5	127.9 1	89	4	242.1 7	1600	1.5	31.4 9	1120	8	7682.35	377	8	2021.6 1
133	4	0.00	102	6	430.5 3	1250	2	50.0 0	1220	9	8648.01	426	7	2032.4 7
152	4	310.6	114	5	462.7 1	1800	2	50.0 0	1320	9	10060.5 1	530	8	3228.3 1
159	3.2	213.6 3	133	5	621.7 3	2400	2	69.9 2	1420	8	9712.46	720	8	4256.0 2

продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
168	4	286	219	6	912.71	3600	2	56.81	1620	15	16024.89	820	8	5025.91
219	4	446.0	273	8	1513.56	3200	2	82.63	1720	15	23139.12	1020	9	8186.84
273	4	584.00	Трубы чугунные, группа раструбные.			6400	3	172.88	1820	15	24446.81			
			100	5	296.61	6000	4	229.24	2020	15	28072.19			
			150	9.2	462.87	10000	4	283.05	2220	15	30736.02			
									2520	15	34643.67			

Таблица Г.2 – Отчисления на капитальный ремонт, текущий и амортизационные отчисления

Наименование материала трубопроводов	Отчисления в фонд восстановления	Отчисления на ка- питальный ремонт	Отчисления на текущий ремонт	Общая норма амортиза- ционных отчислений
---	-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	---

Металлический	1,0	0,27	0,6	1,27
Железобетонный	1,0	0,14	0,4	1,14
Асбестоцементный	26,5	0,9	0,5	3,4

Таблица Г.3 – Значения коэффициента С по формуле Маннинга, м^{0,5}/с

R, м	n						
	0,011	0,013	0,014	0,017	0,020	0,025	0,030
0,30	74,4	63,0	58,4	48,1	40,9	32,7	27,3
0,32	75,2	63,6	59,1	48,6	41,4	33,1	27,5
0,34	76,0	64,3	59,7	49,1	41,8	33,4	27,8
0,36	76,7	64,9	60,3	49,6	42,2	33,7	28,1
0,38	77,4	65,5	60,8	50,1	42,6	34,0	28,4
0,40	78,1	66,0	61,3	50,5	42,9	34,3	28,6
0,42	78,7	66,6	61,8	50,9	43,3	34,6	28,9
0,44	79,3	67,1	62,3	51,3	43,6	34,9	29,1
0,46	79,9	67,6	62,8	51,7	43,9	35,2	29,3
0,48	80,4	68,1	63,2	52,0	44,2	35,4	29,5
0,50	81,0	68,5	63,6	52,4	44,5	35,6	29,7
0,55	82,3	69,6	64,6	53,3	45,3	36,2	30,2
0,60	83,5	70,6	65,6	54,0	45,9	36,7	30,6
0,65	84,6	71,6	66,5	54,7	46,5	37,2	31,0
0,70	85,7	72,5	67,3	55,4	47,1	37,7	31,4
0,75	86,7	73,3	68,1	56,1	47,7	38,1	31,8
0,80	87,6	74,1	68,8	56,8	48,2	38,5	32,1
0,85	88,5	74,9	69,5	57,2	48,7	38,9	32,4
0,90	89,3	75,6	70,2	57,8	49,1	39,3	32,8
0,95	90,1	76,3	70,8	58,3	49,6	39,7	33,0
1,00	90,9	77,0	71,4	58,8	50,0	40,0	33,3
1,10	92,4	78,2	72,6	59,8	50,8	40,6	33,9
1,20	93,7	79,3	73,6	60,6	51,5	41,2	34,4
1,30	95,0	80,4	74,6	61,5	52,2	41,8	34,8
1,40	96,2	81,4	75,6	62,2	52,9	42,3	35,3
1,50	97,3	82,3	76,4	62,9	53,5	42,8	35,7
1,60	98,3	83,2	77,2	63,6	54,1	43,3	36,1
1,70	99,3	84,1	78,0	64,3	54,6	43,7	36,4
1,80	100,3	84,8	78,8	64,9	55,1	44,1	36,8
1,90	101,2	85,6	79,5	65,5	55,6	44,5	37,1
2,00	102,0	86,3	80,2	66,0	56,1	44,9	37,4
2,20	103,7	87,7	81,5	67,1	57,0	45,6	38,0
2,40	105,2	89,0	82,7	68,1	57,8	46,3	38,6
2,60	106,6	90,2	83,8	69,0	58,6	46,9	39,1

Таблица Г.4 – Коэффициент шероховатости n

Характеристика каналов	n
Каналы без облицовки:	
При расходе более $25 \text{ м}^3/\text{с}$:	
В связных песчаных грунтах и торфах	0,02
В гравелисто-галечниковых грунтах	0,0225
При расходе от 25 до $1 \text{ м}^3/\text{с}$:	
В связанных песчаных грунтах и торфах	0,0225
В гравелисто-галечниковых грунтах	0,025
Каналы с облицовкой:	
Хорошо отделанной бетонной	0,012-0,014
Грубой бетонной	0,015-0,017
Асфальтобитумными материалами	0,017-0,030
Булыжной мостовой	0,020-0,025

СВОДНЫЙ ГРАФИК
номенклатуры центробежных консольных насосов
и их характеристики.

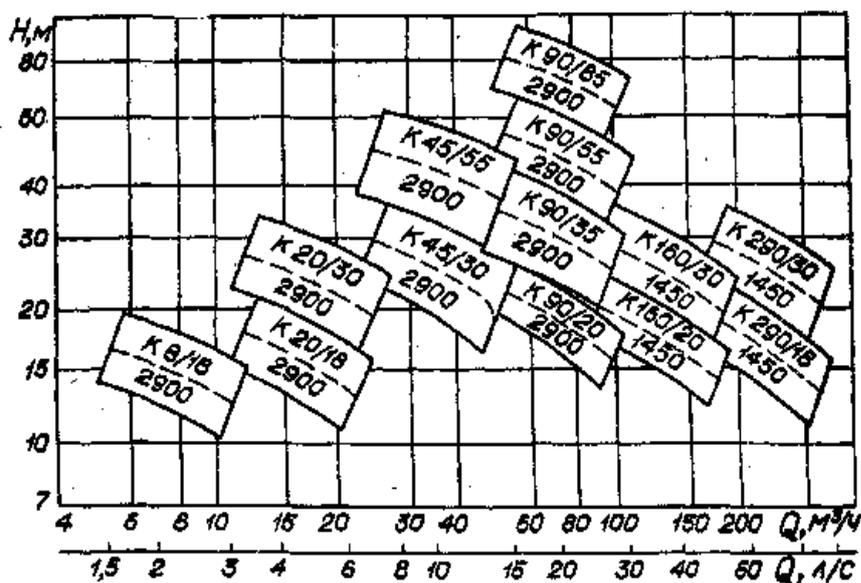


Рисунок Д.1 – Сводный график номенклатуры центробежных консольных насосов

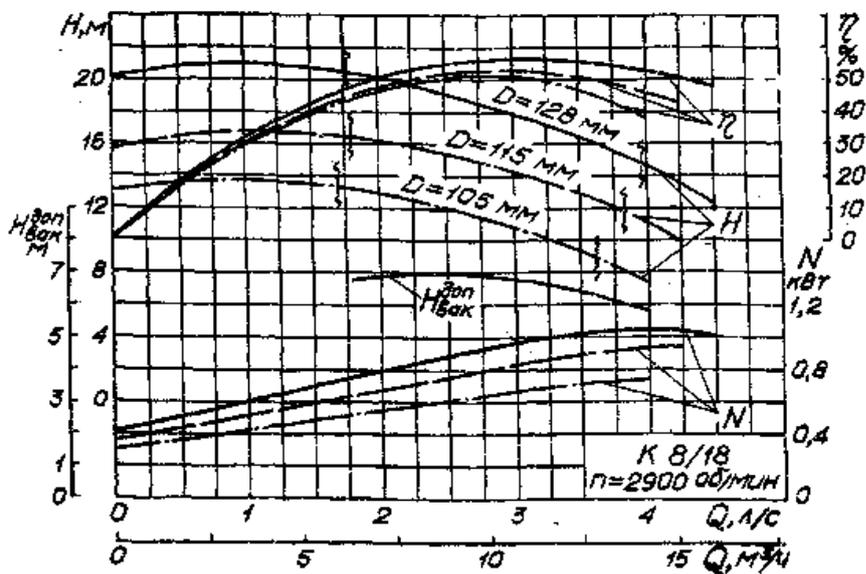


Рисунок Д.2 – Характеристики консольного насоса К8/18

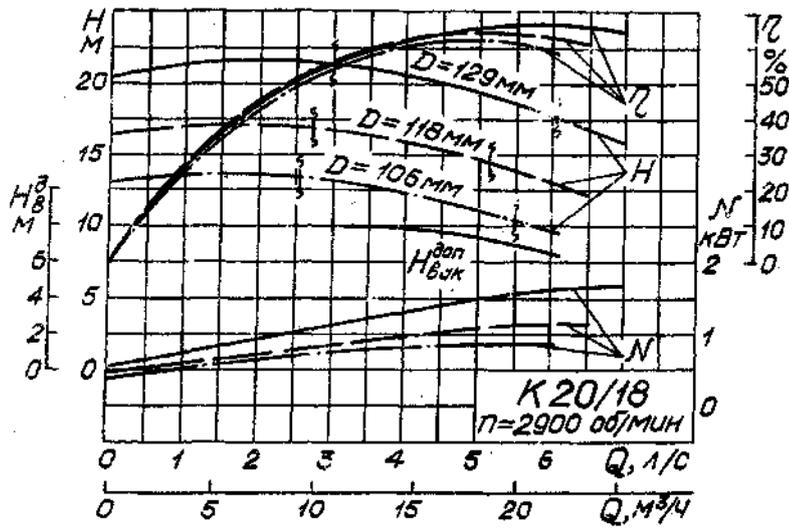


Рисунок Д.3 – Характеристики консольного насоса К20/18

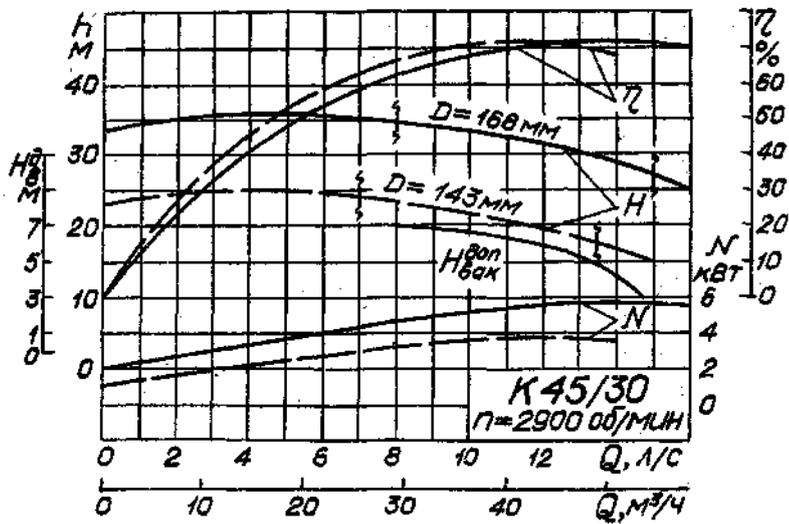


Рисунок Д.4 – Характеристики консольного насоса К45/30

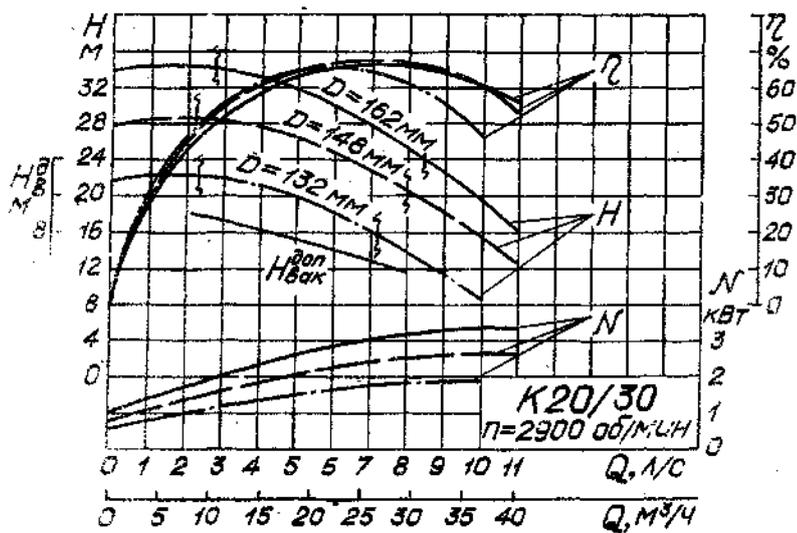


Рисунок Д.5 – Характеристики консольного насоса К20/30

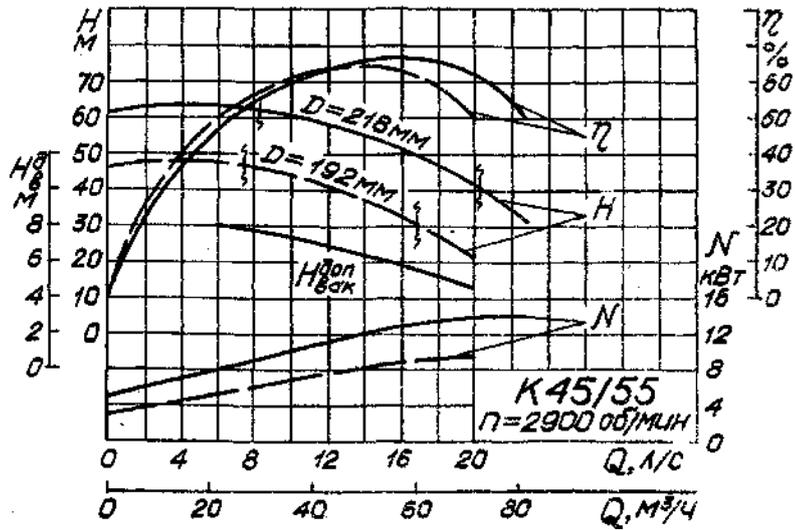


Рисунок Д.6 – Характеристики консольного насоса K45/55

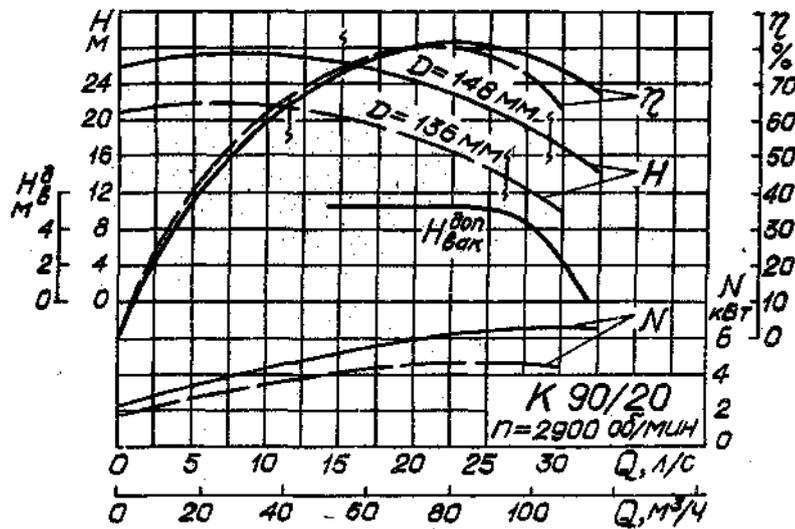


Рисунок Д.7 – Характеристики консольного насоса K90/20

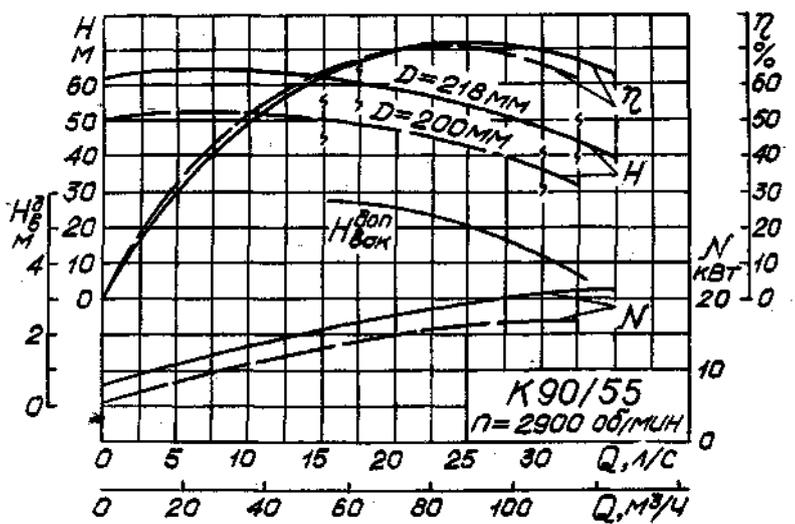


Рисунок Д.8 – Характеристики консольного насоса K90/55

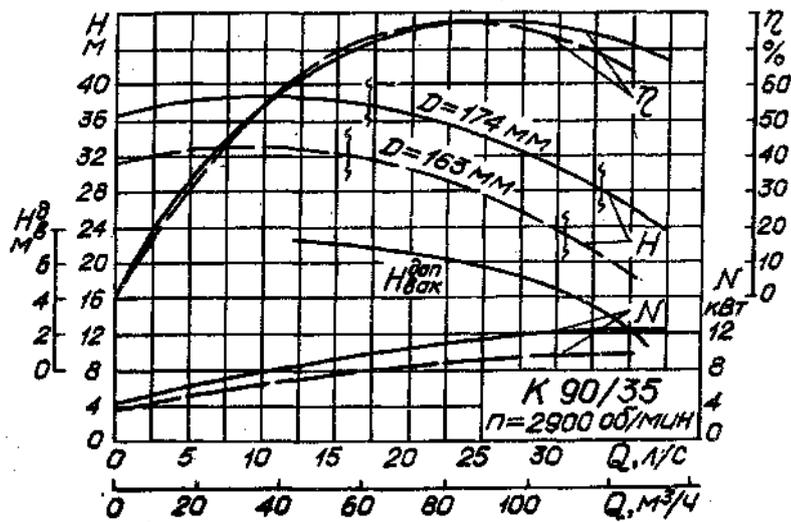


Рисунок Д.9 – Характеристики консольного насоса К90/35

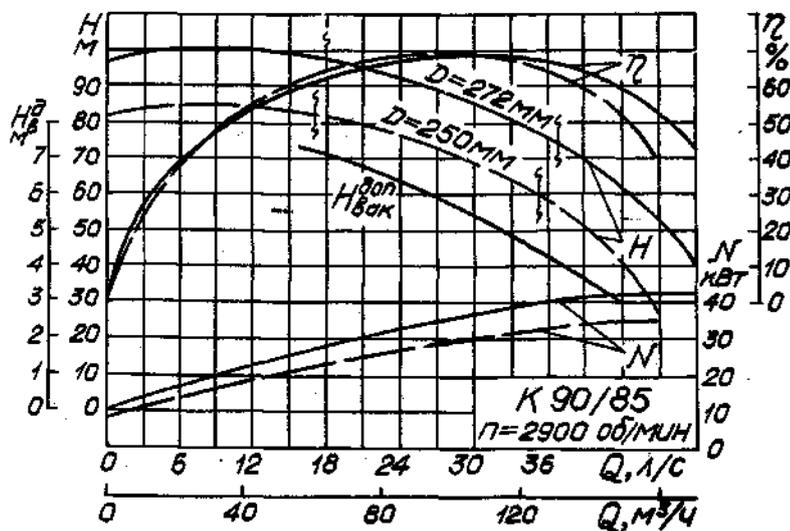


Рисунок Д.10 – Характеристики консольного насоса К90/85

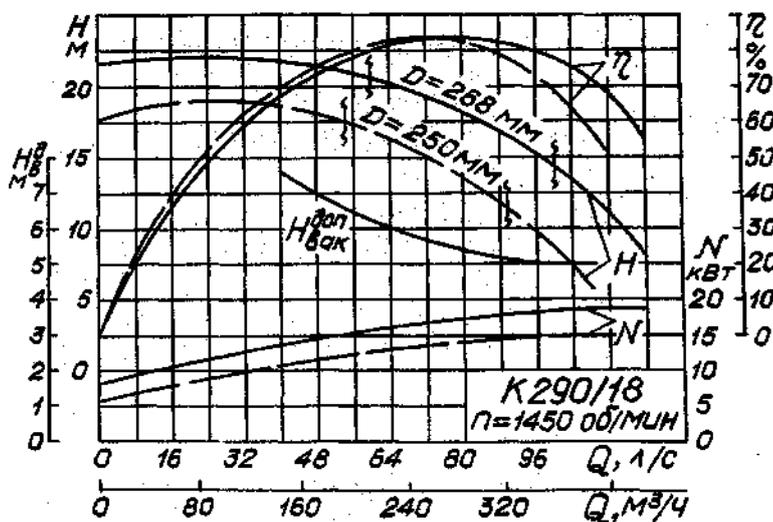


Рисунок Д.11 – Характеристики консольного насоса К290/18

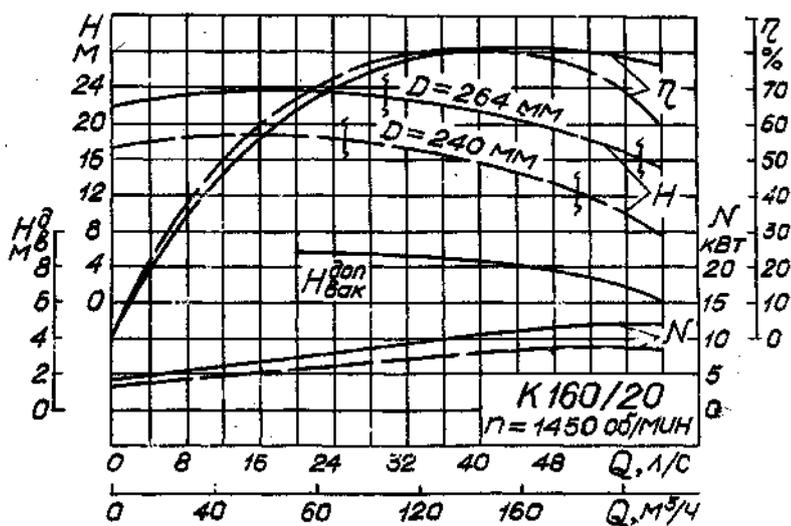


Рисунок Д.12 – Характеристики консольного насоса К160/20

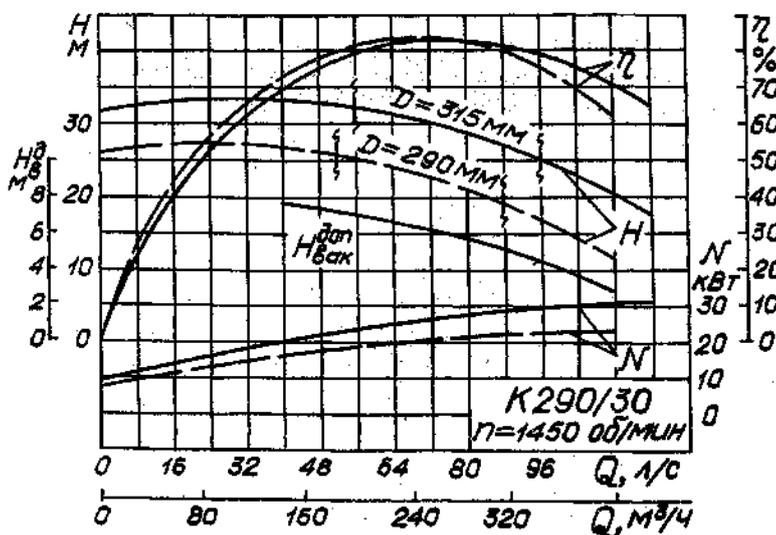


Рисунок Д.13 – Характеристики консольного насоса К290/30

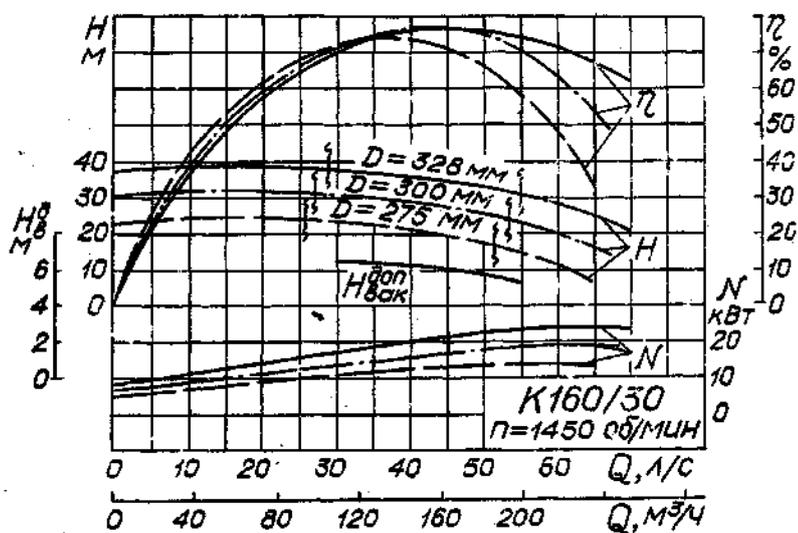


Рисунок Д.14 – Характеристики консольного насоса К160/30

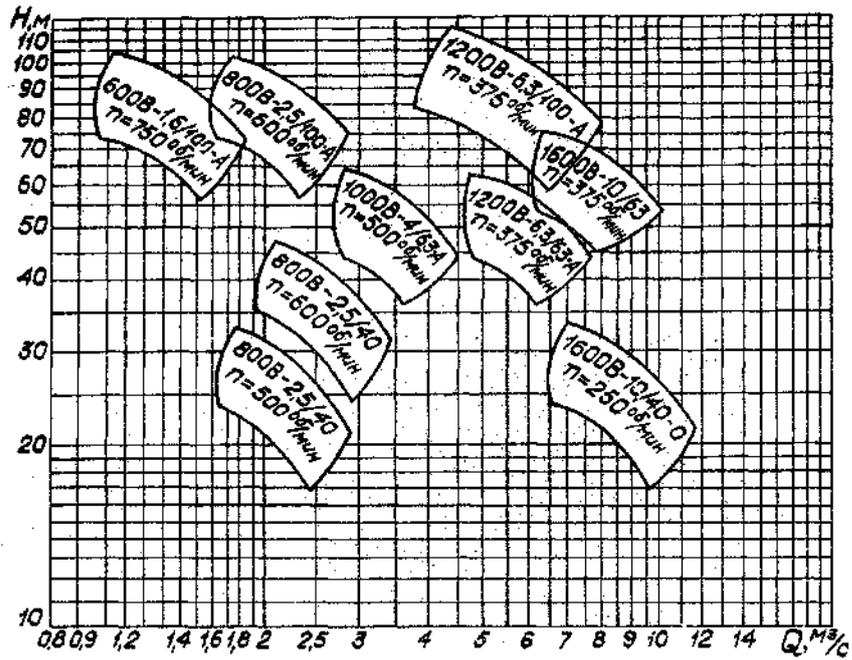
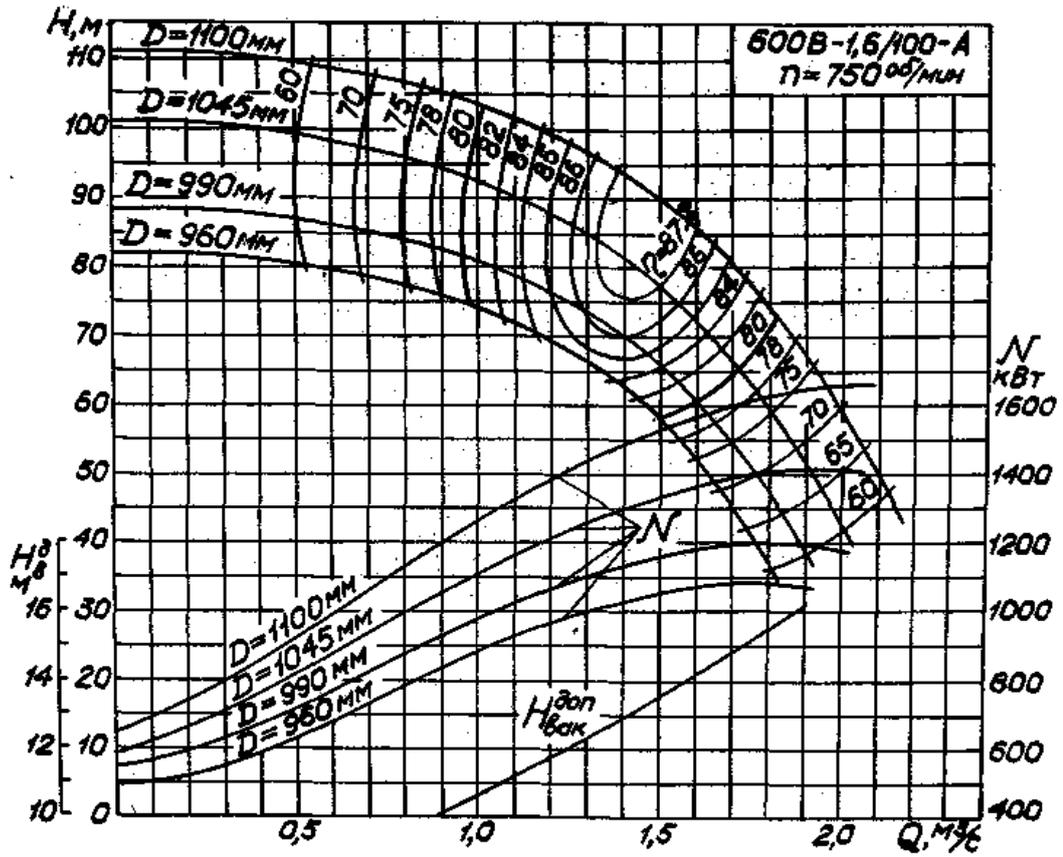


Рисунок Д.15 – СВОДНЫЙ ГРАФИК номенклатуры центробежных вертикальных насосов

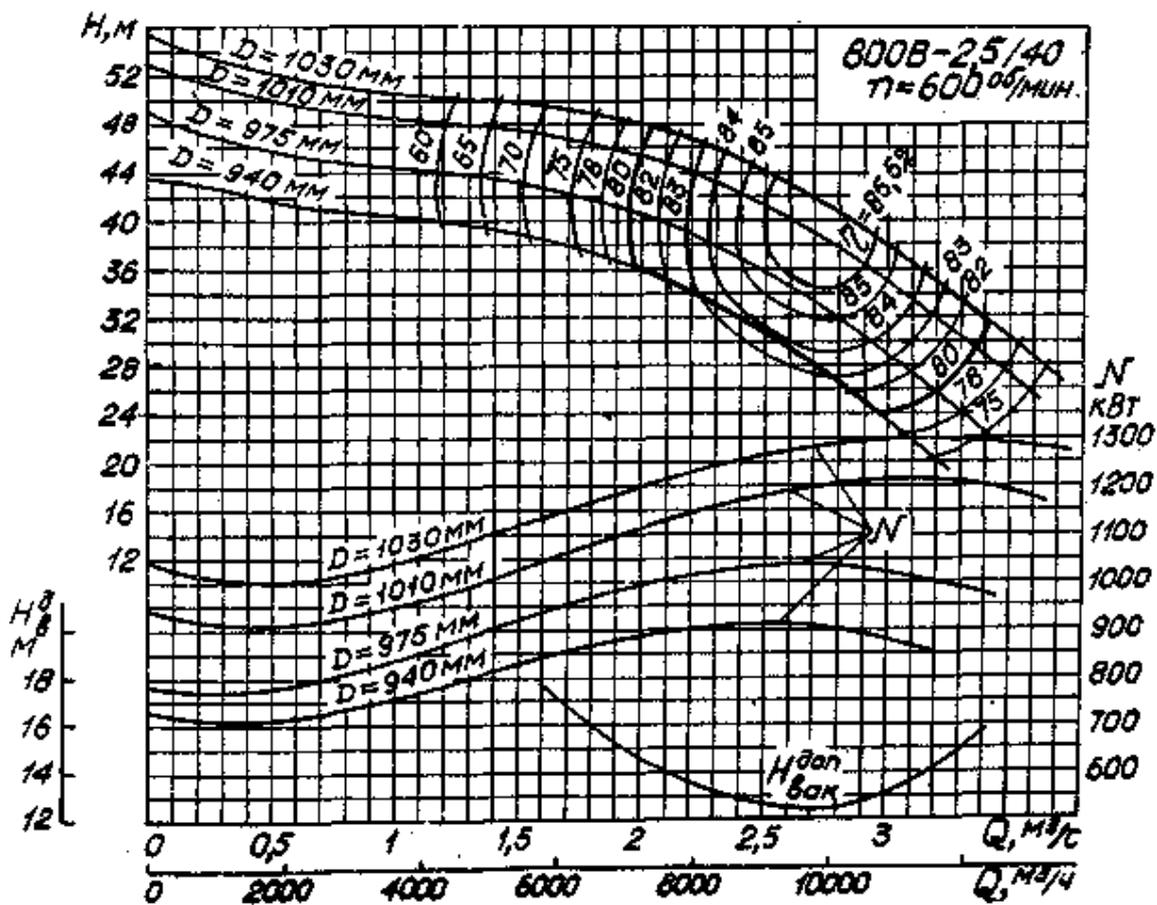
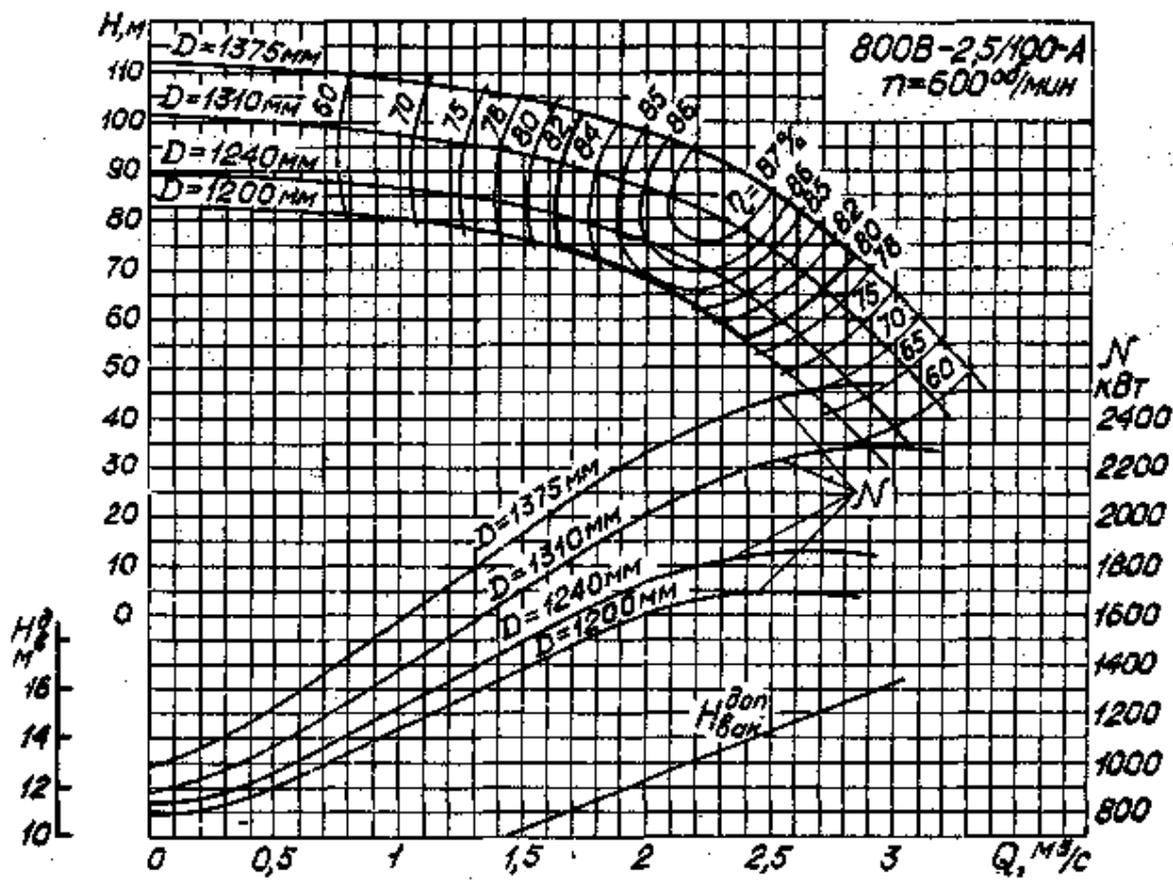


Рисунок Д.16 – Характеристики вертикальных насосов 800B-25/100-A и 800B-25/40

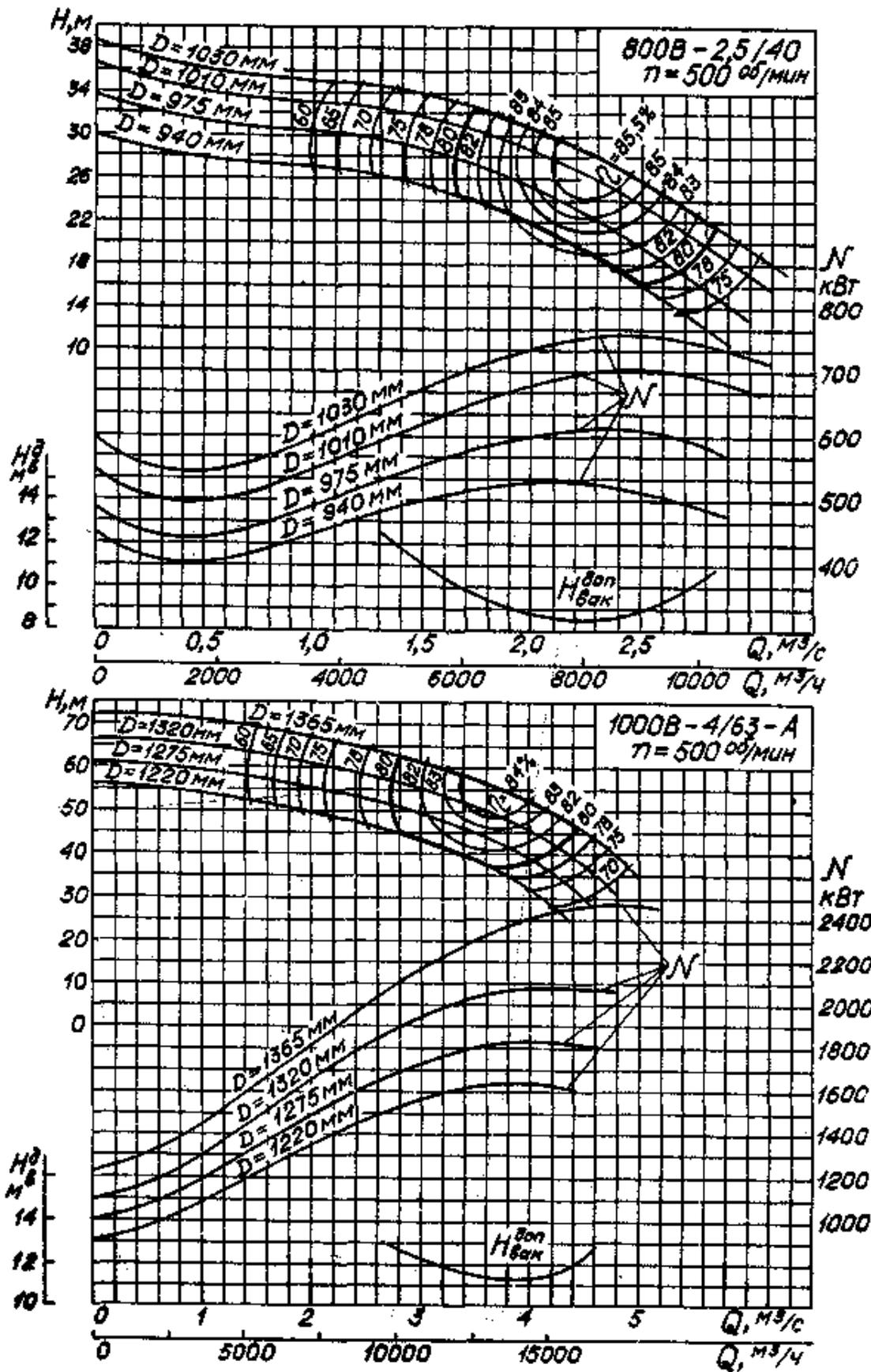


Рисунок Д.17 – Характеристики вертикальных насосов 800B-2,5/40 и 800B-4/63

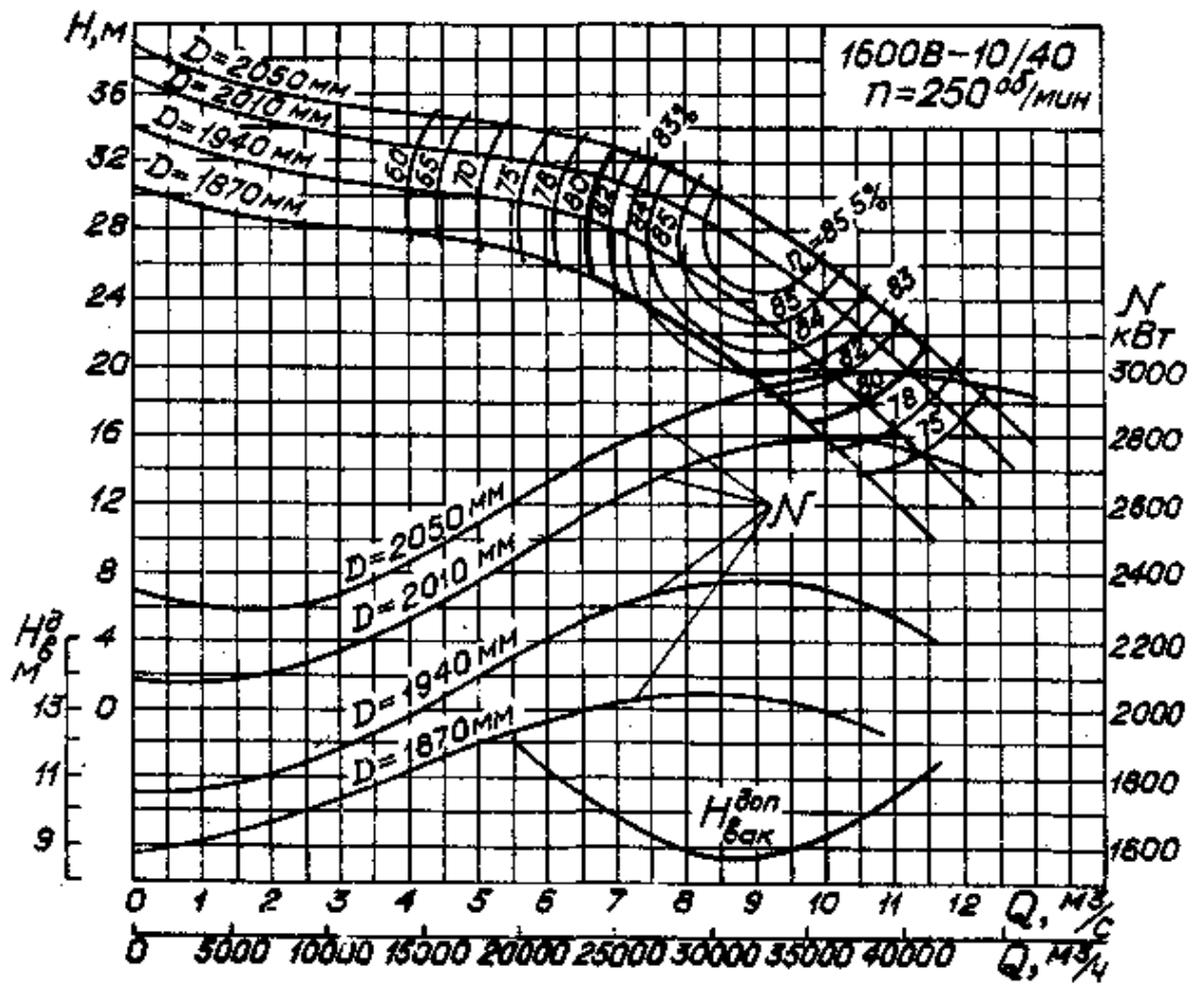
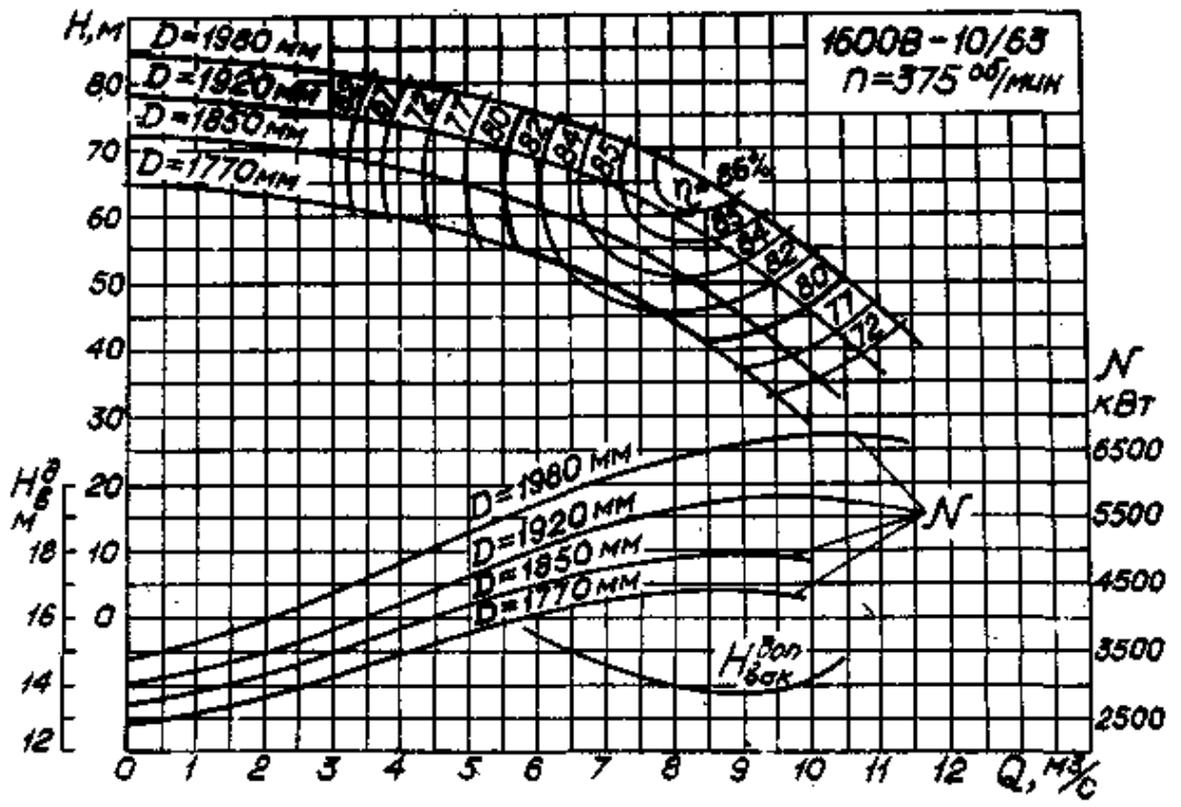


Рисунок Д.18 – Характеристики вертикальных насосов 1600В-10/63 и 1600В-10/40

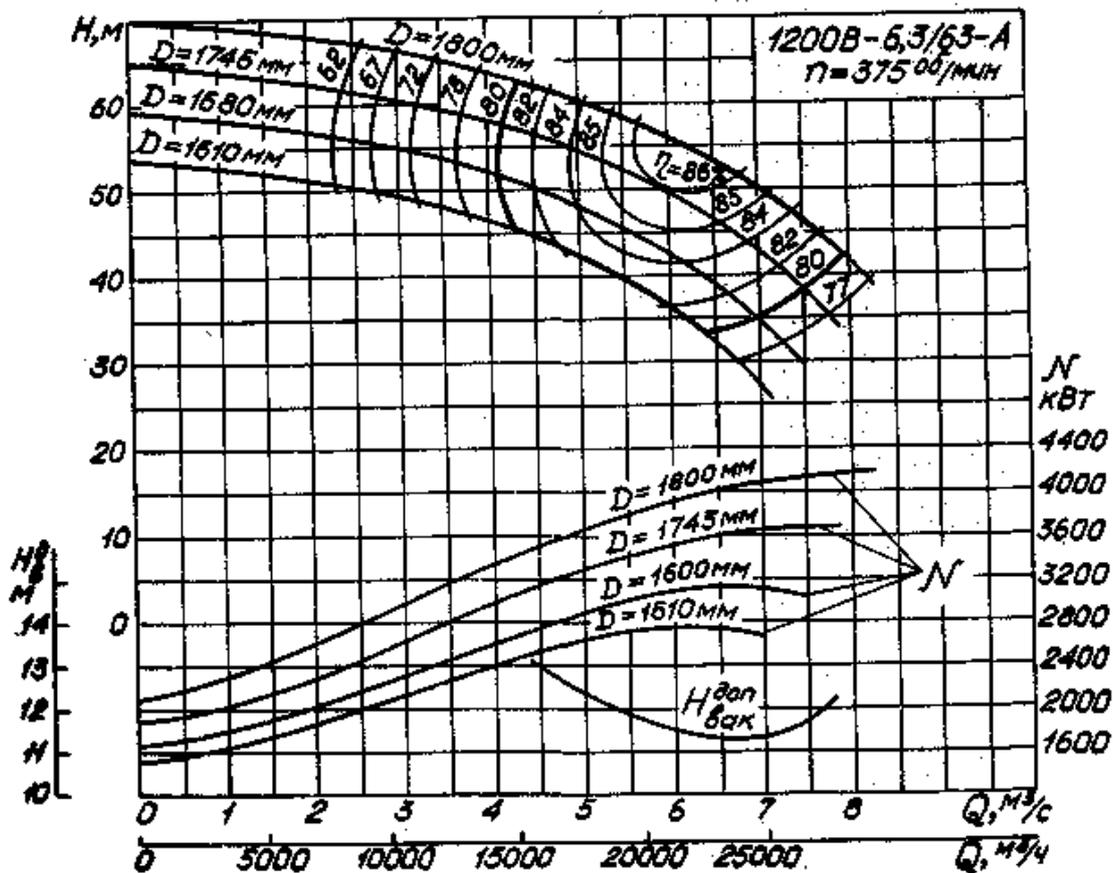
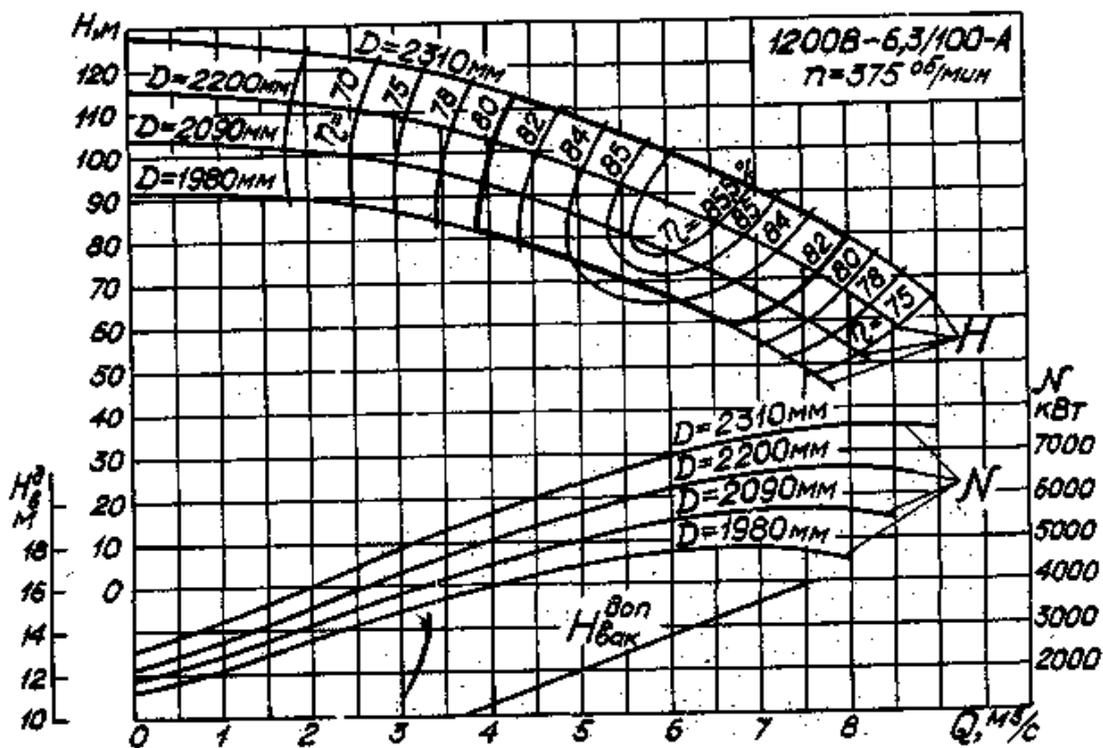


Рисунок Д.19 – Характеристики вертикальных насосов 1200B-6,3/100-A и 1200B-6,3/63-A

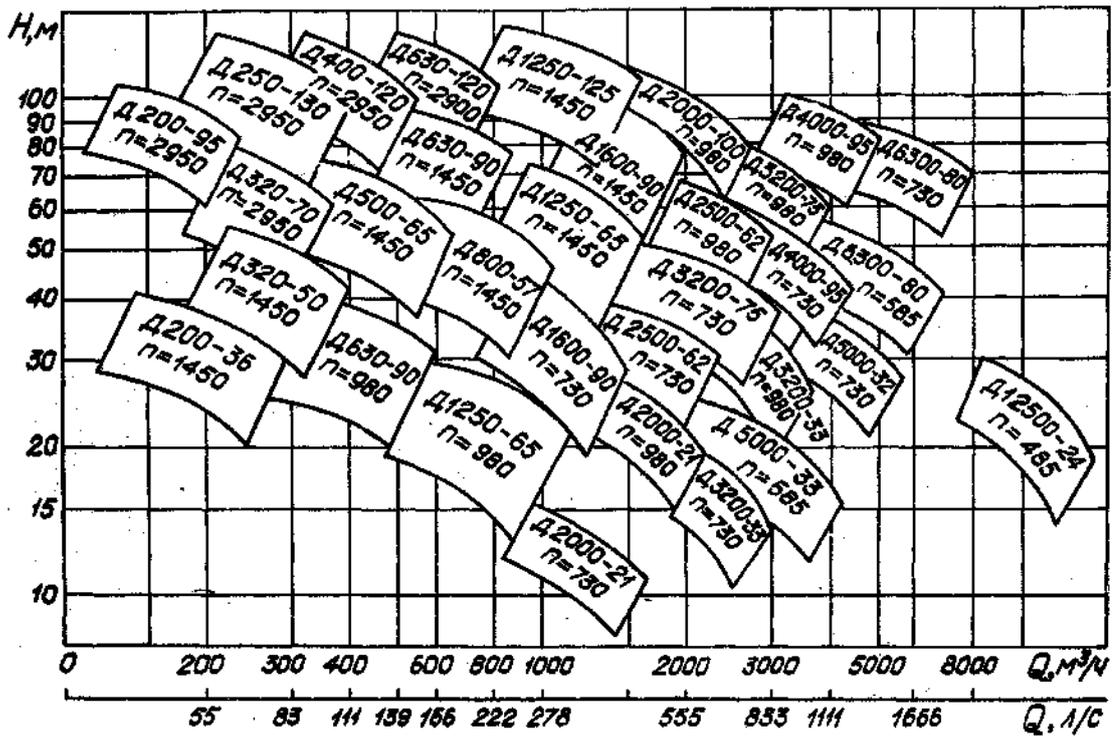


Рисунок Д.20 – Сводный график номенклатуры центробежных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо

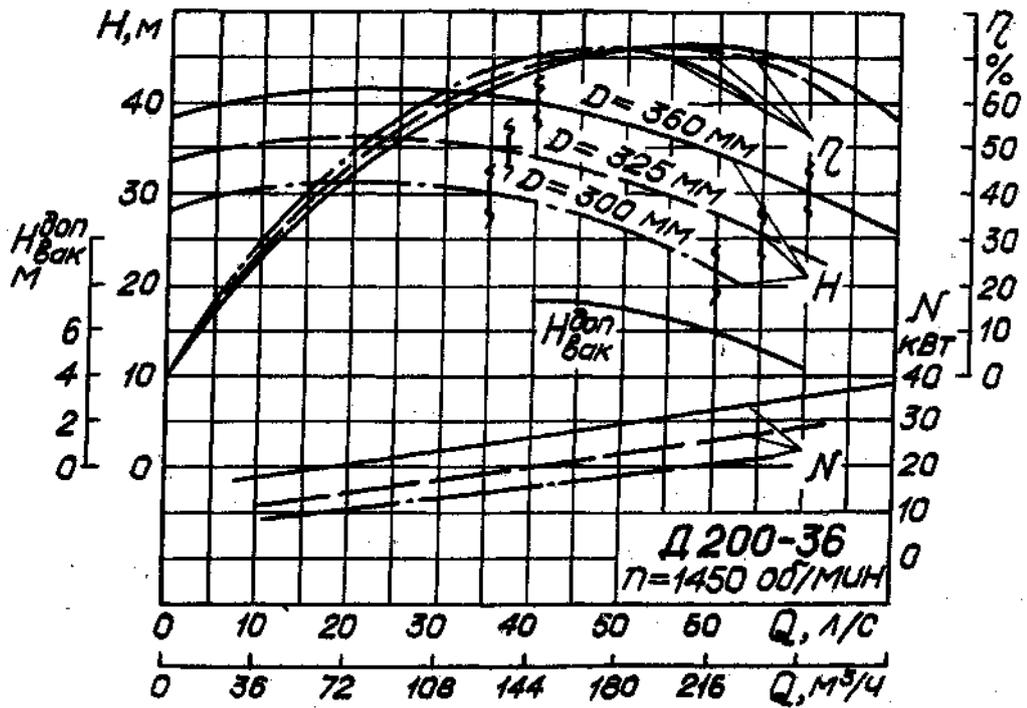


Рисунок Д.21 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д200-36

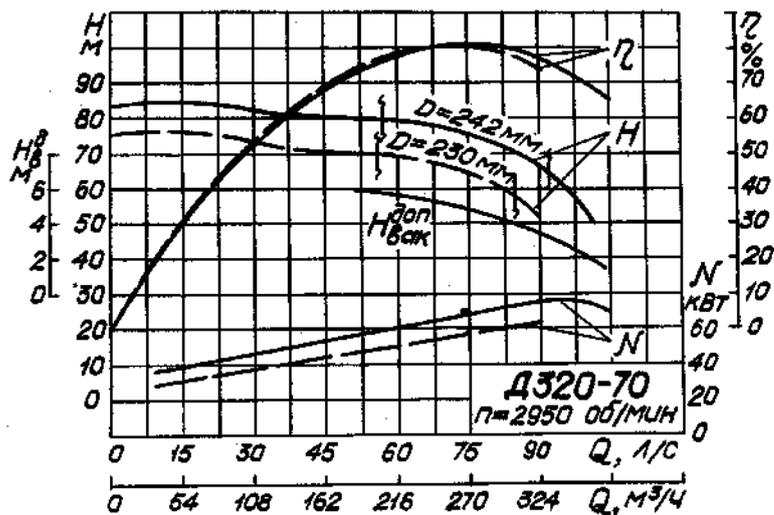


Рисунок Д.22 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д320-70

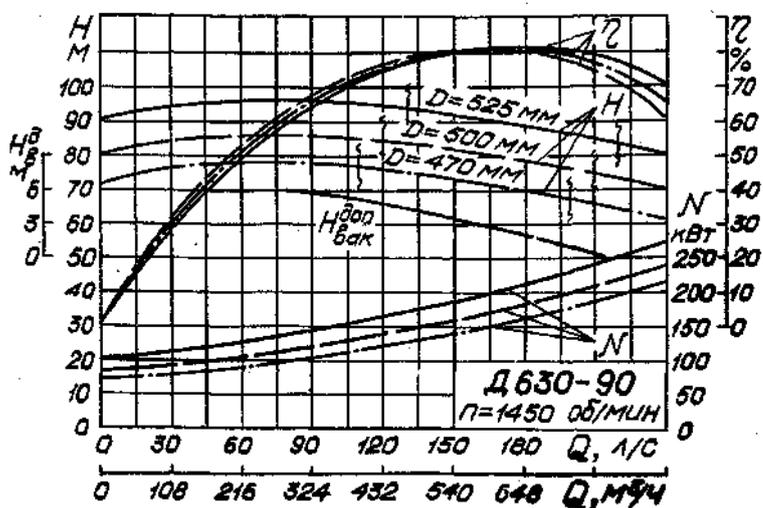


Рисунок Д.23 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д630-90 n = 1450 об/мин

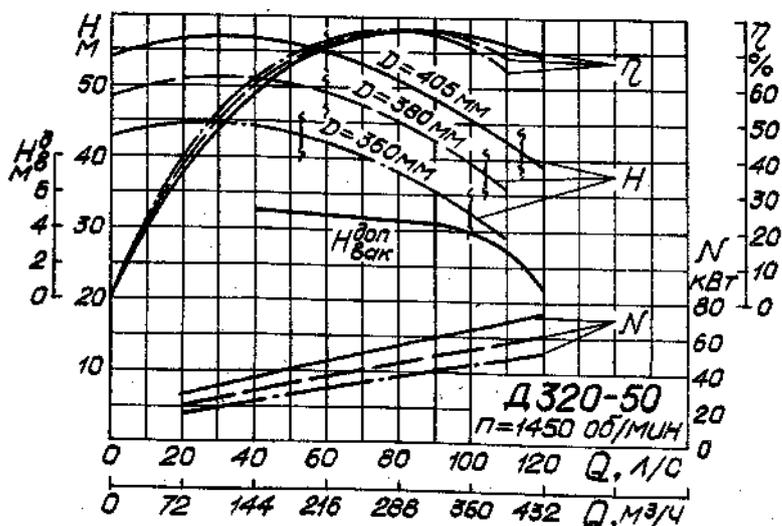


Рисунок Д.24 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д320-50

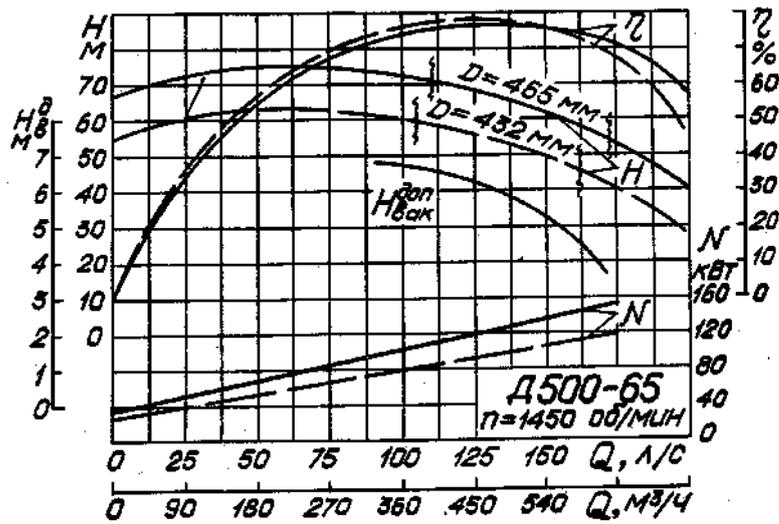


Рисунок Д.25 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д500-65

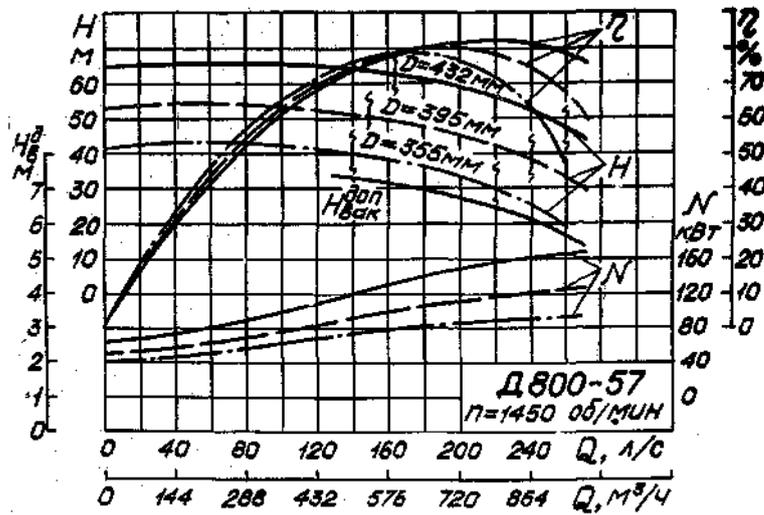


Рисунок Д.26 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д800-57

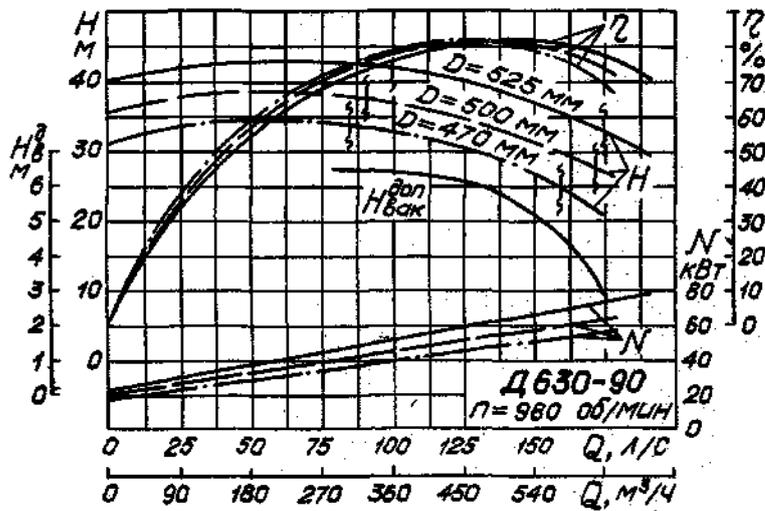


Рисунок Д.27 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д630-90 $n = 980$ об/мин

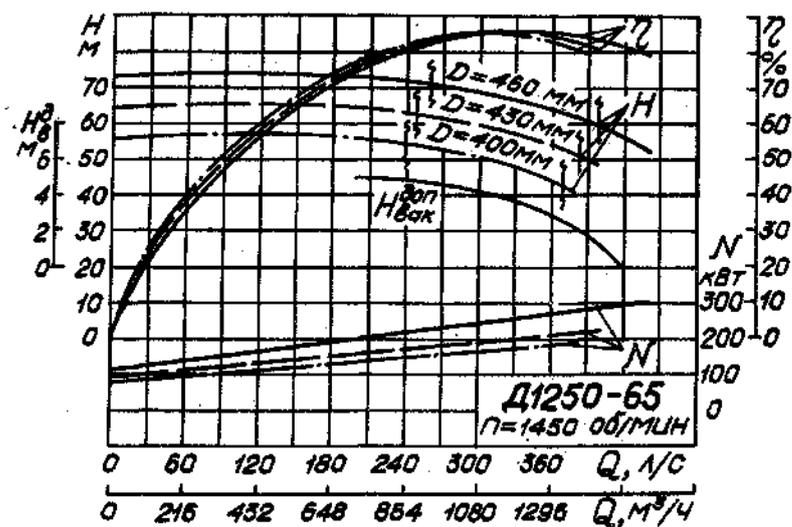


Рисунок Д.28 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д1250-65

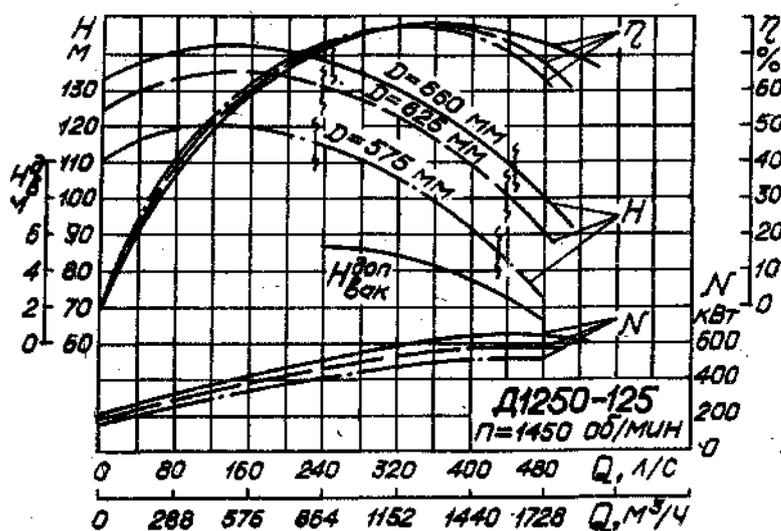


Рисунок Д.29 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д1250-125 $n = 1450$ об/мин

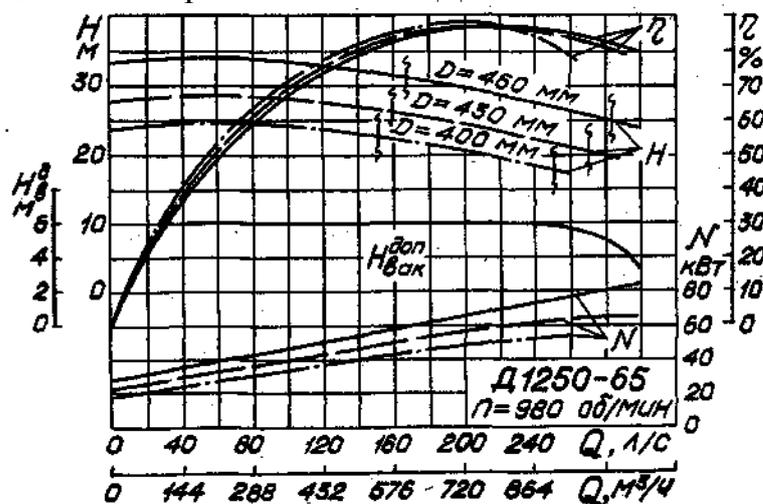


Рисунок Д.30– Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д1250-655 $n = 980$ об/мин

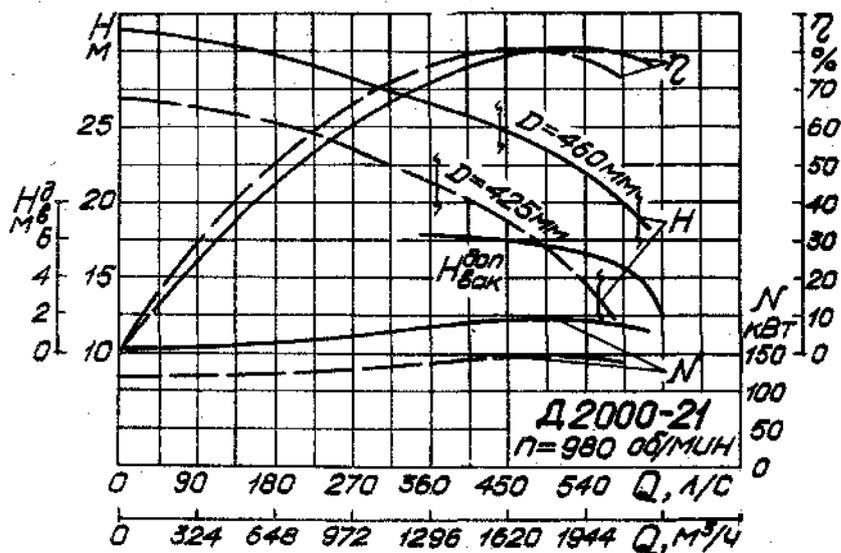


Рисунок Д.31 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д2000-21, $n = 980$ об/мин

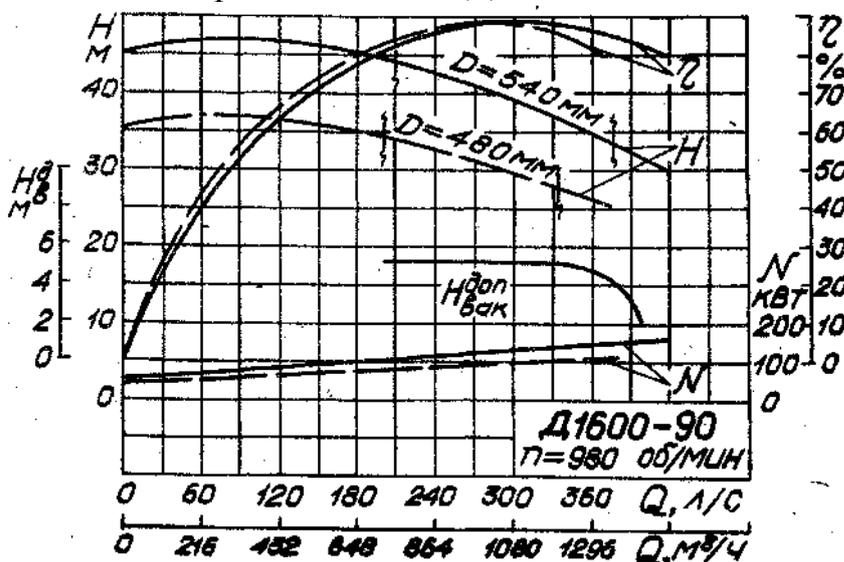


Рисунок Д.32 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д1600-90

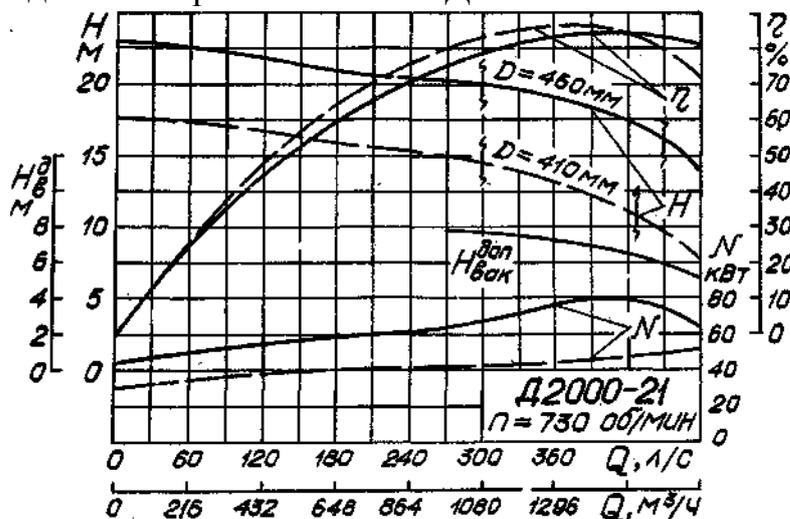


Рисунок Д.33 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д2000-21, $n = 730$ об/мин

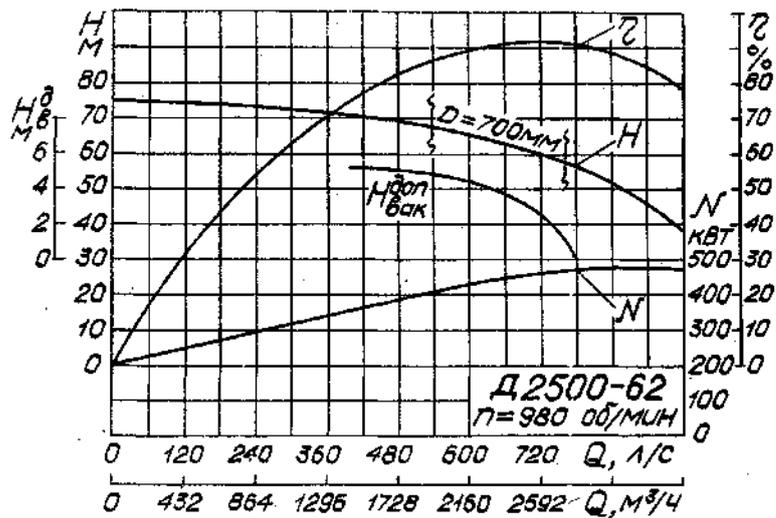


Рисунок Д.34 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д2500-62, $n = 980$ об/мин

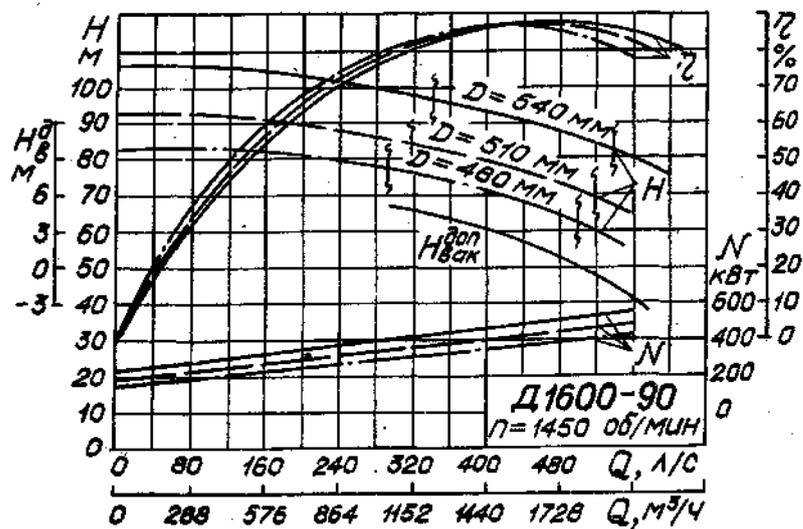


Рисунок Д.35 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д1600-90

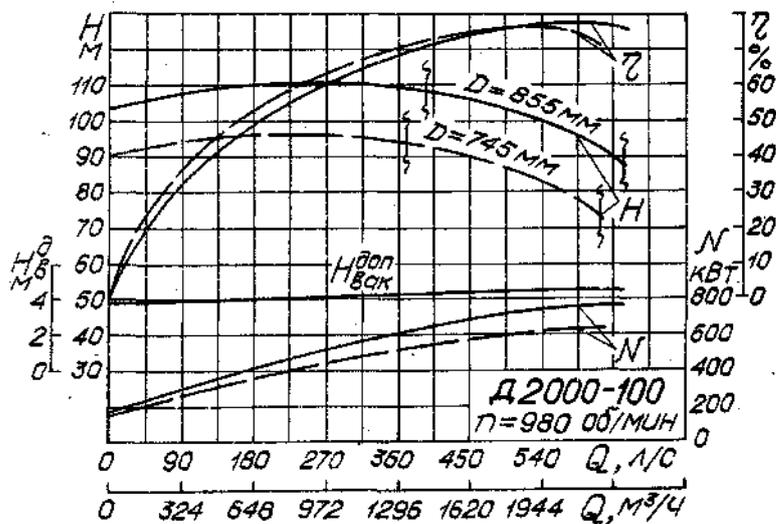


Рисунок Д.36 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д2000-100

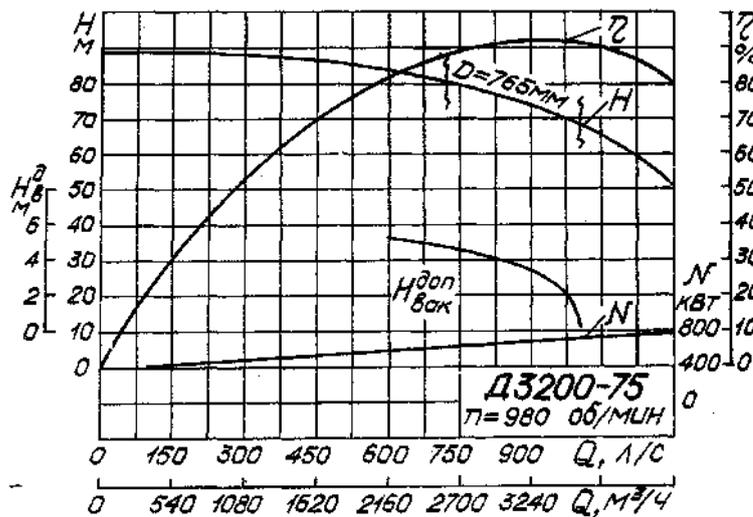


Рисунок Д.36 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д3200-75, $n = 980$ об/мин

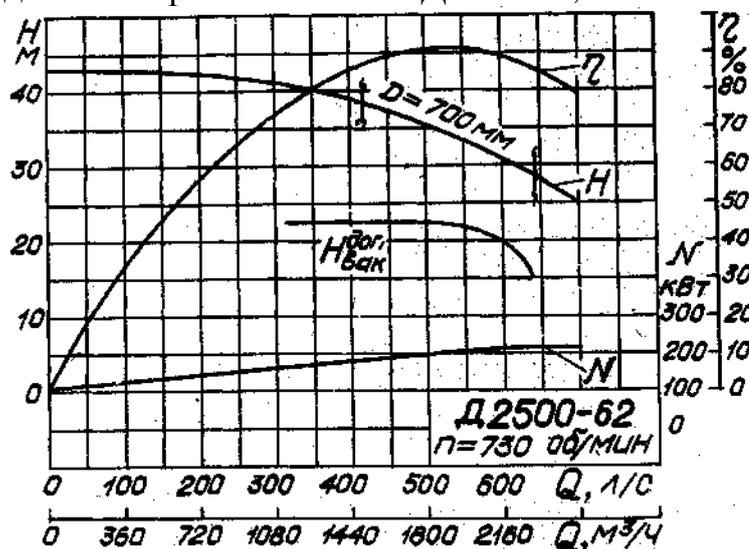


Рисунок Д.37 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д2500-62, $n = 730$ об/мин

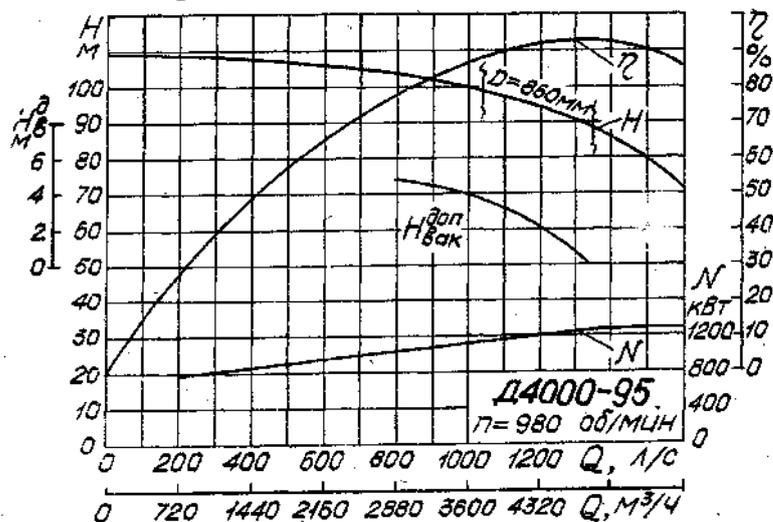


Рисунок Д.38 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д4000-95, $n = 980$ об/мин

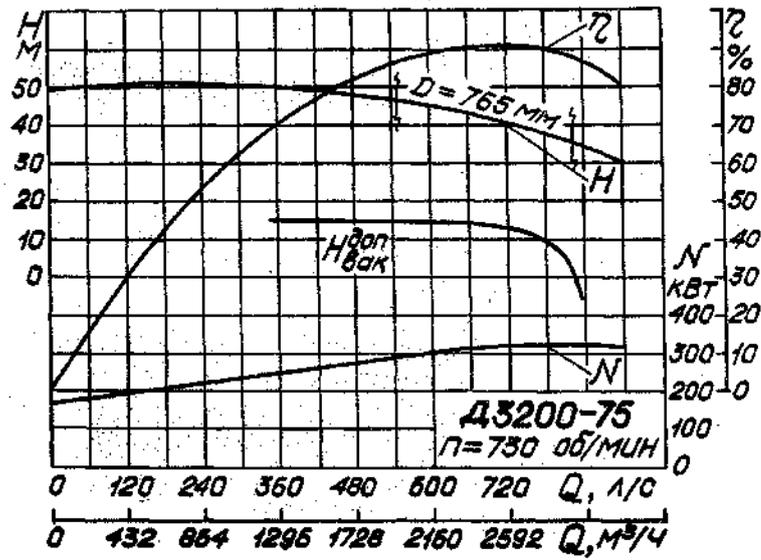


Рисунок Д.39 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д3200-75, $n = 730$ об/мин

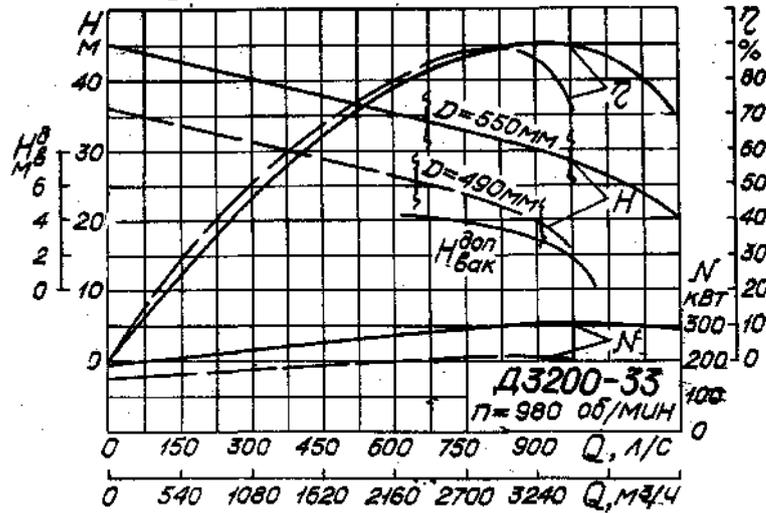


Рисунок Д.40 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д3200-33, $n = 980$ об/мин

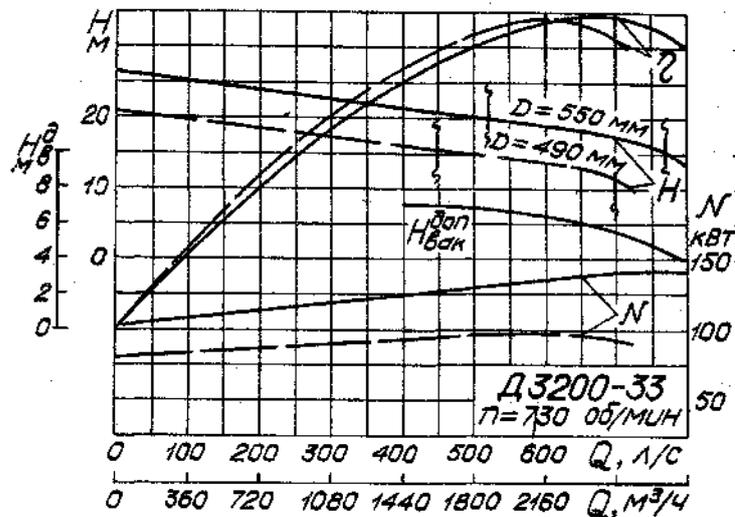


Рисунок Д.41 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д3200-33, $n = 730$ об/мин

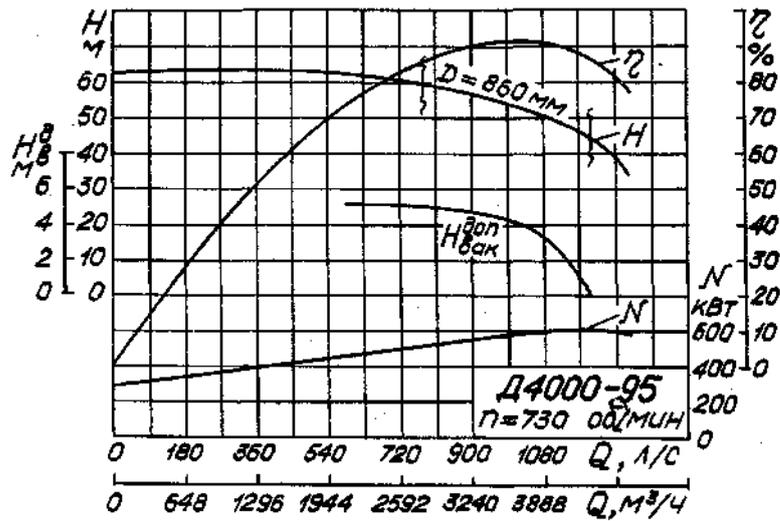


Рисунок Д.42 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д4000-75, $n = 730$ об/мин

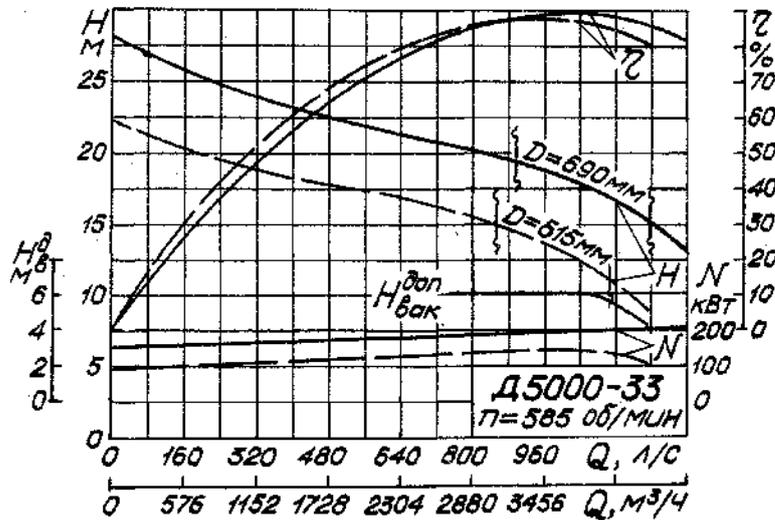


Рисунок Д.43 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д5000-33, $n = 585$ об/мин

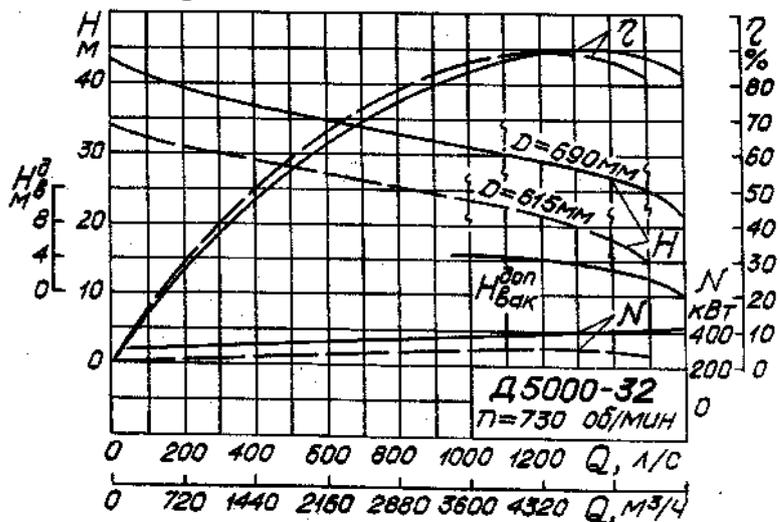


Рисунок Д.44 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д5000-32, $n = 730$ об/мин

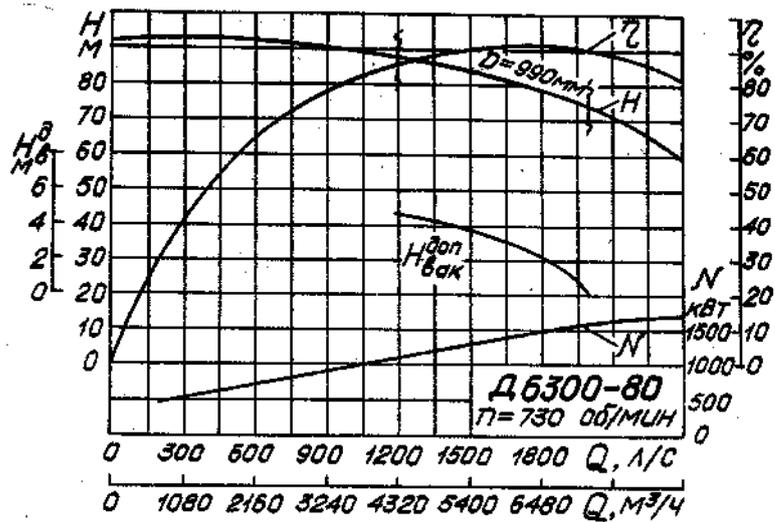


Рисунок Д.45 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д6300-80, $n = 730$ об/мин

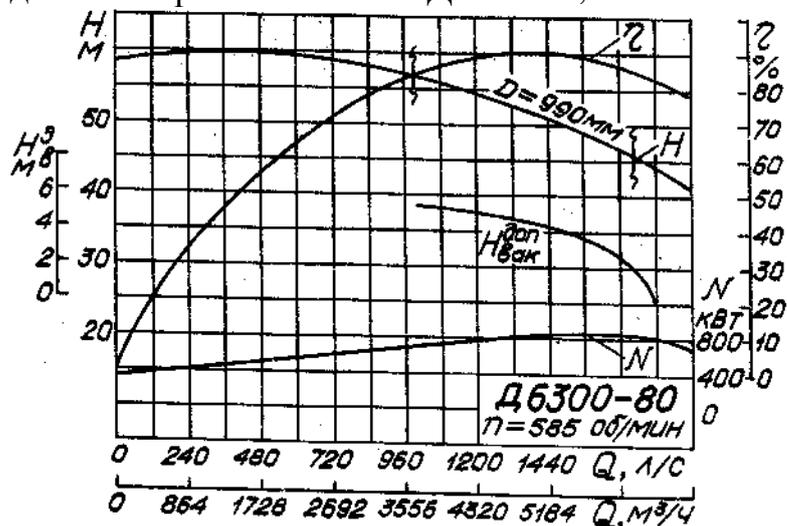


Рисунок Д.46 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д6300-80, $n = 585$ об/мин

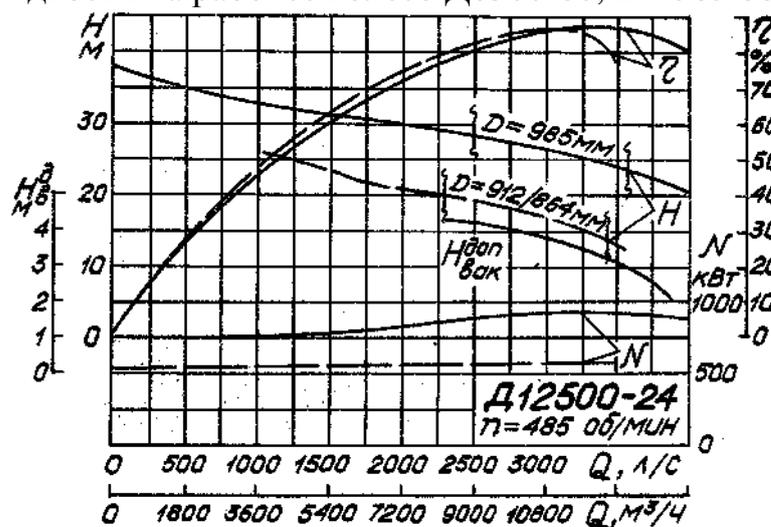


Рисунок Д.47 – Характеристики вертикальных насосов с двухсторонним входом жидкости на рабочее колесо Д12500-24

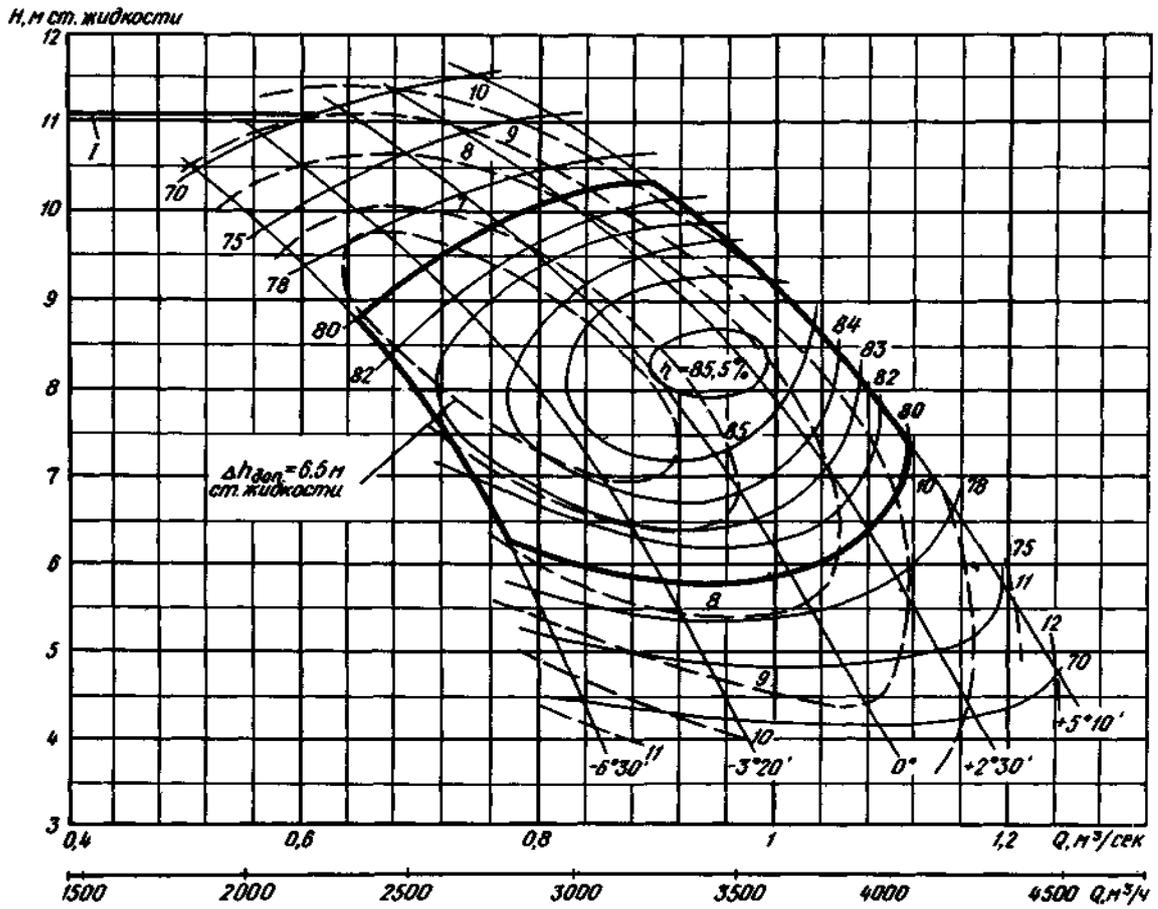


Рисунок Д.50 – Характеристика насоса 05-47; $n=980$ об/мин; $D_{p.k.} = 470$ мм

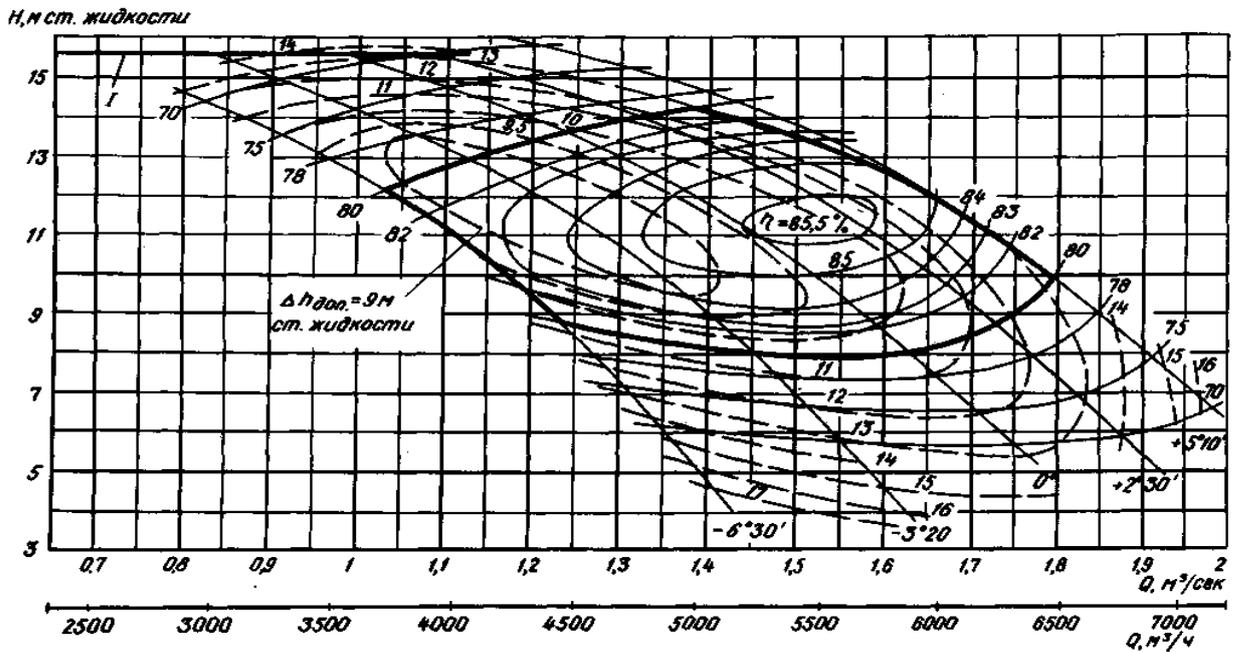


Рисунок Д.51 – Характеристика насоса 05-55; $n=960$ об/мин; $D_{p.k.} = 550$ мм

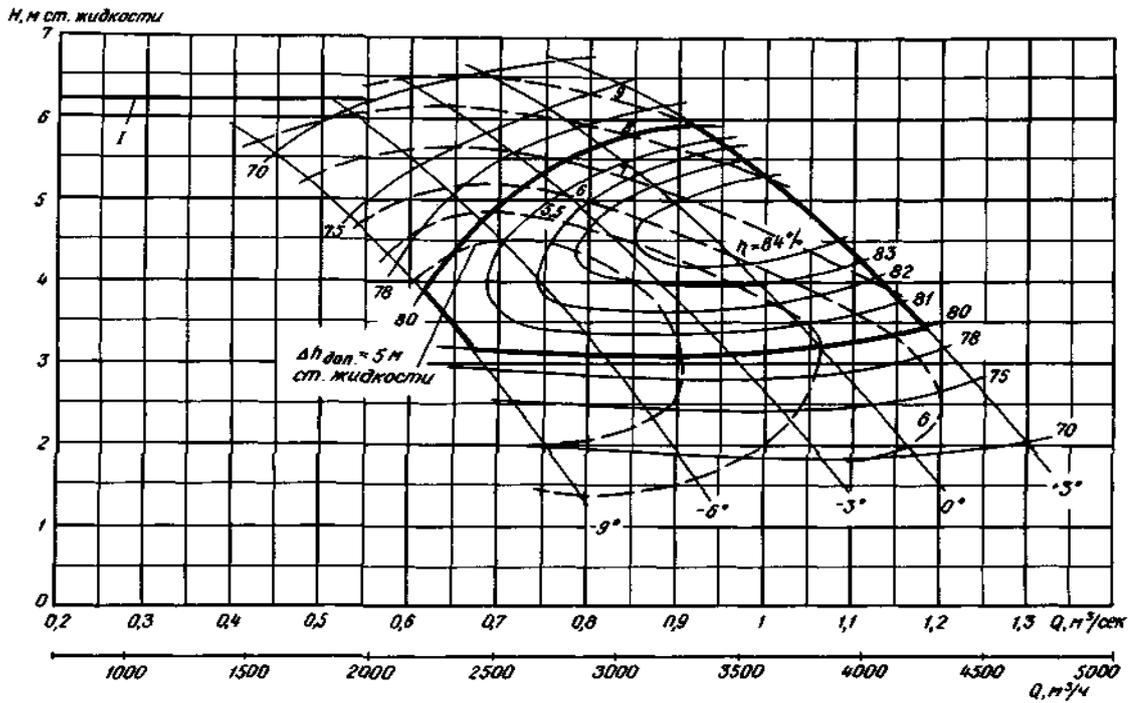


Рисунок Д.52 – Характеристика насоса 06-55; $n = 730$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 550$ мм

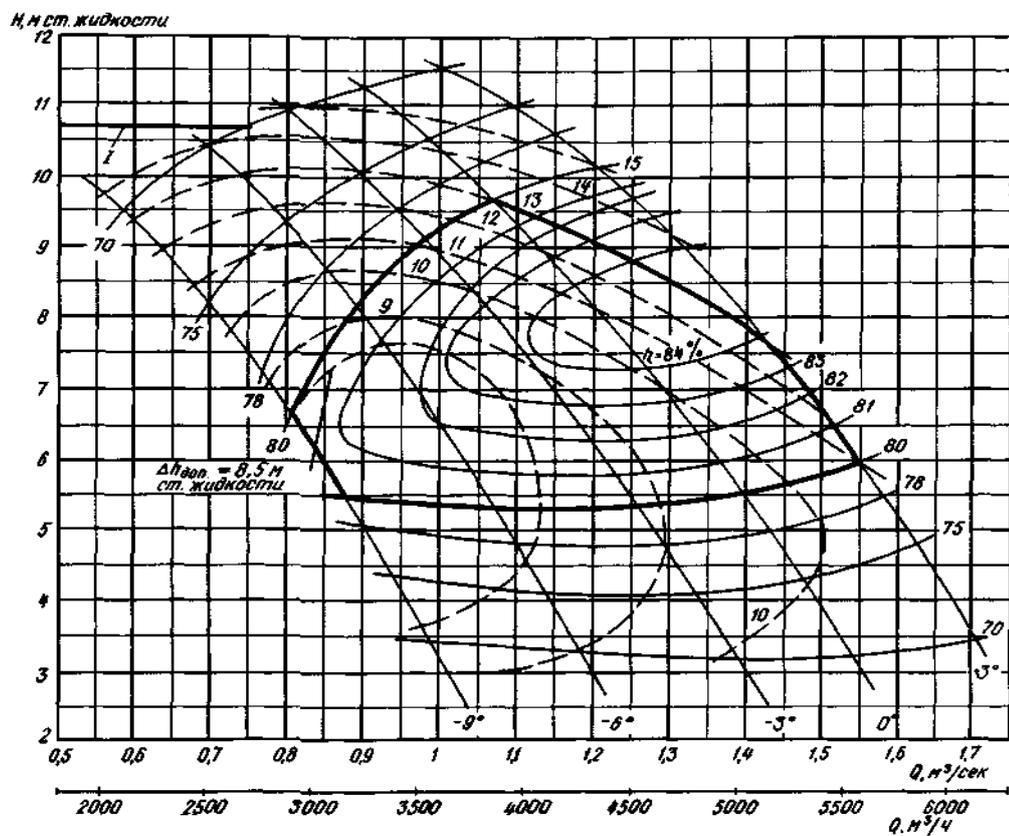
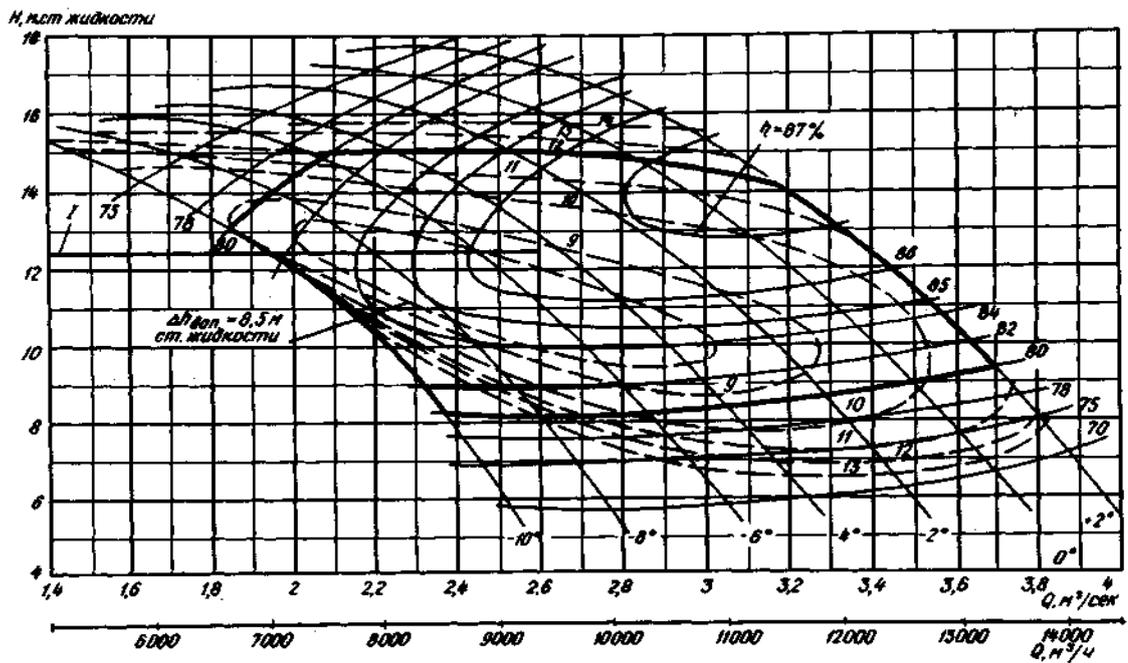


Рисунок Д.53 – Характеристика насоса 06-55; $n = 960$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 550$ мм

ММ



р.

Рисунок Д.54 – Характеристика насоса ОП2-87; $n=586$ об/мин; $D_{\text{р.к.}}=970$ мм

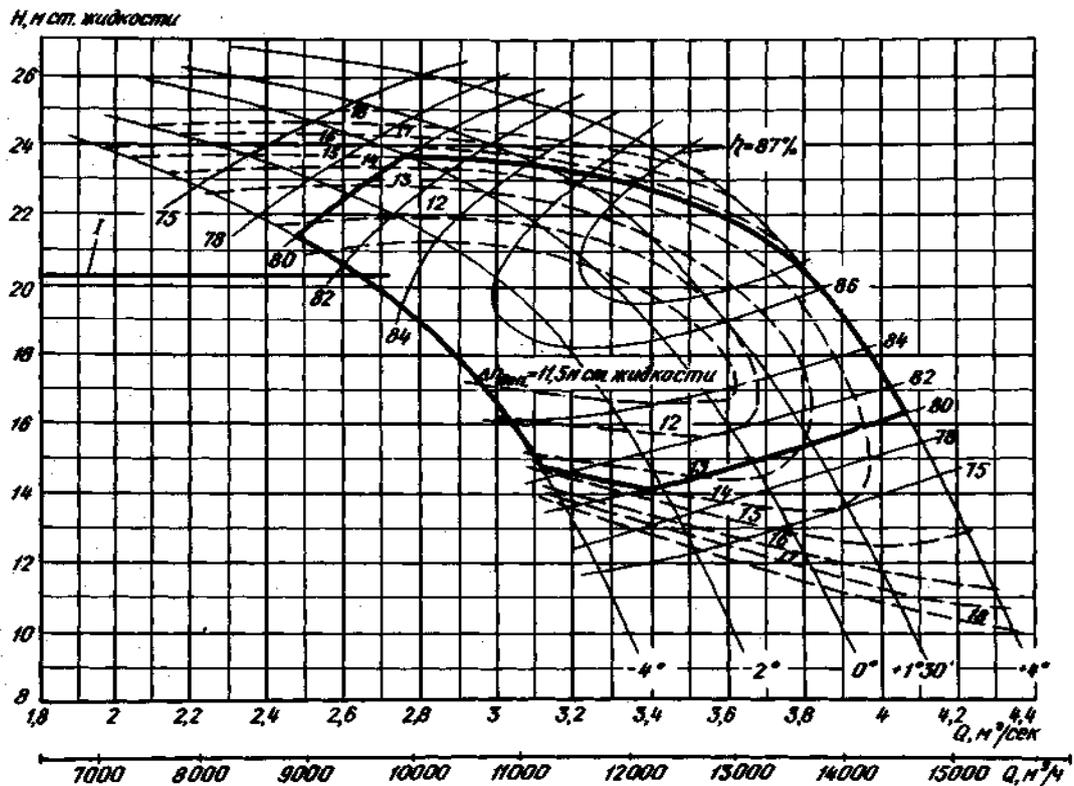


Рисунок Д.55 – Характеристика насоса ОП3-87; $n=730$ об/мин; $D_{\text{р.к.}}=870$ мм

Н, м ст. жидкости

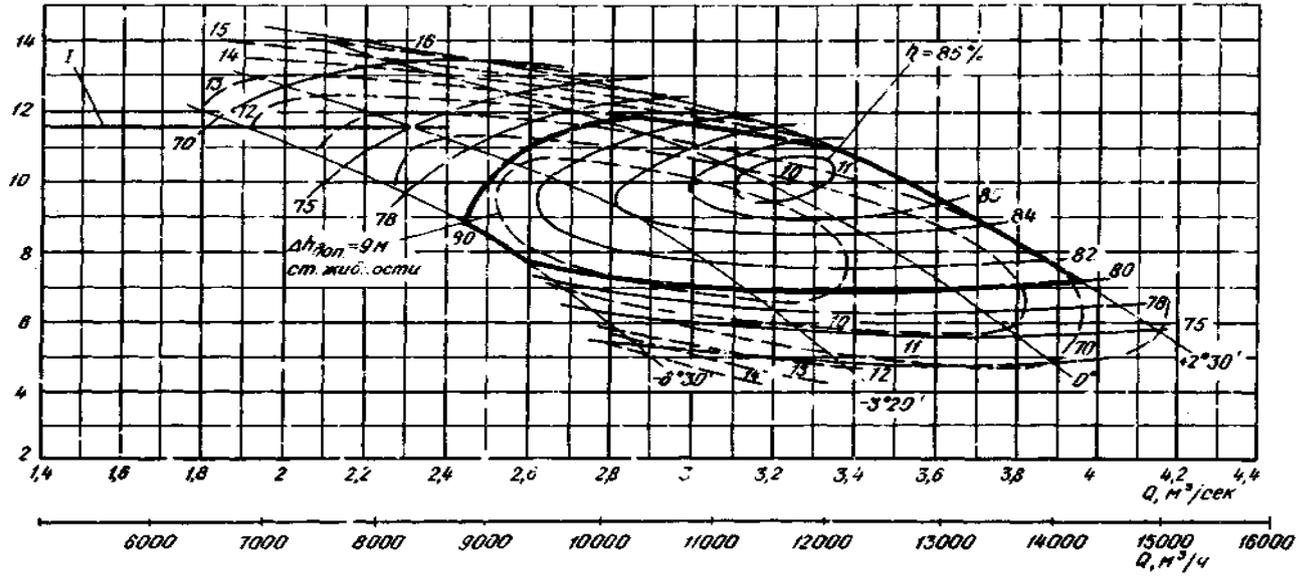
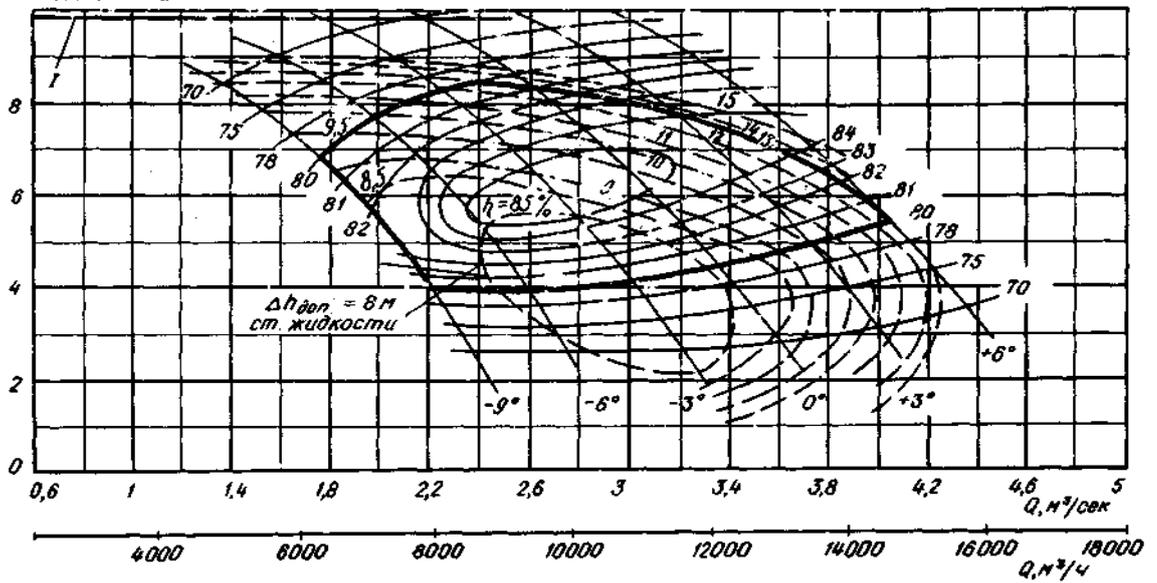


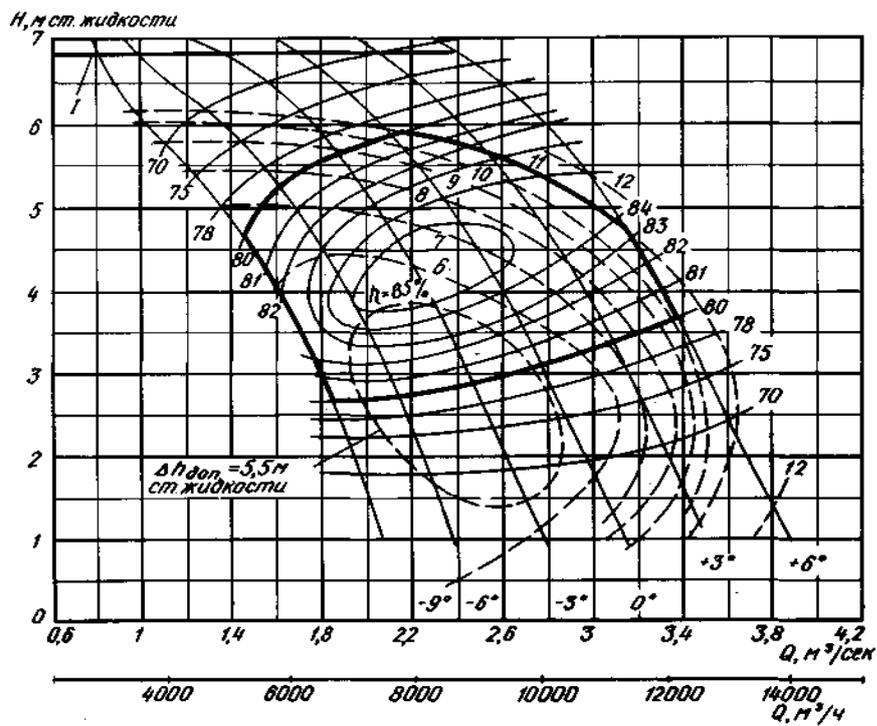
Рисунок Д.56 – Характеристик насоса ОП5-87; $n=585$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 870 \text{ мм}$

Н, м ст. жидкости



р.к.

Рисунок Д.57 – Характеристика насоса ОП6-87; $n=585$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 870 \text{ мм}$



р.к

Рисунок Д.58 – Характеристика насоса ОП6-87; $n=485$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 870$ мм

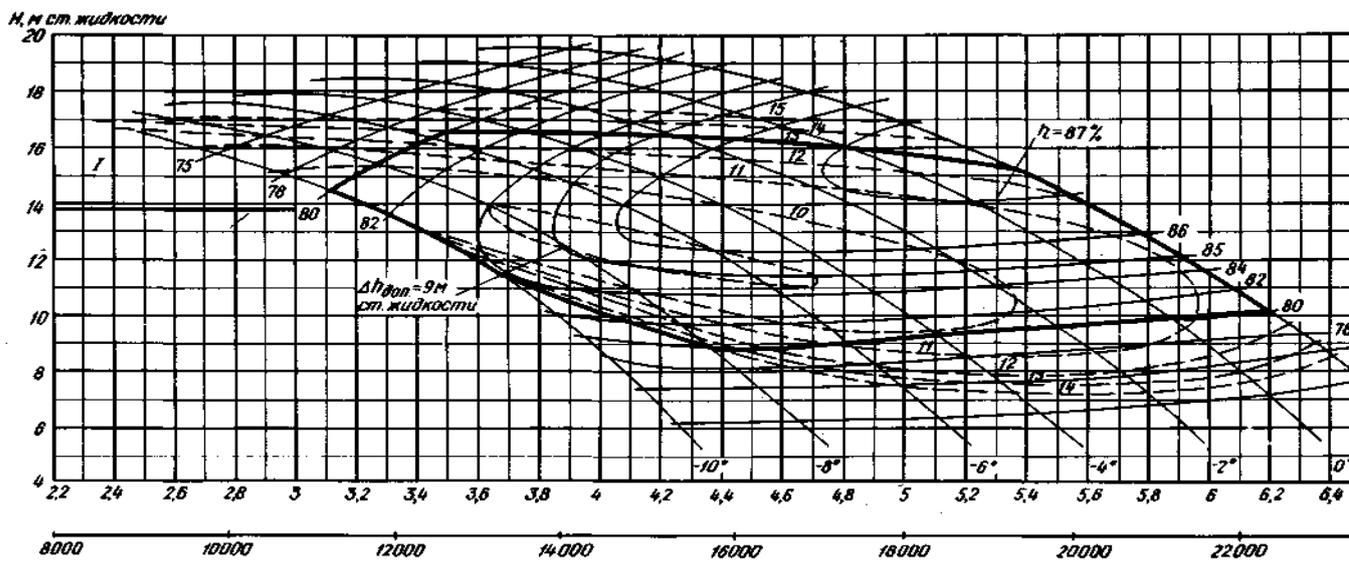
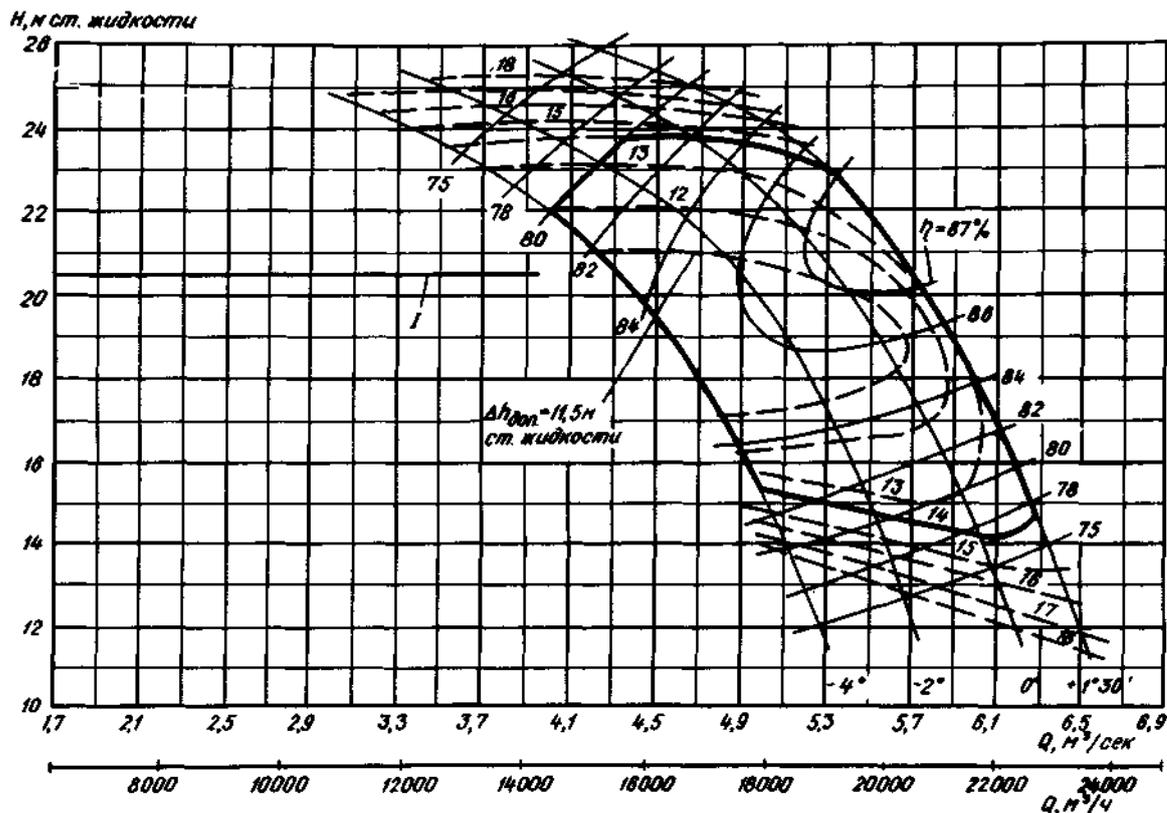
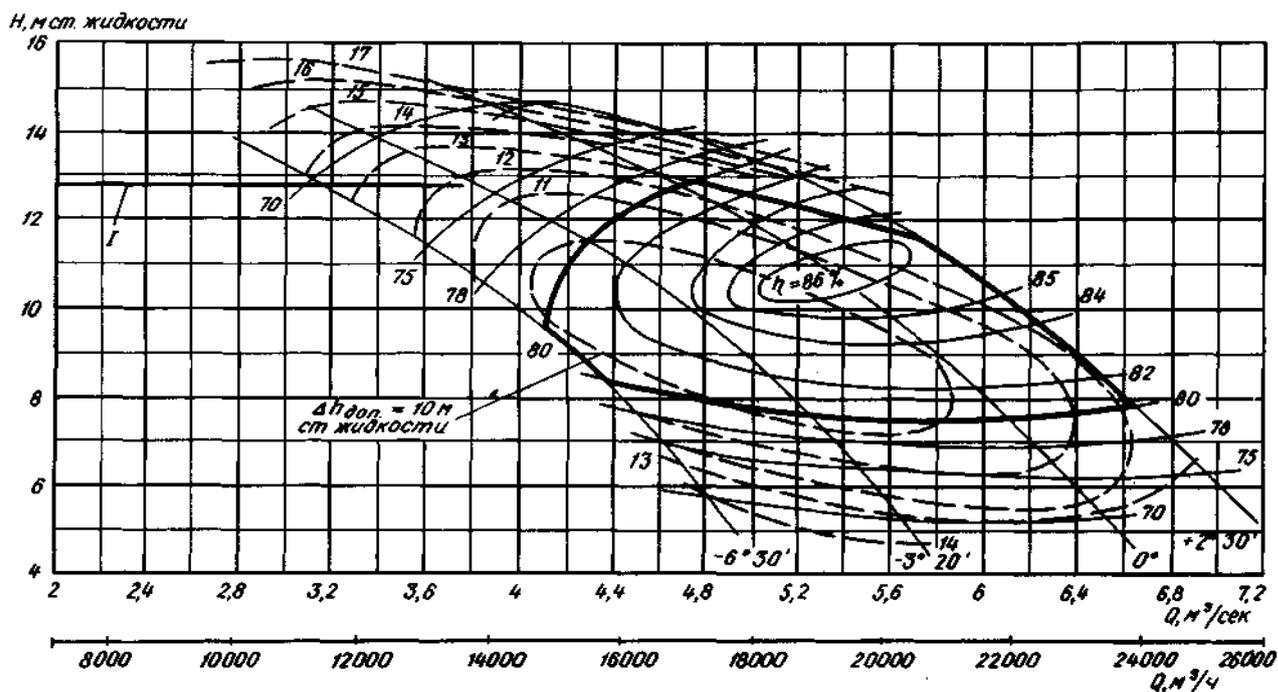


Рисунок Д.59 – Характеристика насоса ОП2-110; $n=485$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1100$ мм



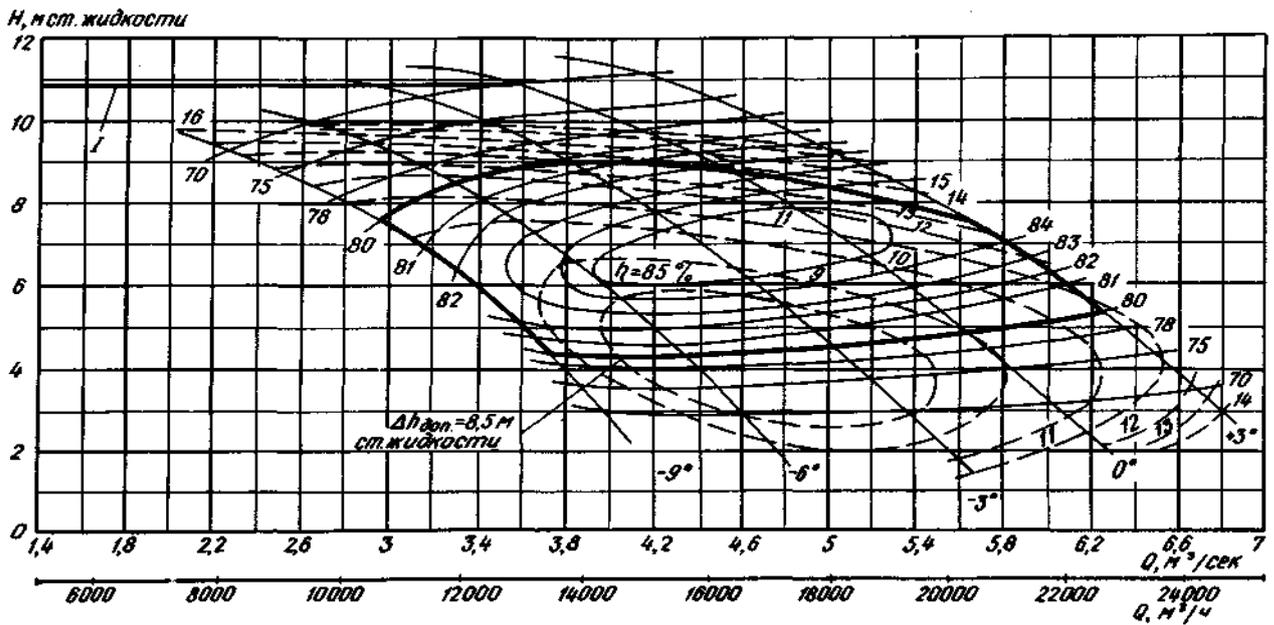
р. .

Рисунок Д.60 – Характеристика насоса ОПЗ-110; $n = 585$ об/мин; $D_{р.к.} = 1100$ мм



р.к

Рисунок Д.61 – Характеристика насоса ОП5-110; $n=485$ об/мин; $D_{р.к.} = 1100$ мм



р.к.

Рисунок Д.62 – Характеристика насоса ОП6-110; $n=485$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1100$ мм

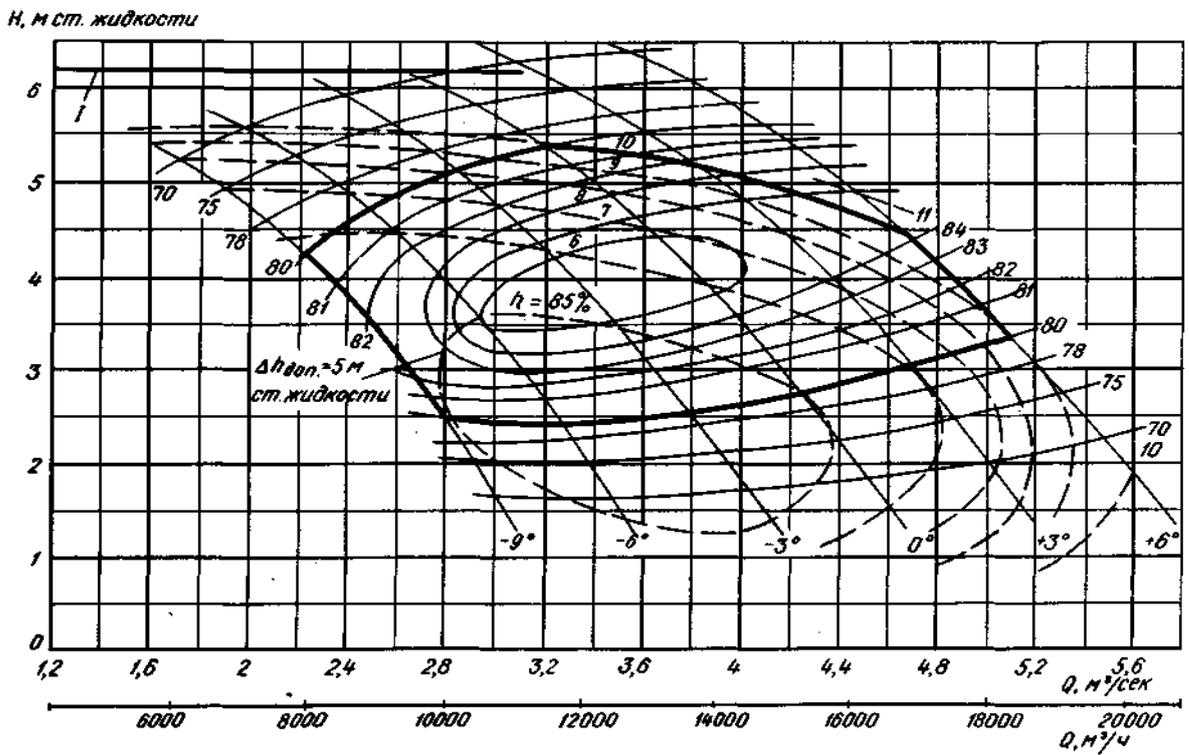
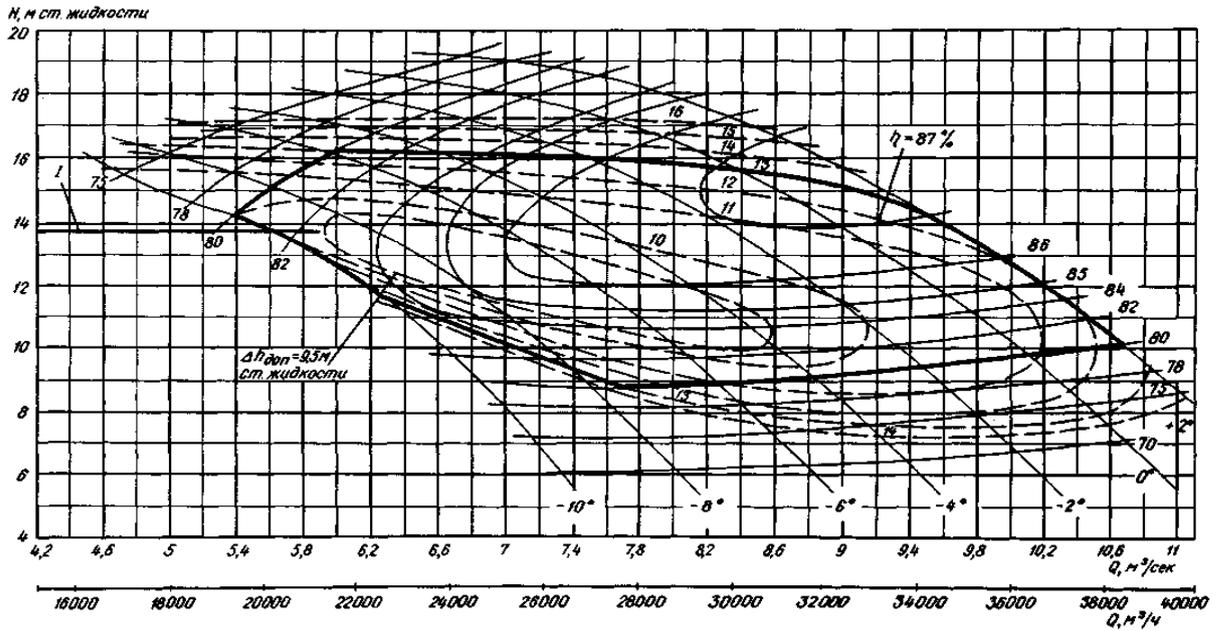


Рисунок Д.63 – Характеристика насоса ОП6-110; $n=365$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1100$ мм



Р. .

Рисунок Д.64 – Характеристика насоса ОП2-145; $n=365$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1450$ мм

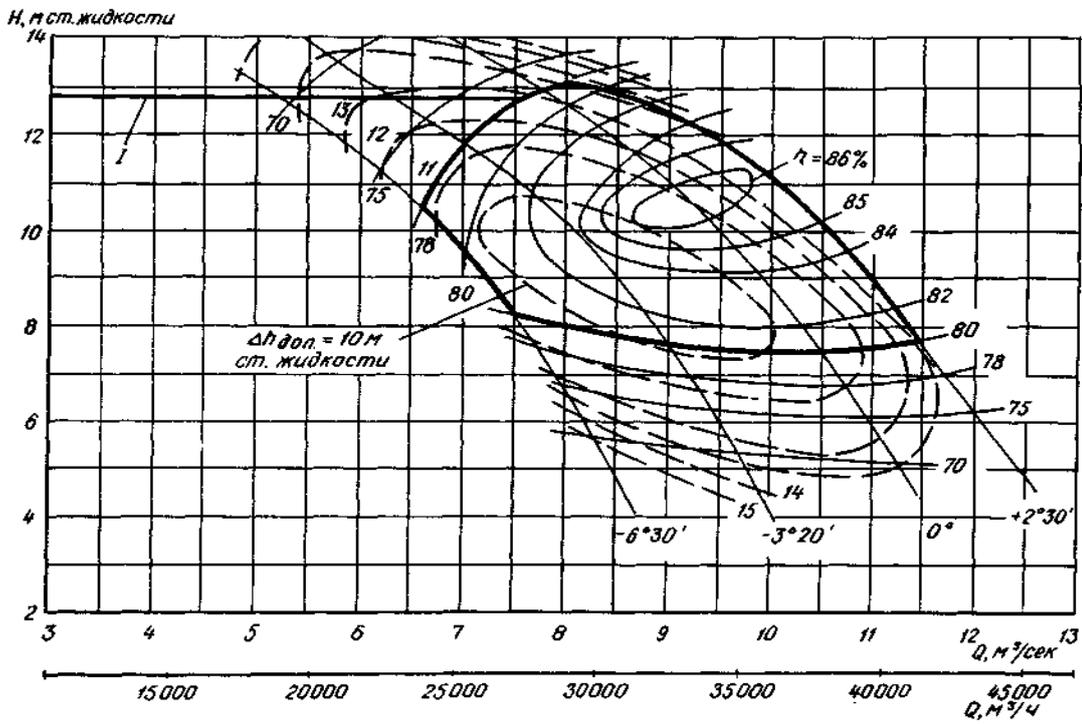
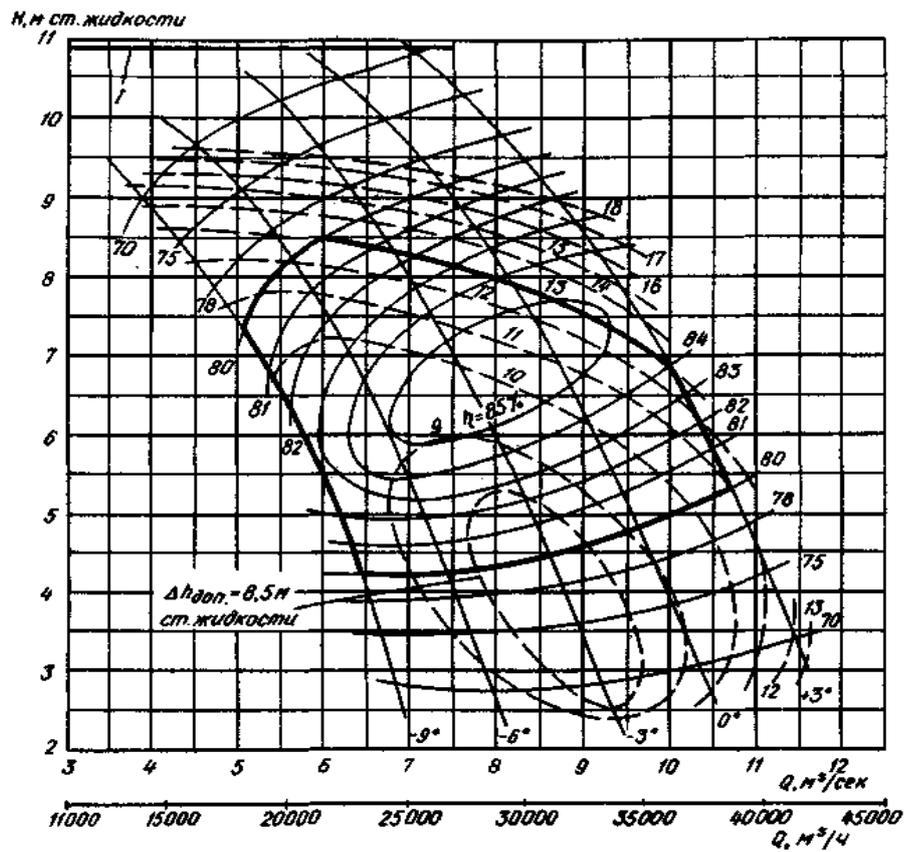
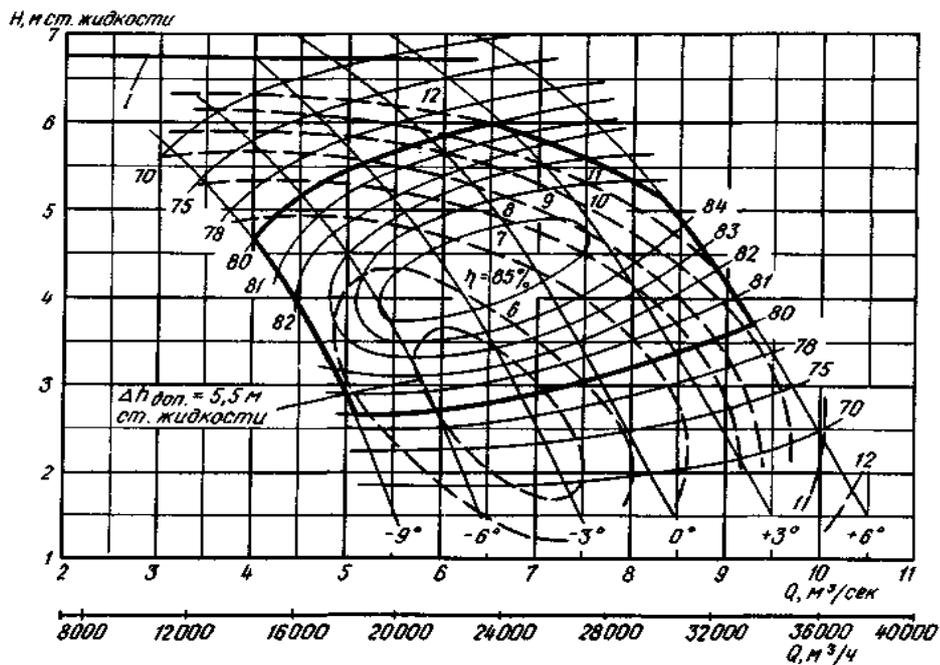


Рисунок Д.65 – Характеристика насоса ОП5-145; $n=365$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1450$ мм



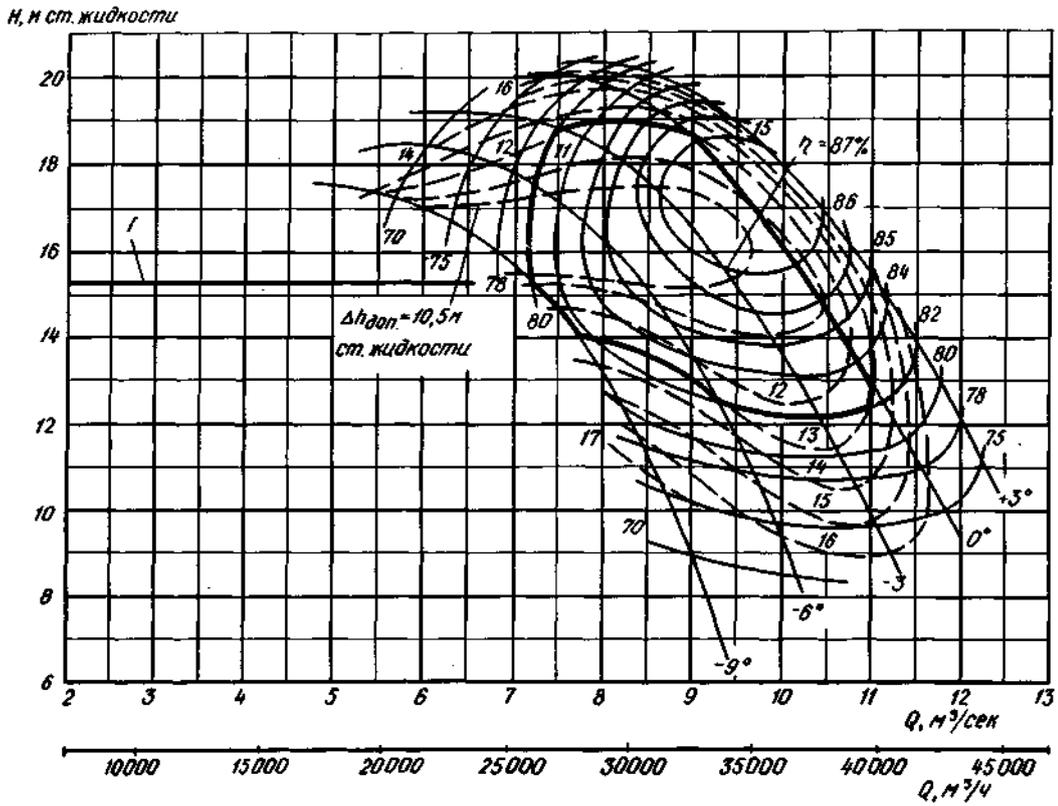
Р. . .

Рисунок Д.66 – Характеристика насоса ОП6-145; $n=365$ об/мин; $D_{р.к.} = 1450$ мм



Р. . .

Рисунок Д.67 – Характеристика насоса ОП6-145; $n=290$ об/мин; $D_{р.к.} = 1450$ мм



р.к.

Рисунок Д.68 – Характеристика насоса ОП10-145; $n=365$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1450$ мм

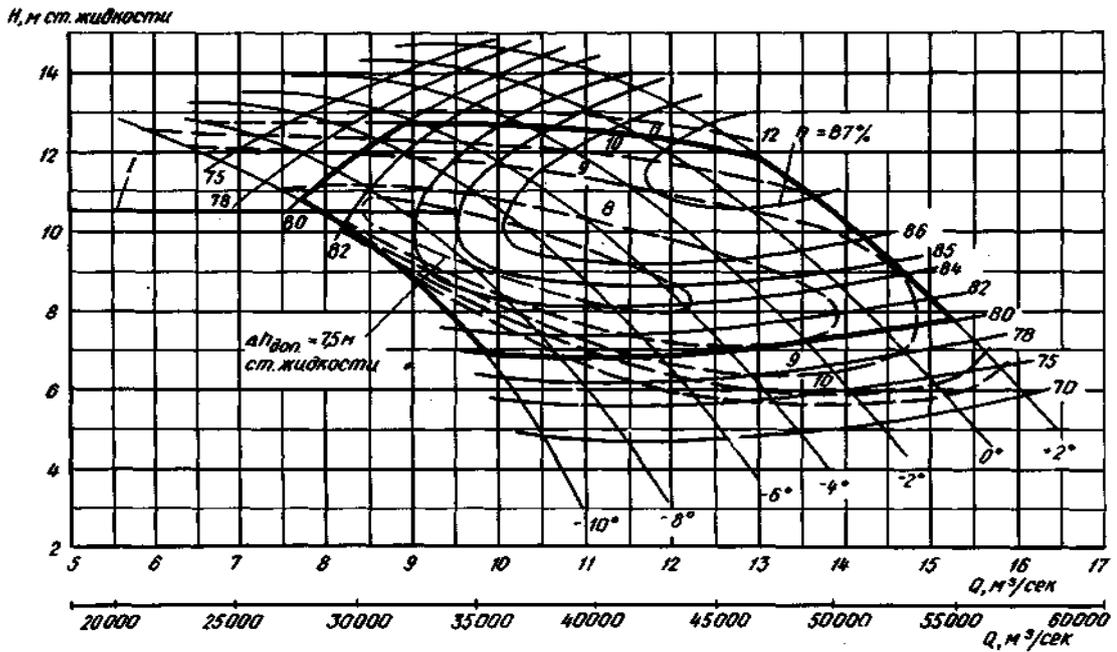


Рисунок Д.69 – Характеристика насоса ОП2-185; $n=250$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1850$ мм

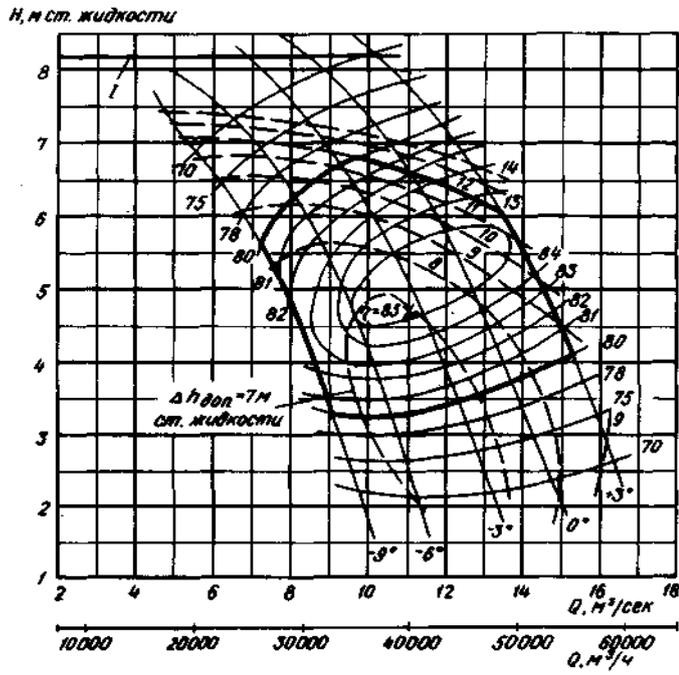


Рисунок Д.70 – Характеристика насоса ОП8-185; $n=250$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1850$ мм

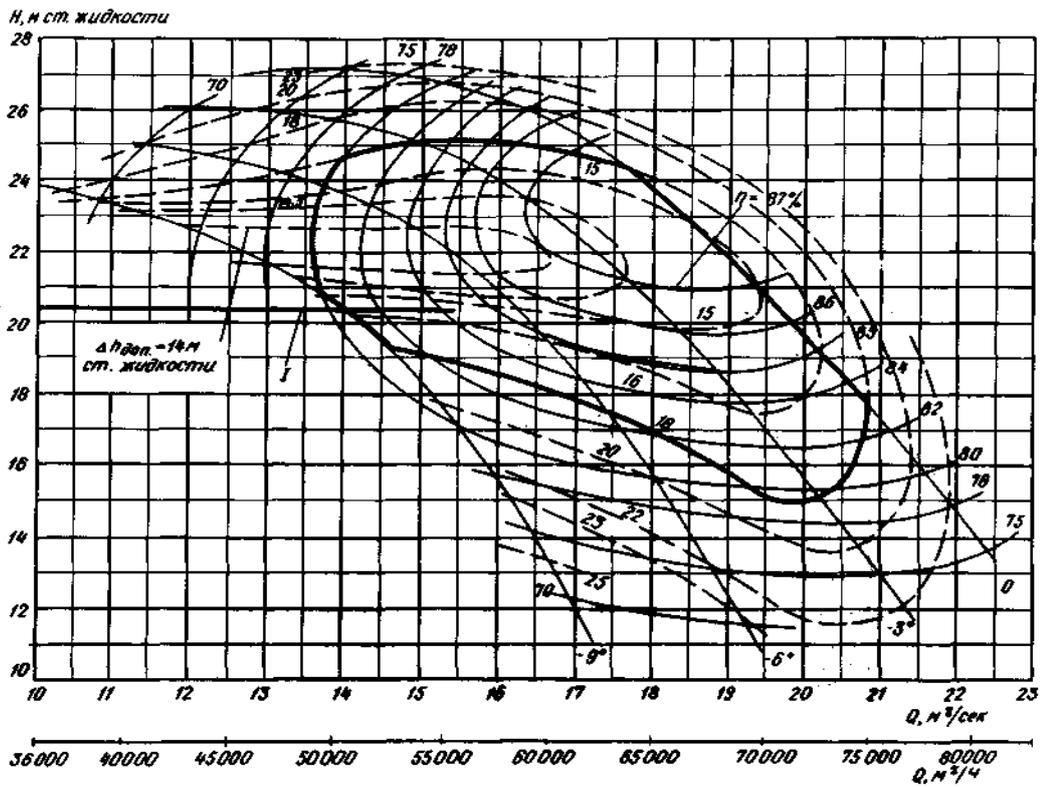


Рисунок Д.71 – Характеристика насоса ОП10-185; $n=33\text{Э}$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 1850$ мм

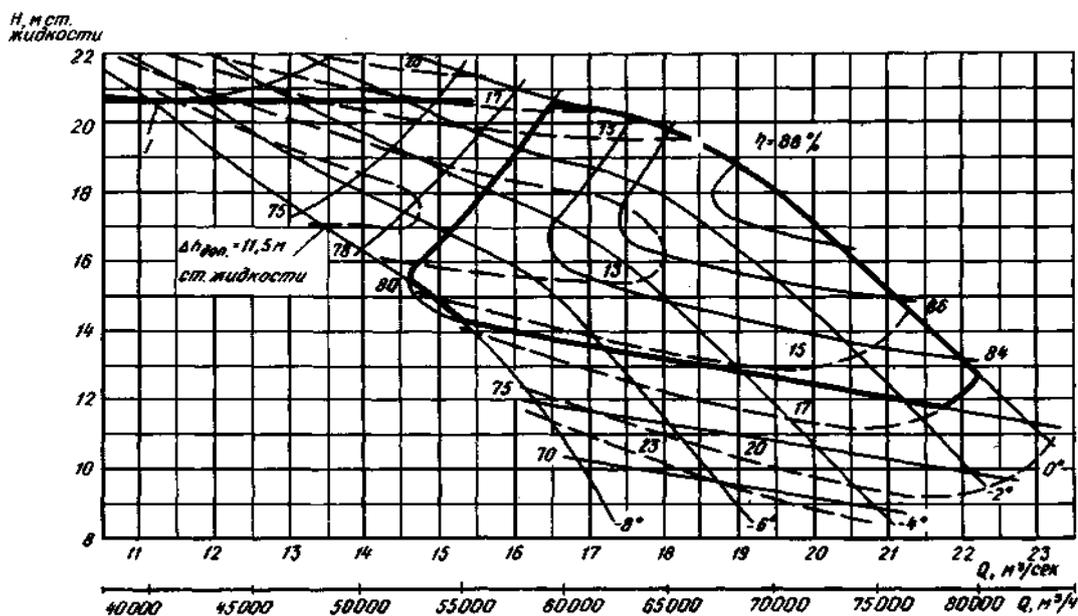
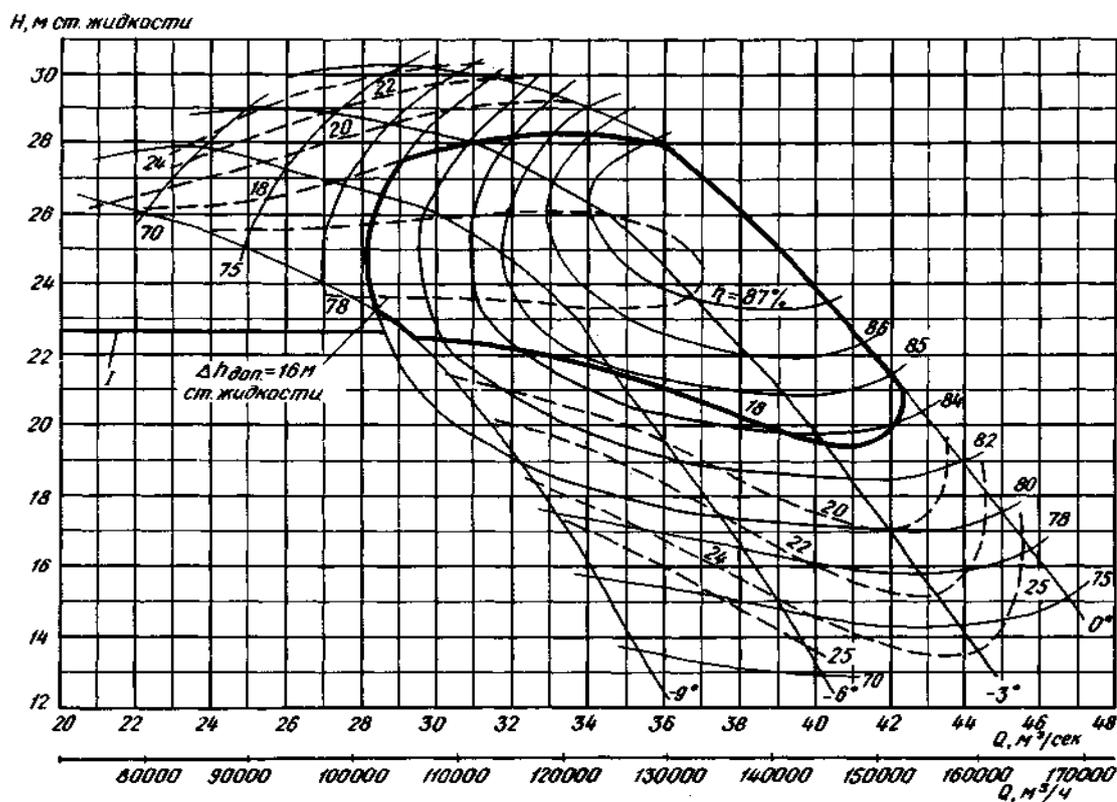


Рисунок Д.72 – Характеристика насоса ОП11-185; $n=333$ об/мин; $D_{\text{р.к.}}=1880$ мм



р.к.

Рисунок Д.73 – Характеристика насоса ОП10-260; $n=250$ об/мин; $D_{\text{р.к.}}=2600$ мм

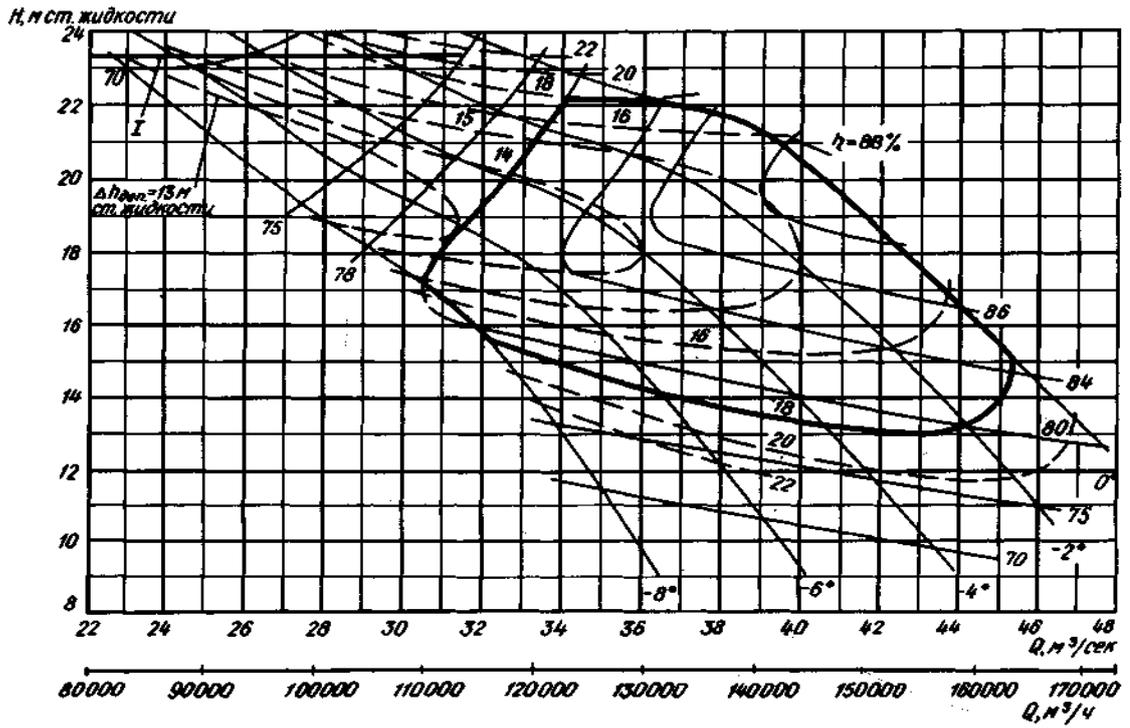


Рисунок Д.74 – Характеристика насоса ОП11-260; $n=250$ об/мин; $D_{\text{р.к.}} = 2600$ мм

ЛИТЕРАТУРА

Абрамов Н.Н. Расчет водопроводных сетей. / Абрамов Н.Н., Поспелова М.М., Сомов М.А. – Москва: Стройиздат, 1983.

Аракельян Л.В. и др. Методические рекомендации по проектированию головной мелиоративной станции на тупиковом канале. – Краснодар: КГАУ, 1989.

Аракельян Л.В., Лысенко В.В., Инженерное оборудование территорий. Краснодар: КубГАУ, 2003 – 186 с.

Громадский А.В. и др. Нормативные материалы и рекомендации по расчетам систем сельскохозяйственного водоснабжения. - Краснодар: КубГАУ. 1994. – 130 с.

Калищун В.И. и др. Гидравлика водоснабжения и канализация. – М.: Стройиздат. 1980. – 359 с.

Николадзе Г.Н., Сомов М.А. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.

Павлов Д.С., Пахоруков А.М. Биологические основы защиты рыб от поподания в водозаборные сооружения. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 264 с.

Рычагов В.В., Чебаевский В.Ф. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. М.: Колос, 1982. – 320 с.

Рычагов В.В., Флоринский М.М. Насосы и насосные станции. – М.: Колос, 1975. – 416 с.

Сомов М.А. Водопроводные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1988.

Турк В.Н., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1977. – 296 с.

Чебаевский В.Ф. и др. Насосы и насосные станции. – М.: Агропромиздат, 1989. – 416 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД.....	4
1.1 Общие положения и терминология.....	4
1.2 Классификация водозаборных сооружений.....	6
1.3 Требования, предъявляемые к источнику водоснабжения	6
1.4 Условия отбора воды из рек.....	7
1.5 Выбор места водоприемника	9
1.6 Общая технологическая схема водозаборов	10
1.7 Оборудование водозаборов.....	15
1.8 Водоочистные и рыбозащитные устройства водозаборов насосных станций 1-го подъема.....	16
2 ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ РЕЧНЫХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	22
2.1 Водоприемники водозаборных сооружений.....	22
2.2 Руслловые водозаборы	25
2.3 Береговые водозаборы.....	27
2.4 Ковшовые водоприемники.....	30
2.5 Приплотинные водозаборы.....	34
2.6 Нестационарные водозаборные сооружения.....	36
3 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРОВ.....	39
Расчет руслловых водозаборов.....	39
3.2 Расчет береговых водозаборов	44
3.3 Расчет ковшевых водоприемных сооружений.....	46
4 ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	49
4.1 Условия залегания подземных вод.....	49
4.2 Типы сооружений для забора подземных вод.....	51
4.3 Определение производительности вертикальных водозаборов. Типы вертикальных водозаборов и методы их расчета.....	52
4.4 Характеристика исходных данных для расчета вертикального водозабора.....	56
4.5 Приток воды к несовершенному колодцу	63
4.6 Зависимость дебита колодца от глубины понижения уровня воды в нем.....	64
4.7 Трубчатые колодцы. Общая схема трубчатого колодца.....	67
4.8 Расчетная выходная скорость фильтрации.....	70
4.9 Бесфильтровые трубчатые колодцы.....	73
4.10 Устройство буровых скважин.....	80
4.11 Шахтные колодцы. Общие соображения по устройству шахтных колодцев	82
4.12 Деревянные колодцы	86
4.13 Железобетонные колодцы.....	89

4.14	Некоторые особенности производства работ по устройству шахтных колодцев.....	92
4.15	Комбинированные колодцы.....	94
4.16	Захват подземных вод группой колодцев. Общая схема группы колодцев.....	95
4.17	Расчет группы колодцев.....	97
4.18	Сборные водоводы.....	101
4.19	Сборный колодец.....	110
4.20	Горизонтальные водозаборы определение их дебита.....	113
	Каптаж ключей.....	113
4.21	Конструкция горизонтальных водозаборов.....	119
4.22	Сборная камера.....	128
4.23	Каптаж родников.....	132
5	ОБЩАЯ СХЕМА ВОДОПОДАЧИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА.....	140
5.1	Продольный профиль по трассе перекачки.....	141
5.2	Емкости систем водоснабжения.....	143
5.4	Определение расчетного напора насосной станции 1-го подъема.....	151
5.5	Выбор количества, типа и марок основных насосов.....	152
5.6	Выбор приводных двигателей насосов.....	154
6	ВСАСЫВАЮЩИЕ И ПОДВОДЯЩИЕ ТРУБОПРОВОДЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	156
6.1	Проектирование всасывающих трубопроводов.....	156
6.2	Проектирование подводящих трубопроводов.....	160
6.3	Определение отметки рабочего колеса насосов.....	162
7	ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВАНКАМЕР И ВОДОПРИЕМНЫХ КАМЕР НАСОСНОЙ СТАНЦИИ.....	164
8	НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	168
8.1	Внутростанционные напорные трубопроводы насосных станций.....	168
8.2	Определение экономически наиболее выгодного диаметра напорного трубопровода.....	170
9	ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ НАСОСОВ И ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ.....	175
10	ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	177
11	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	182
11.1	Условия применения различных типов зданий насосных станций.....	182
11.2	Здания насосных станций незаглубленного типа.....	186
11.3	Здания насосных станций камерного типа.....	189
11.4	Здания насосных станций блочного типа с насосами «ОВ», «ОПВ» и «В».....	190
11.5	Служебные помещения насосных станций.....	196
11.6	Краткие рекомендации по выполнению графической части проекта.....	198

12 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	200
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	203
ЛИТЕРАТУРА	265
ОГЛАВЛЕНИЕ	266