

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН**

Казахский национальный технический университет имени К.И.Сатпаева

В.Н.Антоненко

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ИРРИГАЦИЯ

Рекомендовано в качестве учебника
Министерством образования и науки
Республики Казахстан

Алматы 2001

УДК 556.388:628.54

Антоненко В.Н. Водоснабжение и ирригация: Учебник. - Алматы: КазНТУ, 2001. 166 с. ISBN 5-7667-1757-8.

В учебнике рассматриваются методы расчета водозаборных сооружений подземных вод, вопросы организации, функционирования и эксплуатации систем водоснабжения и ирригации, предназначенных для получения и очистки воды из природных источников, в первую очередь, из водоносных горизонтов.

Основное внимание уделено системам коммунального, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения. Приведены данные по насосно-силовому оборудованию, рекомендации по выбору схем водоснабжения и конструкций водопроводных сооружений и скважин на воду.

Сведения по инженерным ирригационным сооружениям и мероприятиям даны с учетом использования подземных вод и гидрогеолог-мелиоративных процессов, сопровождающих орошение или осушение земель.

Ил. 101. Табл.24. Библиогр.- 27 назв.

Рецензенты: Т.Т. Махмутов, д-р геол.-минер. наук; В. Л.

Порядин, д-р геол. - минер, наук

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 1999 г.

ISBN 5-7667-1757-8

© КазНТУ, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Совершенно очевидно, что в жизни современного общества водоснабжение и ирригация занимают особое место. Развитие промышленности, сельского хозяйства, обеспечение жизненного уровня населения и благоустройство населенных мест немыслимы без достаточного обеспечения их водой. Яркую характеристику той роли, которую играет вода в жизни человека, дал академик А. Л. Карпинский в приветствии АН СССР 1-му Всесоюзному гидрогеологическому съезду в 1931 г.: «Вода - это самое драгоценное полезное ископаемое. Вода - это не просто минеральное сырье, это не только средство для развития промышленности и сельского хозяйства. Вода - это действенный проводник культуры, это - живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было».

Изучая следы исчезнувших цивилизаций, мы постоянно убеждаемся в том, что их появление и расцвет были связаны с возникновением систем водообеспечения, водоснабжения и ирригации. Неудивительно, что остатки древнейших культур были обнаружены именно на берегах рек: Тигра и Ефрата в Месопотамии, Нила в Египте, Инда в Индии, Хуанхэ (Желтой реки) в Китае.

На современном этапе развития цивилизаций роль водоснабжения и ирригации еще более возросла. Удовлетворение питьевых потребностей населения чистой, доброкачественной водой предохраняет людей от эпидемических заболеваний. Технологические процессы большинства промышленных предприятий и орошение земельных массивов сопровождаются потреблением громадных объемов воды, порой превышающим снабжение крупных городов. Отдельные отрасли промышленности предъявляют к качеству воды специфические и порой весьма высокие требования. От уровня организации водоснабжения и ирригационных систем, от количества и качества используемой воды зачастую прямо зависит себестоимость получаемой продукции. Таким образом, организация систем водоснабжения и ирригации приобретает экономический аспект.

В этой связи во всех развитых государствах придается большое значение развитию и оптимизации систем водоснабжения и ирригации как основе для роста сельского хозяйства, благоустройства городов и поселков, укрепления материально-технической базы цивилизованного общества.

Кроме того, в последние годы неизмеримо возросла экономическая роль систем водообеспечения на фоне заметного ухудшения природных условий и загрязнения окружающей среды. Об этом свидетельствуют многочисленные опубликованные данные, посвященные как глобальным аспектам названной проблемы, так и ситуации, возникшей в Среднеазиатском регионе и Республике Казахстан. Так, по свидетельству отчета, подготовленного к IV Всеевропейской конференции министров охраны окружающей среды (1998 г, ОРХУС) под эгидой Всемирного банка, повсеместный дефицит воды, неудовлетворительное техническое состояние системы водного хозяйства и загрязнение поверхностных и грунтовых вод являются главными причинами неприемлемого уровня и качества водоснабжения. Таким образом, организация систем водоснабжения

приобретает важнейшее значение для охраны здоровья населения в условиях обширного техногенного воздействия на окружающую среду в целом и на природные источники воды, в частности.

Изучение курса «Водоснабжение и ирригация» базируется на знаниях, полученных студентами при прохождении ряда специальных и общетехнических дисциплин. Так, для решения вопросов использования воды из природных источников необходимо знание гидрогеологии, гидрологии, гидротехники и бурения. Технология очистки воды базируется на химии и гидробиологии. Проектирование и расчет водопроводных и оросительных сетей основывается на законах гидравлики.

Проектирование, строительство и эксплуатация сооружений для подачи воды невозможны без изучения специального технического оборудования - насосов, двигателей, электроаппаратуры, регулирующих и измерительных приборов. Кроме того, инженер-проектировщик систем водоснабжения и ирригации должен иметь достаточную подготовку в области строительных дисциплин.

Таким образом, широкий круг вопросов, решаемых при организации систем водоснабжения и ирригации, определяет комплексный характер этой дисциплины.

Учебник «Водоснабжение и ирригация» состоит из двух частей. В первой части излагается материал, связанный с водоснабжением, во второй - с ирригацией. Следует подчеркнуть, что вплоть до настоящего времени учебник по данной дисциплине, рассчитанный на студентов-гидрогеологов, отсутствует, что и определило необходимость его составления. При его написании автор обращался к многочисленным литературным источникам, используя и систематизируя материал таким образом, чтобы содержание учебника максимально способствовало решению практических задач гидрогеологии в области водоснабжения и ирригации. Кроме того, автором учтен его 20-летний опыт чтения этой дисциплины в КазНТУ, за рубежом (горно-геологический институт в Республике Гвинея), а также результаты собственных научно-практических работ в области водоснабжения и мелиорации.

В процессе составления данного учебника автор постоянно пользовался советами своих коллег, сотрудников кафедры гидрогеологии и инженерной геологии КазНТУ; профессора С.М. Мухамеджанова, соавтора по одноименному учебному пособию Д.К. Калитова и др. Ряд ценных замечаний сделал доктор технических наук, член-корр. НАН РК, директор Института гидрогеология и гидрофизики НАН РК В.В. Веселов и рецензенты данной работы: заместитель директора Института гидрогеологии и гидрофизики НАН РК, доктор геолого-минералогических наук Т.Т. Махмутов и доктор геолого-минералогических наук В.И. Порядин.

Большую помощь в подготовке учебника оказали сотрудницы кафедры гидрогеологии и инженерной геологии КазНТУ И.Г.Ошлакова, Т. Д. Тимофеева и З.В.Волкова, которым автор выражает глубокую благодарность. Фотографии) представил Г. Г.Ошлаков - кандидат геолого-минералогических наук.

Часть I. ВОДОСНАБЖЕНИЕ

1.1. История развития водоснабжения

Огюст Кант (1798-1857) в своем курсе позитивной философии писал, что нельзя по-настоящему овладеть какой-либо дисциплиной, не зная истории ее развития. Что касается водоснабжения, то трудно ответить на вопрос, где и когда зародилась эта наука, поскольку ее истоки уходят в глубокую древность. Во всяком случае, она исчисляется по крайней мере пятью тысячелетиями. Наиболее древними сооружениями для добывания воды человеком являются колодцы, которые строились за 3 тысячи лет до н.э. В Древнем Египте для подъема воды из колодцев уже использовались простейшие механизмы - некое подобие известных «журавлей». В Китае тех времен сооружались весьма глубокие (до 150-200 м) колодцы, которые оборудовались воротами и блоками. В Вавилоне владели весьма хитроумными способами подъема воды из колодцев на большую высоту при помощи блоков. При этом для развода воды из резервуаров уже применялись трубы - гончарные, деревянные и свинцовые. Довольно интенсивное развитие централизованные системы водоснабжения получили в Древней Греции и Риме. Так, в Риме той эпохи имелось несколько водопроводов, связанных водоразводящими каналами. При этом древние строители проявили довольно незаурядное инженерное искусство при строительстве акведуков, т.е. мостов, по которым вода пересекала долины, овраги и другие понижения в рельефе. Некоторые из акведуков частично сохранились до наших дней и представляют помимо исторического и технический интерес. Следует отметить, что после падения Римской империи системы водоснабжения быстро пришли в упадок, значительная их часть разрушилась.

Первые сведения об устройстве централизованных городских водопроводов в Европе относятся к XII веку. В это время сооружаются самотечные водопроводы в Париже, Лондоне, несколько позже - германских городах. Толчок развитию техники водоснабжения дало зарождение и рост капиталистической мануфактуры. Промышленная революция XVIII века стимулирует строительство фабрично-заводских водопроводов. С другой стороны, сброс промышленных сточных вод в открытые водоемы вызывает их загрязнение и заражение, что обуславливает поиски источников чистой воды.

Наиболее древними водопроводными устройствами, которыми пользовались народы, заселявшие современную территорию СНГ, являются кяризы. Они представляют собой подземные галереи для сбора грунтовых вод. Применялись они в маловодных районах Средней Азии и Армении и частично сохранились до наших дней. В Крыму найдены многочисленные цистерны для сбора атмосферных осадков, вырубленные в скалах.

При раскопках в Новгороде был обнаружен самотечный водопровод из деревянных труб, который обеспечивал водой княжескую резиденцию. Время его постройки относится к началу XII века. Обнаружены остатки водопровода из гончарных труб в Грузии примерно этого же периода.

В XII - XIV веках в ряде городов на Руси были построены водопроводы для крепостей.

При Петре I сооружаются водопроводный канал для Летнего сада в Петербурге, знаменитые Петергофские фонтаны, крупный, длиной более 15 км водопровод для Царского Села. Сооружаются водопроводы и в других городах.

Снабжение водой Москвы имеет свою интересную историю. Нынешнюю территорию города некогда пересекало 30 притоков Яузы и Москвы-реки. Всего здесь насчитывалось более 100 речек и ручьев и до 800 озер, т.е. воды было достаточно. Воду черпали из природных водоемов или колодцев. Но уже в XVI столетии многие из них были загрязнены. В Москве, как и во многих европейских городах того времени, нечистоты выливали на улицы и в ближайшие водоемы. Стоки с кладбищ, расположенных за оградой многочисленных церквей, заражали грунтовые воды. Во многих колодцах вода уже не годилась для питья. Река Неглинка превратилась в сточную клоаку. Отбросы большого мясного рынка у Мясницких ворот сбрасывали в соседние пруды. Когда по распоряжению приближенного Петра I А. Меншикова пруды вычистили, их стали называть Чистыми прудами. Название это сохранилось до наших дней. В XVI веке в Московский Кремль был проложен родниковый водопровод.

Чума 1771 г. заставила срочно решать проблему снабжения города чистой водой. По указу Екатерины II началась постройка Мытищинского водопровода, который был закончен в 1806 г. Вода от Мытищенских ключей шла в город самотеком по выложенной кирпичом галерее. Водопровод имел большое значение и проработал до начала XX века.

Первый водопровод в г. Верном был сооружен до революции. Он забирал воду из головного арыка и подавал ее вниз по улице Тулебаева (Фонтанная) к городской бане (по улице Гоголя). В 1935 г. был построен водозабор на реке Большая Алма-Атинка. Из него по двум деревянным водоводам вода подавалась в город самотеком. Затем она распределялась по районным резервуарам, а оттуда поступала потребителям. Очистки не производилось. Впоследствии этот водозабор был реконструирован. Расход его составлял около 3 м³ /с. В дальнейшем начали использовать подземные воды конусов выноса. С этой целью для водоснабжения города было пробурено около 400 скважин с общим дебитом более 2 500 л/с. Несколько позже начали привлекать для водоснабжения воды реки Малая Алма-Атинка.

В настоящее время кроме названных источников используют и подземные воды Талгарской впадины.

В годы освоения целинных и залежных земель весьма остро встал проблема водоснабжения вновь организуемых колхозов и совхозов. В условиях недостаточности поверхностных вод северных районов Казахстана большое значение сыграли работы гидрогеологов. В результате проведенных ими изысканий были выявлены водоносные горизонты, содержащие доброкачественную

воду, установлены перспективные площади для эксплуатации подземных вод, осуществлено решение проблемы водоснабжения.

Таким образом, водоснабжение превратилось в крупную отрасль народного хозяйства. Водопроводная техника сделала большие успехи: созданы системы, конструкции, оборудование, приборы, методы проектирования и расчеты, способные решить вопросы водоснабжения в самых сложных природных условиях.

Значительный вклад в развитие водоснабжения как науки внесли труды русских и советских ученых: Н.Е. Жуковского, В.Е. Тимонова, А.А. Сурина, Н.П. Гениева и др.

1.2. Водные ресурсы и распределение их на Земле

Из общей площади поверхности земного шара, равной 510 млн.км², порядка 71 % занимают океаны и моря и 29 % - суша. Запасы воды в Мировом океане оцениваются в 1 370 млн.км³, что составляет 94 % водных ресурсов.

Однако наибольший интерес для человечества представляют пресные воды. Они же сосредоточены в ледниках, озерах и реках Земли; (циркулируют в водоносных горизонтах и их общий объем составляет всего около 5-6 тыс.км³, что равно 0,3-0,4 % объема всей гидросферы, т.е. объема всей свободной воды на Земле.) При этом распределение водных ресурсов на Земле крайне неравномерное, о чем свидетельствует табл. 1.

Таблица 1

Ресурсы речного стока некоторых стран мира

	Средний многолетний сток, км ³	Удельная водность на одного жителя.
Всего на земном шаре	37000	-
Бразилия	5668	59,5
СНГ	4384	17,5
Китай	2880	3,79
Канада	2740	128,0
США	2345	11,4
Индия	1586	2,88
Индонезия	1510	13,0

Как видно из табл. 1, несмотря на значительный объем речного стока, водообеспеченность населения Китая и Индии значительно ниже, чем в других странах. Заметный дефицит в воде испытывают многие европейские государства. Так, в Нидерландах, Бельгии, Люксембурге, Венгрии на одного человека в год приходится от 0,78 до 0,95 тыс.м³ речного стока. Громадные пространства пустынь и полупустынь, занимающие около трети поверхности суши, испытывают острый недостаток в воде. Не говоря о социальных причинах, из-за дефицита в воде около 60 % населения планеты влачит жизнь на полуголодном пай-

ке. Годовой слой атмосферных осадков в пустыне не больше 150-200 мм, а в

некоторых районах не превышает 50 мм. Лима, столица Перу, расположена на западном побережье Южной Америки в засушливой полупустыне. Город почти не знает дождей. У домов отсутствуют водосточные трубы, а в асфальте улиц нет канавок для стока воды. Годовой слой осадков в Лиме 37 мм. Выпадают они в виде мелкой мороси, не образующей даже самой мелкой лужицы. Пресную воду подают по трубам или привозят в цистернах за сотни километров с противоположного склона Анд. Другой пример. В 100 км от Джидды по дороге в Мекку есть оазис Ваду Фатма. Здесь вода вытекает из нескольких скважин, но ее происхождение в совершенно безводной местности долгое время не могли объяснить. Арабская легенда утверждала, что вода здесь появилась после сошествия в этом месте с небес сестры Магомета. В действительности оказалось, что вода к оазису поступает с гор, отстоящих на несколько сот километров, по подземной трубе, выполненной из камня. Когда и кто построил водоток, неизвестно. Можно лишь удивляться, с каким искусством древние мастера сумели на таком большом расстоянии выдержать уклон каменной кладки.

В СНГ пустыни и полупустыни занимают 12 % всей территории, а в республиках Центральной Азии - около 60 %. Здесь разбросаны «семь песков Хорезма, - как писал хивинский историк, - страшных и ужасных, великих и неизмеримых». Это пески Кызыл-Кум, Кара-Кум, Муюн-Кум, Голодная степь, плато Устюрт. Эти каменные и песчаные пустыни были некогда колыбелью древней культуры огромного царства, простиравшегося от Ирака до Тянь-Шаня и от Индии до берегов Волги. Эти пустыни видели и каменный и бронзовый век. Воды рек и в особенности Аму-Дарьи были источником существования и благоденствия средневекового Хорезма, который достиг наивысшего расцвета при рабовладельческом строе. С помощью дешевой рабочей силы строились водохранилища, каналы, шлюзы, возникали города и селения. Однако в XII-XIV веках все было сметено полчищами Чингисхана и Тамерлана. Плотины были разрушены, некогда богатый край превратился в пустыню. Древний Хорезм возродиться не смог и превратился в отсталое феодальное Хивинское ханство. Сейчас мы встречаем лишь остатки древних оросительных систем.

Каковы же основные пути решения проблемы водоснабжения? Они заключаются в проведении научно-обоснованной водохозяйственной политики, которая базируется на сочетании обеспечения потребностей народного хозяйства в воде и полного удовлетворения духовных и физических запросов населения. В качестве наиболее важных условий этой политики можно назвать следующие.

1. Коренное улучшение водообеспечения районов, нуждающихся в воде за счет мест, ощущающих ее избыток

Все реки, протекающие по территории СНГ, можно распределить на 3 основных потока. На север в моря Атлантического и Северного Ледовитого океанов стекает 70 % всего речного стока. Вода здесь на значительном протяжении течет по таежным дебрям, пересекает и без того увлажненные пространства, где проживает только 20 % населения страны. На восток в Тихий океан течет 20 %,

а на юг в Каспийское и Аральское моря направлено всего 10 % стока. И здесь же проживает большая часть, порядка 80 % населения Содружества. Неудачное распределение - вода течет не совсем туда, куда нужно. Это положение изменится путем переброски части стока сибирских рек на юг. В качестве примера можно привести канал им. Москвы, каналы Ока-Москва, Северный Донец - Донбасс, Днепр - Донбасс, Иртыш - Караганда.

В пределах Республики Казахстан водные ресурсы распределены крайне неравномерно. Среднегодовой сток рек 120 км^3 . Реки же Иртыш, Сырдарья, Или, Урал и другие протекают главным образом по окраинам Казахстана. Центральные и западные районы республики испытывают большую потребность в воде.

Для удовлетворения водопотребностей Центрального Казахстана построен канал Иртыш-Караганда, Это крупное сооружение длиной более 500 км. Ширина его по верху 40-50 м, глубина 4-5 м. 22 насосные станции поднимают и перекачивают до $3,0 \text{ км}^3$ воды.

Вопросы водообеспечения в южной части Казахстана будут решаться путем регулирования местного стока водохранилищами и каналами. К ним относятся Кызылкумский и Арысь-Туркестанский каналы.

2. Использование паводковых вод с помощью водохранилищ

Водохранилища являются наиболее распространенным видом регулирования стока и чаще всего строятся в зонах неустойчивого или недостаточного увлажнения.

Предгорные водохранилища отличаются от равнинных значительной глубиной (70-100 м) ввиду того, что они обычно располагаются в более устойчивых породах, процессы разрушения берегов здесь менее интенсивны, а убытки, вызванные затоплением территорий меньше, поскольку населенных пунктов в таких районах мало. К водохранилищам такого типа относятся Красноярское на р. Енисей, Братское, Усть-Илимское на р. Ангаре и др.

Горные водохранилища характеризуются еще большими глубинами (свыше 100 м) при глубине сработки 50-70 м. Площади затопления здесь малы и процессы разрушения берегов незаметны. К таким водохранилищам относятся Нурекское на р. Вахш, Ингурское на р. Ингури, Тактогульское на р. Нарын и др.

Интересно знать, что самое крупное водохранилище мира - Оуэн-Фоле на реках Виктория и Нил расположено на территории республик Уганда, Кения и Танзания. Его площадь около 76 тыс. км^2 , а полный объем 200 км^3 . На втором месте - Братское. Все крупные водохранилища являются комплексными и обеспечивают интересы водоснабжения, ирригации, энергетики и водного транспорта.

3 Перевод поверхностного стока в подземный или проведение так называемого магазинирования подземных вод

В благоприятных геолого-гидрогеологических условиях, которые характеризуются наличием закрытых или полужакрытых геологических структур, жаполненных рыхлыми осадками достаточной мощности, строятся плотины или дамбы. Перехватывается часть местного стока, создается инфильтрационное водохранилище, где происходит фильтрация воды и насыщение водоаккумулирующих пород. Затем бурятся скважины и по мере необходимости ведется использование воды.

4. Искусственное вызывание дожда

В туче с самолета рассеиваются измельченные кристаллы поваренной соли, сухой лед, йодистое серебро и другие вещества, частицы которых могут служить ядрами конденсации для капель дожда. Обычно их вводят в выхлопные газы самолета.

5. Изменение технологических процессов ряда производств, уменьшающих расход воды, и переход на обратное водоснабжение

Промышленность потребляет огромное количество воды. Для очистки 1 т нефти надо затратить 18 т воды, для выплавки 1 т стали, требуется 25 т воды. ТЭЦ на каждую тонну сожженного угля выбрасывает в атмосферу до 1000 т влаги. Около 75 % всей потребляемой воды расходуется на охлаждение технологических процессов. Поэтому перевод предприятий на обратное водоснабжение, при котором вода используется многократно, сулит большую экономию водных ресурсов.

6. Уменьшение расхода воды на орошение путем применения прогрессивных методов полива, т.е. дождевание

Разработанные учеными новые способы полива способствуют существенной экономии воды. К наиболее прогрессивным методам относятся: 1. Дождевание широкозахватной дождевальной техникой: Фрегатом, Волжанкой и др. (рис. 85); 2. Системы импульсного дождевания; 3. Системы капельного орошения и др. Также важны мероприятия, направленные на уменьшение потерь из каналов, облицовка их бетоном, устройство лотков и водоводов.

7. Использование вод ледников

В ледниках планеты сосредоточено около 30 млн. км пресной воды. При достаточно дешевом способе транспортировки они могут стать существенным резервом водных ресурсов. Так, американские ученые предложили буксировать к берегам страны антарктические айсберги. Один большой айсберг по их подсчетам смог бы обеспечить засушливую Калифорнию на целый год.

8. Опреснение морских и соленых подземных вод

Это практически неограниченный источник воды. Разработано немало способов опреснения. Основными из них считают:

1. Выпаривание; 2. Химическое опреснение; 3. Способ вымораживания.

Выпаривание - наиболее известный способ опреснения. В жарких странах уже давно используют бытовые опреснители, работающие за счет солнечного тепла. В них с одного кв. метра поверхности получают до 300 л воды в сутки. Для водоснабжения крупных городов применяют атомные опреснители (г. Актау).

При химическом способе опреснения в воду добавляют некоторые химические вещества, которые соединяются с растворенными в воде солями и выпадают вместе с ними в виде хлопьев. При наличии дешевой электроэнергии применяют метод электрохимического опреснения.

При вымораживании используют свойство пресной воды превращаться в лед быстрее, чем соленой. Затем рассол удаляют промыванием, а воду тающего льда используют.

Сравнительно недавно американцы предложили использовать для опреснения воды пропан. Охлажденный до 2 °С он образует льдообразные кристаллы. При этом каждая молекула пропана захватывает 17 молекул воды, превращаясь в гидрат пропана. Пропан не смешивается с водой и легко от него отделяется. Стоимость этого способа весьма доступна.

9. Уменьшение испарения с открытой поверхности водоемов

В водоеме, выливаясь по поверхности, некоторые вещества образуют тонкую молекулярную пленку, препятствующую испарению. Опыты с такими пленками велись на Валдае и оз. Севан. Установлено, что испарение уменьшается на 50-60 %.

10. Введение платы за воду и за сброс загрязненных вод в реки

Экономический стимул является серьезным фактором в деле экономии воды.

И. Получение воды путем использования конденсации

Этот метод является проблемным и до конца не разработан. Практические навыки извлечения атмосферной влаги известны давно. По Библии первый конденсатор принадлежал царю Гедону и представлял собой овчину, в которой к утру накапливалась чаша воды. Археологам известно, что в 5 веке до н.э. на берегу Черного моря процветала колония малазийцев. Неясно было одно: каким образом она могла процветать без достаточного количества воды. Ответ был получен в 1888 г. инженером Ф.М.Зибольдом. При изыскании трассы под водопровод для г. Феодосии он обнаружил сеть керамических труб диаметром 3-7 см. Часть их вела к 14 цистернам в городе, а остальные - к 13 огромным пирамидам из щебня известняка. Ученые подсчитали, что эти пирамиды давали до 700 тыс. литров воды. Историки отмечают, что Керчь и другие поселения греков на берегу Черного моря также обеспечивались водой из воздуха. Остатки устройств - конденсаторов найдены в Месопотамии, Сахаре, Каракумах и др. местах. Многие ученые нашего века занимались проблемой конденсации, например К.Э. Циолковский. В настоящее время существуют проекты установок, часть которых реализована, дающих сотни литров воды из воздуха. Однако

они во многом экспериментальны, процесс нуждается в более глубоком теоретическом объяснении [27].

1.3. Классификация водоснабжения

Существует несколько видов систем водоснабжения. Несмотря на то, что в различных видах водоснабжения имеется много общих технических приемов, они существенно отличаются друг от друга по режиму работы, по типам и размерам сооружений, по качеству подаваемой воды. В связи с этим системы водоснабжения могут быть классифицированы по следующим основным признакам:

1.3.1. Классификация систем водоснабжения по назначению

Водоснабжение может быть:

- 1) коммунальное;
- 2) промышленное;
- 3) железнодорожное;
- 4) сельскохозяйственное;
- 5) пастбищное;
- 6) полевое водоснабжение войск;
- 7) противопожарное.

1. *Коммунальное водоснабжение* служит для удовлетворения питьевых, хозяйственно-бытовых и санитарно-гигиенических нужд населения.



Рис.1. Водозабор подземных вод для полива, г. Алматы. Куст №15

Сюда же входит полив зеленых насаждений и территории населенного пункта (рис.1). Системы коммунального водоснабжения должны подавать воду высокого питьевого качества. Понятно, что системы водоснабжения включают в себя множество отдельных сооружений. Их размеры, число и мощность насосов, емкость резервуаров и напорных башен, диаметры труб определяются путем расчета этих элементов в соответствии с количеством подаваемой ими воды и с намеченным для них режимом работы. Поэтому возможно более точное установление (и прогнозирование) режима потребления представляет собой одну из наиболее ответственных задач при проектировании систем водоснабжения. В результате анализа режима водопотребления на длительно существующих системах водоснабжения городов установлены вероятные режимы

водопотребления. Очевидно, общий расход на коммунальное водоснабжение будет пропорционален числу жителей. Следовательно, для определения расхода воды на коммунальное водоснабжение необходимо знать расход воды на одного жителя. Эта величина складывается из расходов на самые различные нужды и зависит от степени санитарно - технического оборудования жилищ, благоустройства города, климатических условий и т.п. Чем выше степень оборудования санитарно-технического оборудования жилищ, тем больше будет потребление воды; в жарком климате потребление будет больше, чем в холодном.

Как уже отмечалось, опыт эксплуатации существующих водопроводов дал возможность определить величину расхода воды на одного жителя, которая называется нормой водопотребления, при разной степени санитарно-технического оборудования жилых домов в разных климатических поясах.

Таким образом, в основу определения требуемых расчетных количеств воды при проектировании новых водопроводов или реконструкции существующих принимаются нормы водопотребления.

Ввиду того, что совершенствование санитарно-технического оборудования жилищ влечет за собой постоянное увеличение количества расходуемой воды, нормы водопотребления периодически пересматриваются с учетом указанных изменений.

При проектировании систем водоснабжения нормы водопотребления берутся из СНиПов (Строительные нормы и правила). В настоящее время действуют следующие СНиПы [22]:

1. Здания, не оборудованные водой и канализацией, - 30 - 50 л/сут.
 2. Здания, оборудованные внутренним водопроводом и канализацией, - 125- 150 л/сут.
 3. Здания, оборудованные водопроводом, канализацией с ваннами,- 180-230 л/сут.
 4. Здания с централизованным тепловодоснабжением - 275 - 400 л/сут.
- Однако нормы водопотребления используют при общих плановых расчетах потребности в воде.

В качестве основного измерителя количества воды, требуемой для водоснабжения данного объекта, принимается средний суточный расход.

$Q_{ср.сут} = q N$, где q - норма водопотребления; N - расчетное число жителей, которое принимается в соответствии с проектом планировки города.

Вычисленный по нормам средний суточный расход воды в населенном пункте дает лишь общую характеристику размеров водопотребления данного объекта.

Для составления проекта водоснабжения необходимо

установить пределы возможных колебаний величины расхода в отдельные сутки и максимальный суточный расход.

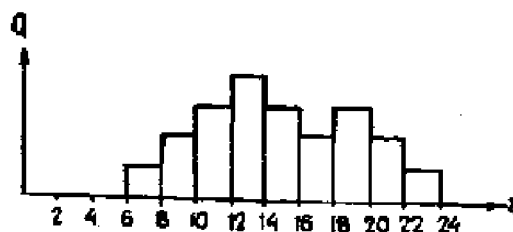


Рис. 2. График суточного потребления

Если построить график суточного потребления воды (рис.2.), легко заметить снижение водопотребления до минимума ночью, когда люди отдыхают, а промышленные предприятия не работают. Отклонение максимального суточного расхода от среднесуточного называется коэффициентом суточной неравномерности ($K_{сут. max}$). Он показывает, во сколько раз максимальный суточный расход превышает среднесуточный, Коэффициент суточной неравномерности приводится в нормах проектирования. Их принимают в пределах:

$K_{сут. max} = 1,1-1,3$; $K_{сут. min} = 0,7-0,9$; для сельских поселков $K_{сут. max} = 1,3$, $K_{сут. min} = 0,7$.

Расчетный суточный расход равен:

$Q_{сут. max} = K_{сут. max} Q_{ср. сут.}$

$Q_{сут. min} = K_{сут. min} Q_{ср. сут.}$

Средний часовой расход в сутки максимального водопотребления равен

$$Q_{ср. час} = \frac{Q_{сут. max}}{24} = K_{сут. max} \frac{Q_{ср. сут.}}{24}, м^3 / час$$

Средний часовой расход используют для расчета сооружений, подающих круглосуточно воду с равномерным зарегулированным расходом водозаборов, водоводов, насосных станций и т. п. Сооружения системы водоснабжения, подающие незарегулированные расходы воды - водопроводные сети, водонапорные башни, насосные станции 11-го подъема безбашенных систем рассчитывают с учетом колебания часовых расходов. При расчете этих сооружений необходимо знать как максимальный, так и минимальный часовые расходы воды, которые находят по формулам

$$Q_{ч. max} = K_{ч. max} \cdot \frac{Q_{сут. max}}{24}; Q_{ч. min} = K_{ч. min} \frac{Q_{сут. min}}{24},$$

где - $K_{ч. max}$ и $K_{ч. min}$ - коэффициенты часовой неравномерности, показывающие, во сколько раз максимальный или минимальный расход может быть выше или ниже среднечасового.

Коэффициент часовой неравномерности приводится в нормах проектирования. Кроме того, их можно определить по формулам

$$K_{ч. max} = \alpha_{max} \cdot \beta_{max}; K_{ч. min} = \alpha_{min} \cdot \beta_{min}$$

Коэффициент α зависит от благоустройства зданий, числа действующих смен и др. условий. Его принимают равным $\alpha_{max} = 1,2-1,4$ и $\alpha_{min} = 0,4-0,6$.

Коэффициент β выбирают в зависимости от числа жителей в тыс:

До1	1,5	2,5	4	6	10
$\beta_{max} 2$	1,8	1,5	1,5	1,4	1,3
$\beta_{min} 0,1$	0,1	0,1	0,2	0,25	0,4

Требования к качеству воды

Каждый вид водоснабжения предъявляет определенные требования к качеству воды. Оценка пригодности воды для различных нужд производится по ее физическим, химическим и биологическим показателям.

Наиболее высокие требования к качеству воды предъявляются коммунальным водоснабжением (рис. 3). Они определены ГОСТом 28-74-82 (вода питьевая) [6].

Пригодность воды для питья обусловлена требованиями ГОСТов к отдельным качественным характеристикам воды.

Основные из них:

Содержание взвешенных веществ (или мутность). Обусловлено наличием в воде различного рода механических примесей, находящихся во взвешенном состоянии: частиц песка, глины, илистых частиц и др. Количественное определение мутности производится путем сравнения воды с эталоном и выражается в мг/дм^3 .



Рис.3. Отбор пробы воды из самоизливающейся режимной скважины Алматинского водозабора. Обследование проводится научной группой кафедры гидрогеологии, инженерной

Согласно ГОСТу, мутность не должна превышать 2 мг/дм^3 , редко - до 3 мг/дм^3 .

Цветность. Определяется наличием в воде гуминовых веществ и обычно свойственна водам природных источников. Цветность, как и мутность, определяется путем сравнения с эталоном и выражается в градусах. Разрешено использовать воды с цветностью до 20 и в исключительных случаях - 35° .

Запахи и привкусы воды. Их наличие обуславливается присутствием в воде растворенных газов, различных минеральных солей, органических веществ и микроорганизмов. Интенсивность запаха, как правило, увеличивается с повышением температуры воды.

Для количественной оценки запаха и привкуса воды применяют обычно условно пятибалльную шкалу. Согласно ГОСТу, питьевая вода (при $t^0=20^0$) должна иметь не более 2 баллов по шкале.

Температура воды. Для питьевых целей наиболее желательно использование воды с $t=7-12^0 \text{ C}$.

Жесткость. Обусловлена содержанием солей кальция и магния. Жесткость измеряется в миллиграмм-эквивалентах на 1 дм^3 воды (мг-экв/ дм^3). Для получения значения жесткости количество вещества (в мг/дм^3), обуславливающего жесткость, делится на его эквивалентный вес. Для питья может допускаться использование относительно жестких вод, поскольку

наличие солей жесткости не вредно для здоровья и обычно не ухудшает вкусовых свойств воды. Значение жесткости может достигать 7 мг-экв/дм³, в исключительных случаях - до 14 мг-экв/ дм³.

Сухой остаток. Он характеризуется общим количеством минеральных и органических веществ в воде и определяется выпариванием воды и просушкой остатка до постоянного веса. Он не должен превышать 1000 мг/дм.

Бактериальная загрязненность воды. Обуславливается количеством бактерий, содержащихся в одном дм³ воды. Согласно ГОСТу, питьевая вода не должна содержать более 100 колоний бактерий в 1 см.

Особую важность для санитарной оценки воды имеет определение в ней кишечной палочки (бактерии коли). Присутствие кишечной палочки свидетельствует о загрязнении воды фекальными стоками и, следовательно, о возможности попадания в нее болезнетворных бактерий, в частности, бактерий брюшного тифа. Путем бактериологического анализа воды определяют число кишечных палочек в 1 дм³ воды (коли индекс) или тот наименьший объем воды, при котором еще обнаруживается кишечная палочка (коли титр). Согласно требованиям стандарта, коли индекс не должен превышать 3. В особо тяжелых случаях водоснабжения по согласованию с органами санитарной инспекции требования ГОСТов в определенных пределах могут быть изменены.

2. Промышленное водоснабжение

Промышленное водоснабжение обеспечивает водой различные производства для ведения технологических процессов, питания паровых котлов, охлаждения печей и агрегатов.

Нормы расхода воды на промышленные нужды определяются специальными справочниками на единицу продукции. К числу наиболее водоемких отраслей промышленности относятся химическая, целлюлозно-бумажная, черная и цветная металлургия. По современным данным, черная металлургия потребляет около 24% общего водозабора на все промышленные нужды, химическая промышленность - 16, цветная металлургия - 17, топливная и нефтехимическая промышленность - 13, целлюлозно-бумажная - 11%.

Удельное водопотребление - это расход воды на единицу промышленной продукции. Оно зависит от мощности предприятия, схемы технологического процесса и режима использования воды в нем. По мере укрупнения и интенсификации производств наблюдается снижение удельного водопотребления. Однако размеры его остаются весьма значительными. Так, для производства некоторых видов продукции необходимо затратить следующее количество воды:

1 т синтетического волокна	- 2500 м ³ ;
1т каучука	- до 3500 м ³ ;
1т меди	- 5000 м ³ ;
1 т бумаги	- 400-800 м ³ .

Системы промышленного водоснабжения разделяются на прямоточные, оборотные и с последовательным использованием воды.

Прямоточная система является наиболее простой. Вода с помощью насосной станции перекачивается из водоема к отдельным объектам производственного комплекса. Пройдя через них, она поступает в канализационные линии, ведущие к очистным сооружениям. После очистки до необходимой степени отработанные воды могут быть выпущены обратно в водоток на соответствующем расстоянии от водозабора. Прямоточные системы водоснабжения осуществляют при достаточных водных ресурсах.

Оборотное водоснабжение применяется при обеспечении потребностей крупных промышленных предприятий с большой водоемкостью в условиях дефицита воды и возможности загрязнения. Оно исключает сброс отработанных вод обратно в водоемы и предусматривает использование их вновь для производства. Для этого отработанную воду пропускают через охлаждающие устройства и направляют в производственный цикл. При этом часть воды теряется безвозвратно и ее запасы приходится периодически пополнять. Обычно величина потерь составляет 2-5%.

Системы последовательного водоснабжения предусматривают повторное и многократное использование воды внутри данного производства. После применения воды в одном цехе она поступает в другой, где требования к качеству воды ниже, затем в следующий и т.д. В конце концов она поступает на очистные сооружения, после чего снова идет на предприятия.

Дальнейший технический прогресс будет неразрывно связан со всемерным развитием систем оборотного и последовательного водоснабжения. Это позволит существенно уменьшить потребности в воде и сократить объемы промышленных стоков.

Требования к качеству воды при промышленном водоснабжении весьма различны и зависят от вида производства. Наиболее высокие требования предъявляют предприятия пищевой промышленности. Воды должны быть абсолютно пресными и безупречными в отношении бактериологической чистоты.

В целлюлозно-бумажной промышленности важно, чтобы вода была бесцветной, малой жесткости, с отсутствием Fe^{++} и Mn^{+++} .

Для кожевенной промышленности используется вода без солей Mg, Cl, Fe, Mn.

В текстильном производстве недопустимо применение воды со взвесями в ней и повышенной жесткости. Вода, идущая в паровые котлы, должна исключать образование накипи и в связи с этим должна быть мягкой.

3. Железнодорожное водоснабжение

Обеспечивает потребности в воде мастерских, депо, станционных поселков. Соответствующими нормами установлено количество воды, расходуемое различными видами транспорта. Так, на один магистральный паровоз в сутки необходимо 18-20 м³, на маневренный -1-2 м³ /час, на электровоз за смену- 12-15 л. Требования к качеству воды такие же, как и при коммунальном водоснабжении, поскольку система железнодорожного водоснабжения служит и для удовлетворения питьевых потребностей населения.

4. Сельскохозяйственное водоснабжение

Обеспечивает водой машиноремонтные станции, молочные фермы, население, полив растений. Характерной особенностью сельскохозяйственного водоснабжения является значительная разбросанность на больших территориях. Так, если зимой основное недопотребление сосредотачивается в населенных пунктах, то в остальную часть года оно перемещается на поля и пастбища. В связи с этим, важное место занимают подземные воды. Следует отметить, что механизированная подача воды в поселках, на животноводческих фермах и пастбищах резко снижает затраты труда на доставку воды, повышает продуктивность животноводства и улучшает санитарные и гигиенические условия жизни и сельскохозяйственного производства.

Потребности на сельскохозяйственное водоснабжение определяются так же, как и при коммунальном водоснабжении, т. е. нормами водоснабжения.

Требования к качеству воды при сельскохозяйственном водоснабжении зависят от ее назначения. В основном они идентичны требованиям в коммунальном водоснабжении. Лишь к водам, используемым для поения животных, требования несколько ниже. Так, для пустынных районов нормами разрешено использование вод, в случае отсутствия доброкачественных, с минерализацией до 5-6 г/дм³.

Источниками сельхозводоснабжения могут быть поверхностные воды - реки, озера, водохранилища, пруды, каналы, подземные воды, забираемые из родников, колодцев, скважин, водозаборных галерей, атмосферные осадки, запасаемые в цистернах. В засушливых районах практикуется задерживать паводковые воды в такырах.,

5. Пастбищное водоснабжение (разновидность сельхозводоснабжения)

Пастбищное водоснабжение имеет ряд специфических черт, которые обуславливаются обширностью площадей, занимаемых пастбищами, подвижностью выпасаемых животных, периодичностью водопоя и сезонным характером водопотребления.

Этот вид водопотребления имеет особое значение для Казахстана, где сосредоточено 180 млн. га пастбищ. Обводнение безводных пастбищ имеет первостепенное значение в деле развития животноводства и овцеводства, которое может быть успешно решено лишь при условии организации водоснабжения пастбищ. Компоновка водопойного пункта в зависимости от различных условий показана на рис. 4.

Для правильной организации водоснабжения пастбищная территория должна быть разбита на выпасные участки и загоны. При это на каждом выпасном участке следует иметь отдельный водопойный пункт.

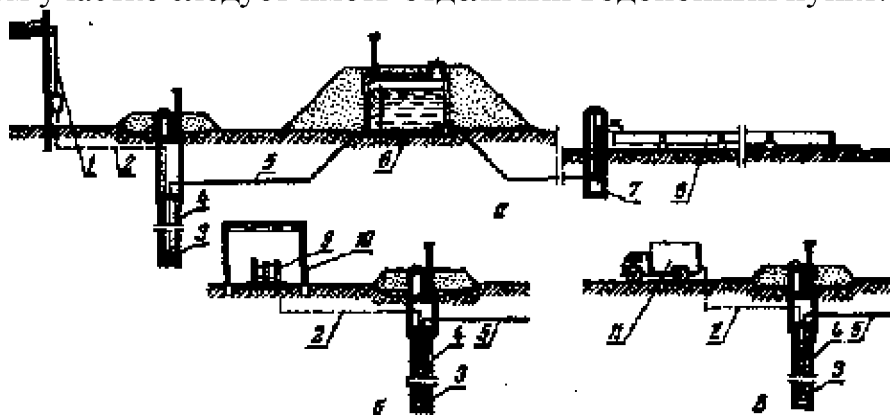


Рис. 4. Схемы компоновки водопойных пунктов для различных пастбищных зон с забором воды из трубчатого колодца:

а - с питанием от электросети; б - с питанием от стационарной сети; в - с питанием от передвижной электростанции; 1 - электросеть; 2 - электрический кабель; 3- насос; 4- трубчатый колодец; 5 — трубопровод диаметром 50мм; 6—резервуар запаса воды; 7 — водопойная площадка; 8 - водопойное корыто; 9 - стационарная электростанция; 10- здание ограждения; 11- передвижная электростанция

Водопойный пункт должен быть устроен в центре участка, в легкодоступном и незаболоченном месте.

Размеры выпасных участков ограничиваются радиусом водопоя, т.е. расстоянием, на которое животные могут удалиться от водопойного пункта не утомляясь и не снижая продуктивности.

Допустимый радиус водопоя назначается, как правило, специалистами-животноводами в зависимости от числа и видов животных, с учетом кормовой емкости пастбища в различные периоды года, рельефа и климатических условий местности. Оптимальным считают такой радиус водопоя, при котором достигается при приемлемых затратах наивысшая продуктивность животных. Нормативными являются следующие допустимые радиусы водопоя (для засушливых районов): 4-6 км - крупный рогатый скот; 5-8 км - лошади; 3-6 км - овцы.

Таким образом, радиус водопоя определяет расстояние между водопойными пунктами. Следующий этап при организации пастбищного водоснабжения - определение потребного расхода воды водопойного пункта. Для этого необходимо знать площадь пастбища, обслуживаемого одним водопойным пунктом. С некоторым упрощением ее можно считать равной $F = \pi \cdot R^2$. Затем определяется количество голов скота N , которое можно выпасать в пределах площади F :

$$N = \frac{F}{e},$$

где e - норма площади пастбища на 1 голову (га); e - устанавливается для каждого пастбищного массива на основании геоботанических исследований и нормобалансовых расчетов. Может меняться в широких пределах: для овец - 0,75 - 2,25; для крупного рогатого скота - 6,0-21,6. В условиях Казахстана при плановых расчетах берут $e=2,5$ га.

Для определения расхода водопункта пользуются нормами водопотребления (q). Для Казахстана нормы для летнего времени составляют:

обслуживающий персонал	- 60 л/сут;
крупный рогатый скот	- 50 л/сут ;
лошади	- 50-60 л/сут;
овцы и козы	- 6-7 л/сут.

Тогда $Q_{ср} = qN$.

Водопотребление на пастбищах в разное время года и в отдельные часы суток неравномерно. Приведенные выше нормы водопотребления устанавливают среднесуточные расходы воды потребителем. Однако нужно иметь в виду, что Водопотребление в течение отдельных суток или часов несколько превышает среднесуточные нормы водопотребления. Это учитывается коэффициентами суточной и часовой неравномерности водопотребления.

Суточная неравномерность зависит от времени года и размещения потребителей по территории землепользования. Максимальное суточное потребление может быть выражено следующей формулой:

$$Q_{сут. max} = K_{сут. max} Q_{ср. сут},$$

где $K_{сут. max}$ - коэффициент суточной неравномерности водопотребления, показывающий во сколько раз максимальное суточное Водопотребление превышает среднесуточное.

Он изменяется в следующих пределах:

для крупного рогатого скота - 1,4; для овец - 1,25; для обслуживающего персонала- 1,3.

Неравномерность часового водопотребления в течение суток может быть значительной. Величина среднечасового водопотребления в дни максимального расходования воды может быть выражена как:

$$Q_{ср. час} = \frac{Q_{сут. max}}{24},$$

а величина максимального часового расхода -

$$Q_{ч. max} = K_{ч} \frac{Q_{сут. max}}{24},$$

где $K_{ч}$ - коэффициент часовой неравномерности, показывающий во сколько раз максимальный часовой расход превышает среднечасовой. $K_{ч}$ изменяется в следующих пределах: для крупного рогатого скота - 2,5 - 4; для овец - 1,35; для обслуживающего персонала - 2 - 2,6.

Выбор надлежащего коэффициента неравномерности водопотребления играет большую роль. Завышенные значения приводят к излишнему удорожанию

системы водоснабжения, а заниженные могут быть причиной недостаточной подачи воды потребителю в период максимального водопотребления.

Источниками питания систем сельскохозяйственного водоснабжения являются поверхностные и подземные воды. Однако поверхностные воды весьма подвержены гидрохимическим и гидрологическим изменениям в течение года, зачастую мало пригодны в санитарном отношении.

В связи с этим для пастбищного водоснабжения весьма целесообразно использование подземной воды. Их добыча осуществляется каптажами родников, колодцами и скважинами (рис. 5).



*Рис.5. Обводнение пастбищ
подземными водами.
Бурение скважины*

Требования к качеству воды

Вода для водопоя животных по степени ее загрязнения не должна быть хуже питьевой. Для оценки пригодности воды в условиях пустынь Казахстана используют установленные нормы предельной минерализации (в г/дм³). Они составляют: для овец - до 5 г/дм³; крупного рогатого скота - до 2,4; лошади - до 1.

Интенсификация сельскохозяйственного производства коснулась и пастбищного животноводства. Последние годы широкое развитие получило строительство культурных пастбищ. Они представляют огражденные участки с сеянными травами, произрастающими на богаре или с искусственным поливом. Для полива порой практикуется использование широкозахватной дождевальной техники. Затраты на строительство велики, но и экономическая эффективность высока. Наиболее передовые хозяйства повышают свои производственные показатели именно таким путем. В качестве примера можно привести колхоз "30 лет КазССР" в Павлодарской области. Здесь созданы орошаемые культурные пастбища общей площадью 2 тыс.га. Следует отметить, что полив здесь производят подземными водами с помощью ШДТ «Фрегатов», «Волжанок» и других механизмов.

Затраты на строительство культурных пастбищ окупаются в течение 2-3 лет. За счет того, что если на обычном пастбище на 1 голову скота требуется от 2 до 20 га, то 1га культурного пастбища обеспечивает 3 - 4 головы. Безусловно, дальнейшее развитие животноводства будет связано с созданием культурных пастбищ.

6. Полевое водоснабжение войск

Имеет стратегическое значение и достигается работами специальных инженерных подразделений. В полевых условиях на 1 бойца норма расхода воды составляет 5-8 л/сут. Особое требование к качеству воды, поскольку недоброкачественная вода может стать причиной выхода из строя личного состава подразделения.

Источником водоснабжения могут быть воды прудов, родники, грунтовые воды, атмосферные осадки.

В распоряжении инженерных служб армии имеются передвижные лаборатории для производства экспресс анализов, мобильные очистные установки, разнообразные агрегаты, фильтры и насосы, которые позволяют оперативно, в сжатые сроки организовать качественное водоснабжение войск.

7. Противопожарное водоснабжение

Преследует цель обеспечить водой тушение водой возможных очагов пожаров. Нормы расхода воды на тушение пожара зависят от важности объекта, численности населения, характеристики застройки, типа производства, Мощности предприятия. По существующим правилам проектирования системы водоснабжения рассчитываются в предположении, что пожар происходит в часы максимального водозабора, т.е. в моменты наиболее напряженной хозяйственной работы системы. В зависимости от приведенных показателей норма расхода на тушение пожара составляет около 5-80 л/сек. Число возможных одновременных пожаров принимается от 1 до 4 в зависимости от крупности населенного пункта. К качеству воды требований никаких не предъявляется.

1.3.2. Классификация систем водоснабжения по сроку действия

Постоянное водоснабжение. Оно организуется в городах, населенных пунктах, промышленных предприятиях и функционирует в течение длительного времени.

Временное водоснабжение. Это водоснабжение на строительных площадках. В период строительства происходит расходование воды на технологические нужды самого строительства, на удовлетворение хозяйственно - питьевых нужд рабочих и для противопожарных целей. После окончания строительства некоторых объектов потребность в воде резко уменьшается или же исчезает совсем. Это имеет место при гидротехническом строительстве. Поэтому приходится устраивать временные сооружения водопровода специально для обслуживания строительства.

1.3.3.Классификация систем водоснабжения по типу оборудования

Централизованное водоснабжение. Оно объединяет несколько точек водозаборов с подачей воды потребителю от источника водоснабжения по сети труб. Понятно, что применяется в районах развитого городского и промышленного хозяйства.

Децентрализованное водоснабжение. Применяется в небольших населенных пунктах. Вода из отдельных водоисточников, не объединенных единой системой, используется потребителем.

1.3.4.Классификация систем водоснабжения по высотному положению источника водоснабжения относительно потребителя

Различают:

Напорное водоснабжение. Оно устраивается там, где уровень воды в источнике ниже потребителя и воду приходится подавать под напором. Характерно для равнинных территорий.

Самотечное водоснабжение. Организуется в случае, когда уровень воды в источнике выше уровня потребителя и вода может быть подана самотеком. Характерно для горных районов.

Таково основное содержание существующих классификаций систем водоснабжения.

1.4. Добывание воды

Источниками питания систем водоснабжения являются поверхностные и подземные воды. Подземные воды имеют целый ряд преимуществ перед поверхностными. Реки, водотоки, озёра отличаются неравномерным гидрологическим и гидрохимическим режимом. Зачастую высокая минерализация поверхностных вод не позволяет их использовать даже для хозяйственно-бытовых целей, не говоря уже о питьевом водоснабжении. Кроме того, многие населенные пункты расположены на водораздельных пространствах вдали от речных и озерных впадин. Подземные воды в противоположность поверхностным обычно безупречны в санитарном отношении, что имеет первостепенное значение для удовлетворения питьевых потребностей. Вместе с тем, ввиду их широкого распространения они представляют большой интерес для водоснабжения городов, посёлков, объектов сельского хозяйства.

Таким образом, обычно поверхностные воды используют для водоснабжения в том случае, когда отсутствуют доброкачественные подземные воды или же их эксплуатация по технико-экономическим соображениям нерентабельна. Обратимся к характеристике источников водоснабжения.

1.4.1. Использование поверхностных вод

Основным источником водоснабжения за счет поверхностных вод являются реки. На выбор типа речных водоприемников влияют величина колебания горизонтов воды, ледовые условия, топография берега и дна реки, характер грунтов и т.д.

Для правильного решения задачи проектирования и расчета речных водоприемников . требуется детальное изучение гидрологических условий реки - анализ имеющихся результатов многолетних наблюдений и постановка специальных гидрологических изысканий, а также производство геологических, гид-

рогеологических и топографических изысканий. В ряде случаев при проектировании крупных и ответственных водозаборов приходится прибегать к моделированию.

Одной из важных задач при проектировании является установление гидрологического режима реки и тесно связанного с ним характера питания реки.

По типу питания различают:

1. Реки, питающиеся за счет глубоких подземных вод.
2. Реки, питающиеся за счет грунтовых вод.
3. Реки, питающиеся за счет таяния снега, которым на равнинах характерен один короткий весенний паводок; в горных районах более длительный летний.

4. Реки, питающиеся за счет дождей.

5. Реки смешанного питания, в случае, когда участвует несколько видов питания. Этот тип наиболее часто встречается в природе.

Важным показателем состояния реки является ее уровенный режим. Выделяются следующие уровни:

1. Горизонт половодья.
2. Горизонт весеннего ледохода.
3. Меженный уровень (т.е. самый низкий).
4. Зимний горизонт (ледостав).

Кроме того, проектировщику необходимо знать гидрохимический режим реки. Качество воды в реке не остается постоянным. Оно меняется в зависимости от многих факторов. Изменение качества может происходить:

1. По длине реки (здесь могут сказываться различные типы питания с характерными химическими показателями и, кроме того, места сброса промстоков).
2. По поперечному сечению реки (в зависимости от конфигурации).
3. По временам года.
4. Во взаимосвязи с твердым стоком. Твердым стоком называется количество наносов, переносимых рекой в течение некоторого периода времени. Различают: 1. Взвешенные наносы - они определяют мутность речных вод.
2. Влекомые или донные наносы. Они состоят из более крупных фракций и определяют деформацию речного русла.

Выбор места под водозабор

К водозаборам предъявляются следующие требования:

1. Качество воды, подаваемое потребителю при всех режимах и в течение всего срока эксплуатации, должно соответствовать ГОСТам.

2. Количество подаваемой воды в течение всего срока должно обеспечивать все нужды потребителя.

Эти принципы основополагающие и исходя из них с учетом санитарных норм выработаны следующие правила выбора места водозабора: 1. Место для водоприемных сооружений должно выбираться с учетом наличия и расположения источников загрязнения реки, ее способности к самоочищению и возможности установить зону санитарной охраны. Стоимость организации зоны санитарной охраны имеет большое значение при экономической оценке выбираемого места водозабора.

2. Водозабор следует располагать у вогнутого берега, который по сравнению с выпуклым имеет существенные преимущества: река здесь меньше заносится наносами и более глубока. Расположение водозабора у вогнутого берега имеет, однако, свои недостатки. Этот берег может быть размыв, а потому следует предусмотреть работы по укреплению берега. Кроме того, у вогнутого берега ледовые условия бывают гораздо тяжелее, чем у выпуклого.
3. Водоприемные сооружения следует располагать на плесовых участках реки, а не на перекатах, так как ложе реки на последних неустойчиво.
4. Водоприемник следует располагать на участке, безопасном в отношении нагромождения льда.
5. Водоприемник следует располагать на участках, наиболее благоприятных в инженерно-геологических условиях, т.е. необходимо учесть возможность оползней, обвалов. Берег должен быть сложен устойчивыми породами. В сейсмических районах при выборе места расположения водозабора важно избегать крутых косогоров, подножья холмов и прочее, поскольку при землетрясении возможно повреждение сооружений.

Тип водозаборных речных сооружений может быть различным.

Выбор схемы и конструкции зависит от следующих факторов:

1. От гидрологических условий реки, т.е. от уровня воды в реке, водного и ледового режима, от количества твердого стока.

2. Топографических условий участка водозабора, строения берега.

3. Геологических и гидрогеологических условий участка водозабора.

4. Экономических соображений.

Рассмотрим некоторые конструкции водозаборов речных вод.

Различают береговые и русловые водозаборы.

1.4.1.1. *Береговые водозаборы* забирают воду непосредственно у берега. Поэтому у места водозабора река должна иметь достаточную глубину, а берег должен быть крутым, устойчивым, незатопляемым в период паводка. По конструктивному оформлению береговые водозаборы бывают двух основных типов: отдельные и совмещенные с водоподъемными установками.

а) Береговой водозабор отдельного типа устраивается при слабых грунтах, больших колебаниях уровня воды в реке, неблагоприятных топографических условиях.

Его отличительным качеством является то, что насосная станция монтируется отдельно от водозабора (рис. 6).



Рис. 6, Береговой водозабор отдельного типа:

- 1) береговой водоприемный колодец
- 2) насосная станция 1-го подъема;
- 3) соединительная галерея

Береговой водоприемный колодец ставится непосредственно на берегу (рис. 7). Он разделен глухой перегородкой на две секции.

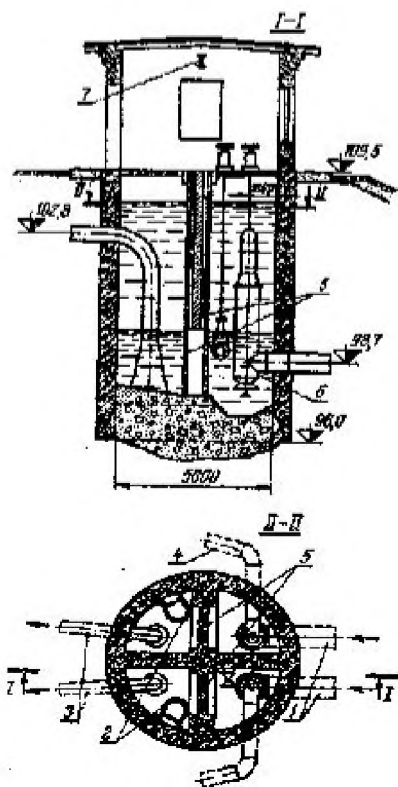


Рис. 7. Береговой колодец:

1 - самотечные трубы; 2 - лестницы с ограждением; 3 - всасывающие трубы; 4 - напорный водовод для обратной промывки самотечных труб; 5 - плоские сетки; 6 - тарельчатый клапан; 7 - подкрановая балка

Вода из реки поступает в колодец через самотечные трубы, на которых для предотвращения попадания внутрь водозабора плавающих предметов устанавливаются решетки. Трубы для приема воды размещаются на различных уровнях с таким расчетом, чтобы забирать более чистую воду при высоких и низких уровнях воды в реке.

Размеры труб и их число определяются гидравлическим расчетом. При этом средняя скорость движения воды, которая должна быть меньше скорости движения воды в реке в меженный период, принимается до 0.4 м/с. Вода попадает в первую секцию колодца, где некоторое время отстаивается, а затем фильтруется через плоские сетки и переходит во вторую секцию, первую секцию периодически чистят. Вода из второй секции забирается приемным устройством и идет в насосную станцию первого подъема. Она представляет собой бетонное или каменное сооружение, где установлены насосы и двигатели. Они служат для забора воды из второй секции колодца в систему. Для соединения берегового колодца с насосной станцией служит галерея. Колодец на 20-30 м сдвинут от берега в глубь уреза реки, так как породы берега часто неустойчивы. Все части водозабора дублированы, т.е. имеют себе аналог.

б) Береговой водозабор совмещенного типа устраивается при достаточно прочных скалистых грунтах, слагающих берега. Его отличие в том, что водозабор совмещен с насосной станцией. Совмещенный тип водозабора имеет ряд преимуществ:

объем сооружений и их стоимость по сравнению с отдельным типом уменьшаются; длина всасывающих труб получается минимальной, благодаря

чему условия работы водоподъемных агрегатов значительно улучшаются; водозабор и насосная станция могут обслуживаться одним и тем же персоналом, в) Водозабор руслового типа (или русловой водозабор) Применяют в тех случаях, если река имеет пологие берега, небольшую глубину у берега и когда в прибрежной полосе вода загрязнена (рис.8). Вода из реки поступает через оголовок по самотечным линиям в береговой колодец, откуда по всасывающим трубам забирается насосами и подается в последующие сооружения для очистки.

Основные элементы:

1) оголовок; 2) самотечная линия; 3) береговой колодец; 4) насосная станция.

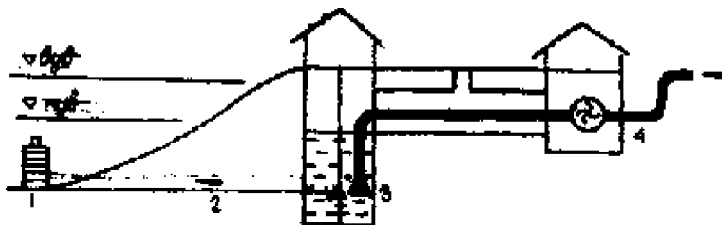


Рис.8. Водозабор руслового типа

1.4.1.2. Водозабор островного типа (КРИБ)

Устраивают на крупных водопроводах, когда требуется обеспечить высокую надежность подачи воды. Он представляет собой водоприемник башенного типа (собственно КРИБ), который выносится на середину реки и омывается со всех сторон водой. В стенках имеются водоприемные окна, через которые вода попадает внутрь. Возможны два варианта КРИБа. Первый: вода из водоприемника самотеком поступает в береговой колодец. Второй: КРИБ, совмещенный с насосной станцией. В этом случае на втором этаже башни располагается насосная станция и по висячему водопроводу вода передается на очистные сооружения, т.е. колодца нет.

1.4.1.3. Ковшевые водозаборы

Их применяют для захвата воды из рек с большим количеством донных и взвешенных наносов, внутриводного льда (шуги) и при малых глубинах. Они могут быть двух типов: первый с вводом воды по течению, второй с вводом воды против течения.

Водоприемный ковш представляет собой искусственный затон, отгороженный от русла реки земляной дамбой или вырытый в пологом берегу реки (рис.9). В конце ковша располагают береговую водоприемную сетчатую камеру, из которой вода забирается насосами.

Ковш устраивают таким образом, чтобы скорость движения воды в нем не превышала 0,05-0,1 м/с. Благодаря такой небольшой скорости в ковше происходит осаждение наносов и всплывание кристалликов льда и предупреждается таким образом образование в ковше внутриводного льда. Благодаря весьма малым скоростям движения воды в ковше ледовый покров в них устанавливается значительно раньше, чем в реке, и вода не переохлаждается. Это весьма важно, поскольку зимой вода в трубах может замерзнуть и разорвать всю систему водопровода.

Так как средняя скорость воды в ковшах всегда значительно меньше скорости воды в реке, при входе в ковш с верхним питанием (т.е. против течения) образуется некоторый подпор. Это обуславливает питание ковша в основном за счет поверхностных токов. Следовательно, ковш с верховым входом более подвержен занесению в него шуги, чем наносов. При входе в ковш с низовым входом течение воды в реке образует некоторый подсос; в силу этого ковш такого рода питается в большей степени придонными токами, более насыщенными наносами. Таким образом, ковш с верховым входом целесообразно устраивать в реках слабошуганосных, но имеющих большое количество наносов.

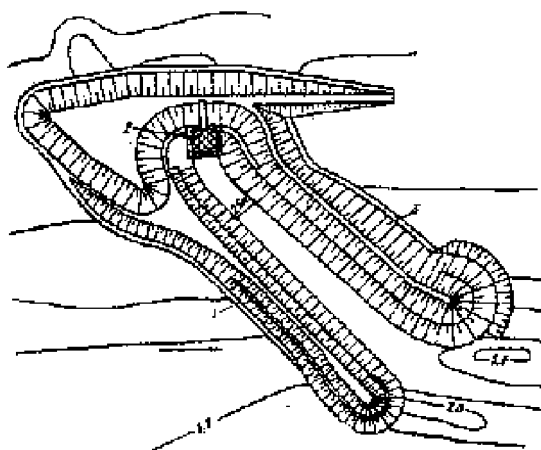


Рис.9. Водоприемный ковш:
1-верховая дамба; 2-водозабор; 3-низовая дамба

Ковш с низовым входом следует устраивать в сильно шуганосных реках с относительно чистой водой. Те и другие периодически очищают.

В некоторых случаях устраивают ковши с двухсторонним входом и с устройством для перекрытия входов. Это позволяет подавать воду попеременно: то через верхний, то через нижний вход. В результате осуществляется в соответствующие периоды года борьба с шугой (в осенне - зимний период) или с наносами (преимущественно весной).

1.4.1.4. Водозаборы на горных реках

Горные реки имеют свои характерные черты: значительные уклоны русла, большую скорость течения, значительные колебания наименьших и наибольших расходов воды, в межень расходы могут быть очень малыми, паводковые же расходы могут превышать меженные во много раз, громадное количество наносов, причем крупного размера; на некоторых реках периодические селевые потоки, отсутствие сплошного ледяного покрова, обильное образование глубинного льда, тяжелые шгуовые явления. Для забора воды применяют следующие типы сооружений.

а) Водозабор с донной плотиной

Водоприемник представляет собой бетонный канал в теле плотины (рис.10), заложенный поперек русла реки и перекрытый решеткой; через ее отверстия вода «проваливается» в канал и поступает в отстойник, играющий

роль ловушки песка и гравия. Затем вода идет в сборный колодец, откуда забирается насосами или же самотеком поступает потребителям. Для очистки отстойника делают промывочный шлюз. Для лучшего смыва наносов решетку над каналом устраивают под уклоном в сторону нижнего бьефа.

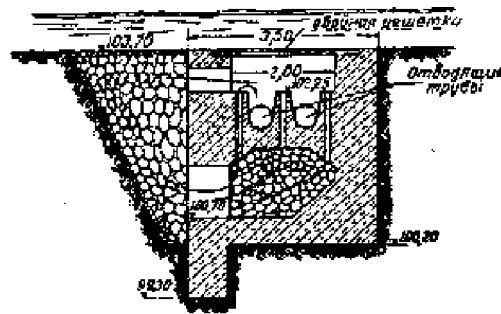


Рис.10. Водозабор с донной плотиной

б) Инфильтрационный водозабор

Этот тип водозаборных сооружений забирает воду не непосредственно из реки, а захватывают ее в виде фильтратов, поступающих в породы, которые слагают русло и берега реки (рис.11). Такие методы приема воды дают возможность освобождать ее от наносов.

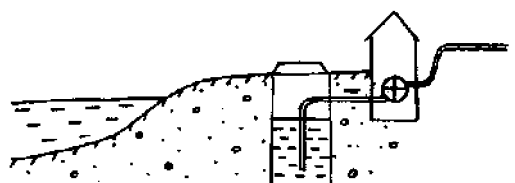


Рис.11. Инфильтрационный водозабор

Водозаборы инфильтрационного типа устраивают на мелководных реках и при условии, что берега реки сложены песчаными или гравелистыми пластами,

которыми можно пользоваться для фильтрования через них забираемой речной воды. С этой целью сооружают колодец или горизонтальный водозабор на расстоянии 25-70 м от уреза меженных вод. При откачке воды насосами из колодца или горизонтального водозабора в них притекает профильтрованная речная вода. Однако при сильной откачке взвешенные вещества, находящиеся в речной воде, засасываются глубоко в толщу берега и закупоривают ее поры. Только при слабой откачке инфильтрация получается медленной, взвешенные частицы отлагаются лишь по руслу реки и периодически при паводках смываются быстрым течением. При этом фильтрующие свойства берегов сохраняются в течение длительного времени. Опытным путем определено, что скорость инфильтрации не должна превышать 0,02 - 0,04 мм/с.

Более технически совершенным является горизонтальный трубчатый водозабор. В месте наиболее обильной инфильтрации речной воды в толще берега устраивается шахтный водоприемник, из нижней части которого проводятся к реке трубы для сбора фильтрата (рис.12). Трубы или дырчатые, или щелевые. Их укладывают методом продавливания изнутри колодца. В отдельных случаях речная вода закачивается насосами в бассейны, вырытые в водопроницаемых грунтах, откуда они, фильтруясь, как бы создают грунтовые воды.

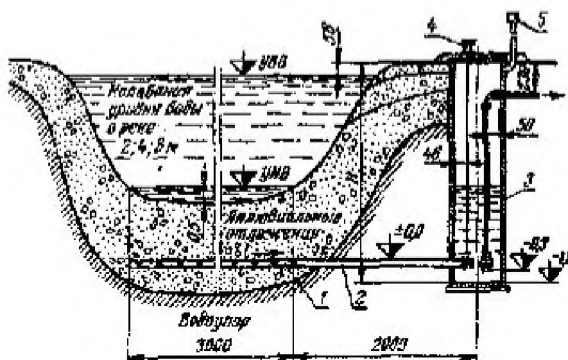


Рис. 12. Горизонтальный трубчатый подрусловый водозабор:

- 1 - полиэтиленовые водоприемные трубы;
- 2 - стальные водоотводные трубы;
- 3 - водосборный колодец;
- 4 - колонка управления задвижкой;
- 5 - вентиляционная колонка

В других случаях для водоснабжения используют подрусловый поток рек, который перехватывают путем строительства колодцев поперек долины. Воды, получаемые таким способом, обычно отличаются хорошим качеством.

1.4.1.5. Водозаборные сооружения на реках с недостаточной глубиной

Иногда глубина воды в реке оказывается недостаточной в пределах всего поперечного сечения русла реки. В таких случаях приходится прибегать к мероприятиям, позволяющим увеличить глубину воды в реке у места водозабора. Эти мероприятия могут быть разбиты на две основные группы: 1) мероприятия по созданию подпора у места водоприема, т.е. по местному повышению уровня воды в реке; 2) углубление дна реки у водоприемника и обеспечение стабильности полученных глубин. Некоторые мероприятия преследуют обоюдные цели.

Небольшое местное повышение уровня воды у берегового водоприемника с одновременным увеличением глубины у берега может быть достигнуто при

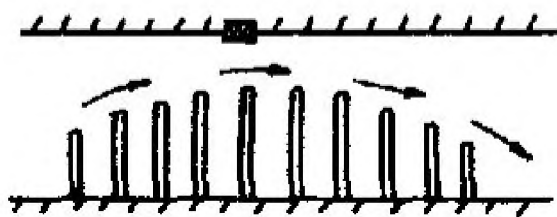


Рис.13. Полупруды

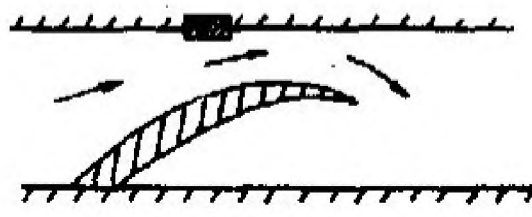


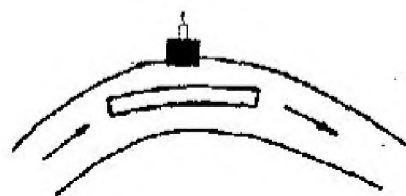
Рис.14. Струенаправляющие дамбы

помощи устройств, обуславливающих стеснение потока в месте забора воды и отклоняющих поток к водоприемнику.

К таким устройствам относятся следующие сооружения: а) полупруды (рис.13); б) струенаправляющие дамбы (рис. 14).

Полупруды и направляющие дамбы могут быть различных конструкций: земляные, из каменной наброски, свайные, комбинированные. При помощи этих устройств удастся поднять уровень воды на некоторую величину. Кроме того, увеличение скоростей течения воды у водоприемника вызывает углубление дна. Для предотвращения размыва берега и подмыва водоприемника проводят укрепление берега.

в) Подводные прорези являются специальным мероприятием и ведут к углублению дна реки в месте водоприема. Прорези устраивают при помощи землечерпальных машин. При их устройстве исходят из следующих условий:



1. Место для прорези выбирают там, где менее всего возможно занесение ее наносами.

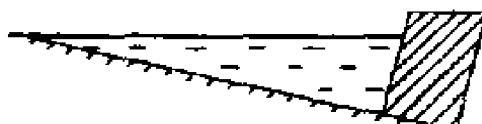
Рис.15 Подводные прорези

2. Направление прорези должно совпадать с направлением течения.

3. Прорезь должна располагаться у вогнутого берега.

4. По длине она не должна превышать 500 м, поскольку выполнение и поддержание в рабочем состоянии дорого (рис. 15).

г) Водоподъемные плотины (рис. 16) сооружают в том случае, когда для рационального приема воды глубина реки недостаточна и другие устройства для ее увеличения очень дороги или вовсе неприемлемы по местным условиям. Водоподъемные плотины могут быть или глухими, (т.е. с переливом воды через гребень, без затворов), или с затворами. Глухая плотина, обеспечивая



требуемый уровень воды в реке, не позволяет регулировать этот уровень при

Рис.16. Водоподъемные плотины

сезонных изменениях расхода воды. Кроме того, при глухих плотинах осложняется борьба с заилением в верхнем бьефе плотины. Водоподъемная плотина предусматривает применение водозаборов любого типа.

1.4.1.6. Особенности приема воды из водохранилищ и озер

В маловодных районах Средней Азии и Казахстана где относительно малый и неустойчивый сток местных рек не обеспечивает надежного снабжения водой, строятся водохранилища. При этом в проектировании и строительстве водозаборов необходимо учитывать изменения, вносимые водохранилищем в гидрологический режим реки. В крупных водохранилищах при устройстве водоприемных сооружений должны быть учтены возможные воздействия: ветровых волн, явление сгона и нагона воды, явления переформирования берегов водохранилищ, а также характер отложения наносов. Должно быть учтено изменение и качество воды в водохранилище. В водохранилищах, используемых комплексно, забор воды из него для целей водоснабжения должен учитывать еще целый ряд факторов, связанных с характером эксплуатации водоема другими водопользователями; режим сработки водохранилища для нужд ГЭС, забор и сброс воды промышленными предприятиями, работа речного транспорта, лесосплав и др.

Выбору места расположения водоприемника должно предшествовать изучение течений, которые обуславливают передвижение загрязнений.

Для приема воды из водохранилища могут быть использованы водоприемные сооружения большинства из приведенных выше типов. Наряду с ними

широкое применение нашли водоприемники передвижного и плавающего типа. Если в ранее рассмотренных конструкциях предусматривались меры предохранения насосов при высоких уровнях воды в реке, то водоприемники данного типа основаны на совершенно ином принципе. В этих сооружениях обеспечивается изменение отметки насоса в соответствии с сезонными колебаниями уровня воды таким образом, чтобы высота всасывания оставалась всегда одной и той же и небольшой. Перемещение насосов при изменении уровня воды может осуществляться двумя принципиально различными способами:

Устройство плавающих водоприемников.
В этом случае насосы устанавливаются на барже или на понтоне. Высота всасывания остается всегда постоянной, так как насосы поднимаются и опускаются вместе с баржей при колебаниях горизонта воды. Плавающим водоприемным устройствам присущи недостатки: 1. Необходимость иметь гибкие соединения с берегом, которые при больших диаметрах труб оказываются громоздкими. 2. Тяжелые условия эксплуатации при сильных ледоходах.

Поэтому плавучие водоприемники применяют лишь в тех случаях, когда их можно располагать в местах, защищенных от ледохода, например, в затонах.

К достоинствам можно отнести следующее:

1. Независимость условий приема воды от колебаний уровня.
2. Возможность быстрого устройства водоприемника.

Ввиду этого они заслуживают внимания при устройстве временного водоснабжения.

Устройство передвижных водоприемников с установленными в них насосными станциями.

Одним из основных типов перемещения водоприемника является фуникулерный (рис.17).

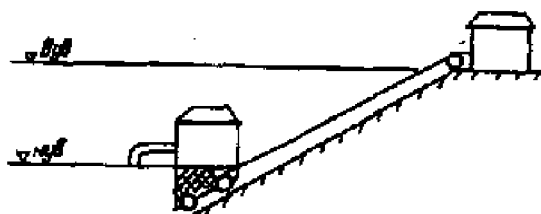


Рис. 17. Фуникулерный тип перемещения водоприемника

Он применяется как при пологих, так и крутых берегах. В специальном вагончике размещают насосы с двигателями. Всасывающие линии насосов выпускаются наружу. При помощи стального каната и лебедки, располагаемой на берегу выше горизонта высоких вод, вагончик может перемещаться по рельсам, которые укладываются по откосу берега. Вдоль рельс укладывается водовод с патрубками, к которым при помощи гибких шлангов и присоединяются насосы. Расстояние между патрубками принимают в зависимости от скорости подъема воды при паводках с таким расчетом, чтобы вагончик требовал передвижения 1 раз в 2-3 суток.

Стационарные водоприемники для получения воды из водохранилищ бывают двух основных типов: совмещенные с плотинами и с водоспусками.

При совмещении водоприемника с плотиной прием воды делается с помощью шахт, которые устраиваются в теле плотины (рис. 18). В стенке шахты на различных отметках имеются отверстия, в которые закладываются раструбы. Они соединяются с системой труб, идущих к насосной станции и располагаемых в теле плотины.

В качестве водоприемного устройства нередко используют башни донного водоспуска водохранилища (рис. 19). В стенке башни на разных отметках устраивают ряд окон с грубыми решетками. К ним подводят раструбы, связанные с трубами, которые в тоннеле донного водоспуска идут к насосной станции. Станция обычно расположена в нижнем бьефе. Иногда ее совмещают с башней донного водоспуска.

Водоприемные сооружения, совмещаемые с плотинами и водоспусками, могут оказаться слишком далеко от объектов водоснабжения и вызвать вследствие этого удлинение и удорожание водоводов. В таких случаях устраивают водоприемники второго типа отдельно стоящие водоприемники. Они дают возможность выбрать место с учетом расположения объекта водоснабжения. Они могут быть берегового или руслового типа.

Не следует выносить их к хвосту водохранилища, где оно подвержено большому заилению.

1.4.2. Использование подземных вод для водоснабжения

Из истории развития водоснабжения известно, что подземные воды использовались уже в древности. По многим показателям использование подземных вод для водоснабжения более предпочтительно, чем поверхностных.

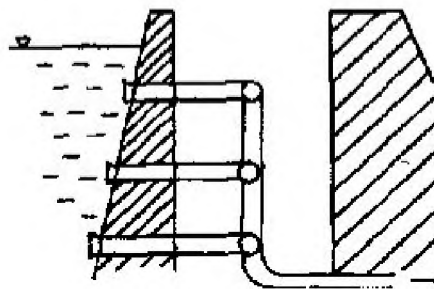


Рис. 18. Водоприемник, совмещенный с плотиной

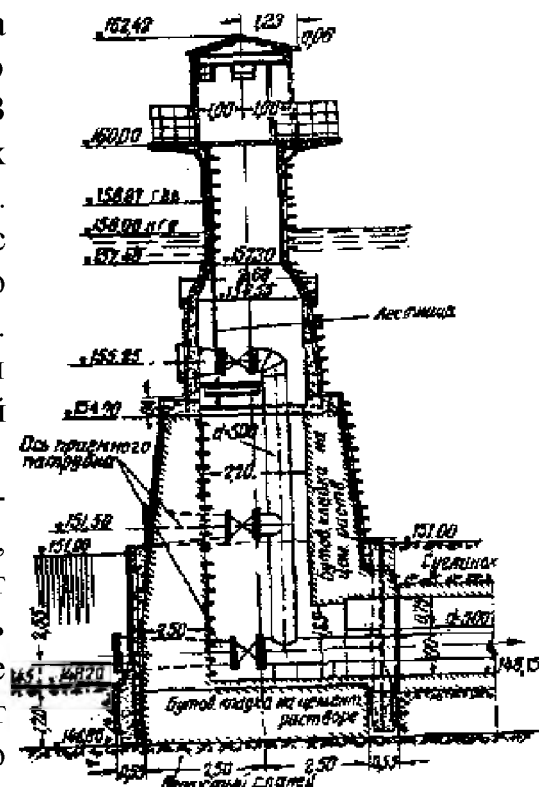


Рис. 19. Водоприемник, совмещенный с водоспуском

Более половины городов СНГ снабжаются водой полностью за счет подземных источников. По данным ВСЕГИНГЕО прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод СНГ составляют 10 500 м³/с, из них используются порядка 610 м³/с, т.е. около 6 %, 70 % эксплуатационных скважин используется для водоснабжения сельского хозяйства, 11 % - для городского водоснабжения, 19 % - для орошения.

В США используется 19 % выявленных запасов подземных вод, 65 % эксплуатационных скважин используют для орошения, 23 % - для промышленного водоснабжения, 2 % - для сельского и 10 % - для городского водоснабжения.

Таким образом, резервы в использовании подземных вод в целом велики. Для целей водоснабжения используют подземные воды, залегающие на различных глубинах и в различных породах.

Наибольший интерес для хозяйственно-питьевого водоснабжения представляют водоносные пласты, перекрытые сверху водоупорными породами и предохраняющими подземные воды от загрязнения. Кроме того, зачастую такие воды обладают напором, что облегчает их получение.

Однако часто используют и безнапорные подземные воды, т.е. воды, имеющие свободную поверхность.

Для целей водоснабжения с успехом используют также родниковые воды, т.е. подземные воды, самостоятельно выходящие на поверхность. В отдельных случаях для производственного водоснабжения используют шахтные воды, т.е. подземные воды, поступающие в шахты, сооруженные для добычи полезных ископаемых.

Вопросы происхождения подземных вод, условия их залегания изучаются в курсе гидрогеологии. В курсе "Водоснабжение" рассматриваются только методы получения этих вод.

Тип каптажных сооружений (т.е. сооружений для захвата подземных вод) зависит от глубины их залегания, мощности водоносного пласта и его водообильности, характера пород, наличия давления и прочее.

Существует три основных типа каптажных сооружений:

- 1) горизонтальные водозаборы;
- 2) шахтные колодцы;
- 3) трубчатые колодцы.

Условия применения этих каптажных сооружений определяются исходя из табл.2.

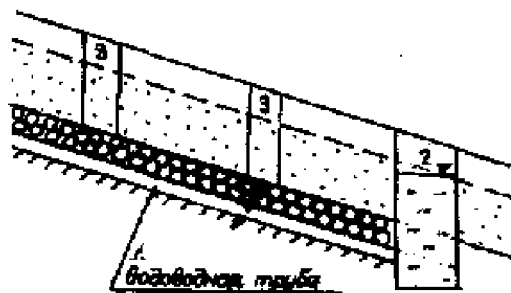
Таблица 2

Тип каптажа	Глубина залегания водоносн. гор-та, м	Мощность слоя, м	Необходимые санитарные условия в р-не водозабора
Горизонтальные водозаборы	5-8	2-3	Хорошие
Шахтные колодцы	До 20-40	5-8	Удовлетворительные
Трубчатые колодцы	Более 20 м	Более 5	Зависят от гидрогеологических

1.4.2.1. Горизонтальные водозаборы представляют собой дренажные трубы или галереи, захватывающие воду из водоносного пласта и выводящие ее самотеком к сборным камерам или резервуарам (рис.20). Состоят из трех частей:

1. Водоприемная часть

Прокладывают в водоносном слое из проницаемых труб и служит она для приема воды внутрь водозабора и отвода ее. В рыхлых водоносных грунтах водоприемную часть оборудуют фильтром. Вода транспортируется от водоприемной части до сборной камеры.



2. Водозаборная камера устраивается для задержания частиц грунта, выносимых водой и для наблюдения за работой водозабора. В сборной камере располагают сливные трубы и приборы управления ими (рис. 21).

3. Смотровые колодцы устраивают для очистки, вентиляции и наблюдения за работой водозабора (рис. 22).

Принятая из пласта вода транспортируется к водозаборной камере самотеком, поэтому водосборные трубы прокладываются под уклоном, который определяют гидравлическим расчетом. Трубы работают неполным сечением в безнапорном режиме.

Горизонтальные водозаборы располагают на местности по прямой или ломаной линии перпендикулярно направлению движения подземных вод. На всех поворотах и в местах изменения уклонов труб устраивают смотровые колодцы, а на прямолинейных участках - через 50 м.

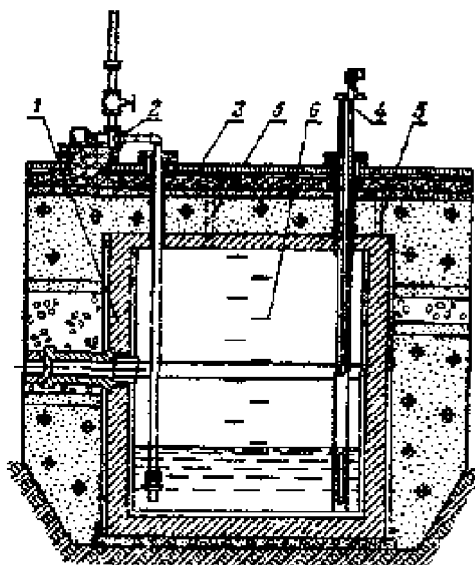


Рис.21. Водозаборная камера:

1 - водосборная камера из сборного железобетона, сооружаемая в открытом котловане; 2 - насос для откачки воды; 3 - железобетонная плита; 4 - измерительный пьезометр (совмещен с вентиляционной трубой); 5 - люк; 6 - ходовые скобы

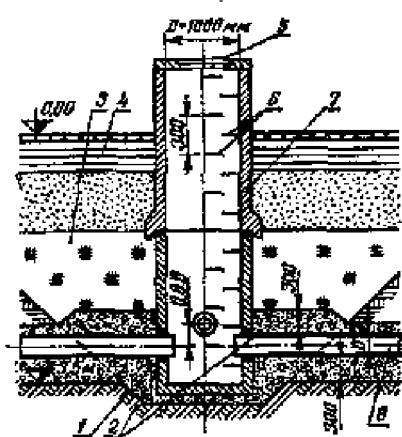


Рис. 22. Смотровой колодец:

1-заделка стыков цементным раствором;
2 - сортированный гравий;
3-обратная засыпка с послойным уплотнением трамбованием;
4 - водонепроницаемый экран с отмошкой;
5 - люк; 6 - ходовые скобы; 7 - сварные железобетонные кольца; 8 - водосборные трубы

Между смотровыми колодцами трубы должны быть строго прямолинейны как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Это обеспечивает возможность прочистки труб при засорении.

Горизонтальные водозаборы могут быть: совершенными, залегающими своим основанием на водоупоре; несовершенными, не достигающими водоупора.

Конструкции водозаборов могут быть весьма различными в зависимости от строения водоносного пласта, крупности его зерен, от поперечных размеров труб или галерей и т.п. Все конструкции водозаборов можно разделить на три группы.

а) *Траншейные водозаборы* с засыпкой камнем или щебнем (рис.23). Это наиболее простая конструкция, применяемая для водоснабжения мелких или временных водопотребителей при небольших потребностях в воде.

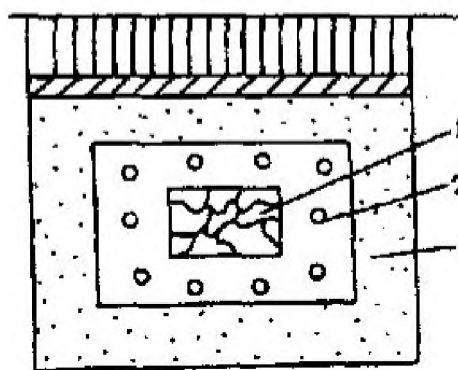


Рис.23. Траншейный водозабор:

1) камень; 2) гравий; 3) песок

б) *Трубчатые водозаборы* сооружают из керамических, бетонных или железобетонных труб (рис.24). Трубы имеют отверстия (перфорацию) круглой или щелевидной формы. Диаметр отверстия труб может быть от 150 до 500 мм. Укладываются они с уклоном $J \geq 0,001$. Для

устройства трубчатого водозабора предварительно роют траншею глубиной 5 - 7 м, укладывают дырчатые трубы и обсыпают несколькими слоями гравийно-песчаного фильтра. Соотношение диаметров зерен двух соседних слоев обсыпки должно быть не более двух-трех, т.е. (20-10-5 мм). Высота слоя обсыпки при небольшой мощности водоносного горизонта составляет 0,2-0,3 его мощности.

Водоприемная часть водозабора должна быть хорошо защищена от просачивающихся сверху загрязненных поверхностных вод, для чего над ней в траншее укладывают водонепроницаемый экран из утрамбованной глины толщиной не менее 0,5 м.

Для отвода скапливающихся вод над ним иногда устраивают дренажи. в) Водозаборные галереи, В них вместо труб устраивают проходные галереи, более надежные в эксплуатации (рис.25). Высоту галереи принимают не менее 1,6 м, а ширину - 0,7 м. Материалом для галереи могут служить бетон, камень. Наиболее совершенными являются сборные железобетонные галереи. Устраивают их как открытым способом, так и проходкой штольной. Траншеи для горизонтальных водозаборов роют от устья к голове, т.е. от самых пониженных точек к более высоким, что обеспечивает отвод воды из траншеи самотеком. При большом объеме работ и глубоком залегании галереи может оказаться выгодной проходка галереи закрытым щитовым способом.

Требования, предъявляемые к горизонтальным водозаборам:

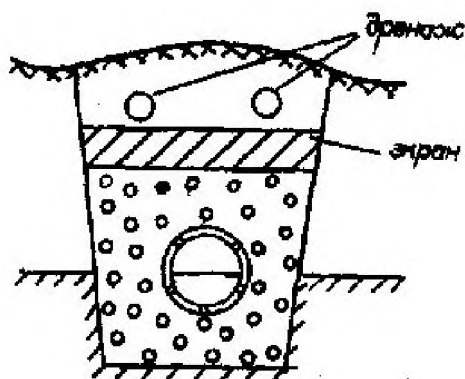


Рис. 24. Трубчатый водозабор

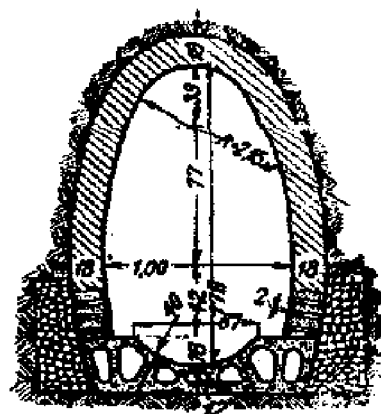


Рис. 25. Водозаборная галерея

1. Материалы для строительства водозаборов должны быть долговечны (керамика, бетон, железобетон, чугун, камень).

2. Трубы и галереи должны иметь уклон к водосборному колодцу, обеспечивающий движение воды, но исключая заиливание и засорение труб. Скорость движения воды должна составлять около 0,5-0,8 м/с.

3. Для лучшего перехвата подземного потока горизонтальные водозаборы необходимо закладывать перпендикулярно движению потока.

4. Для прочистки горизонтальных водозаборов устраивают смотровые колодцы. Расстояние между колодцами принимается: при трубах, недоступных для осмотра, 25-50 м, а при галереях, доступных для осмотра, от 50 до 200 м.

5. Для обеспечения обмена воздуха должна быть устроена вентиляция,

6. Для лучшего перехвата подземного потока подошву водозабора желательно закладывать на водоупоре.

1.4.2.1.1. Гидрогеологический расчет горизонтального водозабора

Расчет горизонтальных водозаборов состоит в определении притока воды к ним (рис.26) и расчета движения воды в самих водозаборах (2). Количество воды, поступающее в совершенный водозабор из безнапорного водоносного пласта, определяется по формуле Дюпюи

$$Q = 1K \frac{(2H - S)S}{R},$$

где l - длина водозабора; k - коэффициент фильтрации; H - мощность водоносного горизонта; S - понижение уровня; R - радиус депрессии.

Можно считать, что $S = H - h$, где h - глубина воды у наружной стенки водозабора (зависит от принятого диаметра трубы).

Радиус влияния (депрессии) можно определить по следующей формуле:

$$R = 2S\sqrt{KH}$$

Для ориентировочных расчетов при разных грунтах могут быть приняты следующие значения R :

- мелкий песок ($d = 0.1 \div 0.25$ мм) - 50-75 м;
- песок средней крупности ($d = 0.2-0.5$ мм) - 75-100 м;
- крупный песок ($d = 0.5-1$ мм) - 100-150 м;
- мелкий гравий ($d = 2-3$ мм) - 150-500 м;
- гравий средней крупности ($d = 3-5$ мм) - 500-1000 м.

Коэффициент фильтрации K выражается скоростью фильтрации при уклоне, равном единице (1). Для приближенных расчетов могут быть приняты следующие значения K :

- галечник с весьма крупным песком - 250-900 м/сут;
- гравий с крупным песком - 100-250;
- крупный песок - 50-100;
- песок средней крупности - 25-50;
- мелкий песок - 10-25;
- очень мелкий песок - 1-10.

При двухстороннем питании галереи (т.е. при расположении вдоль фунтового потока) формула имеет вид

$$Q = \frac{1K(2H - S)S}{R}$$

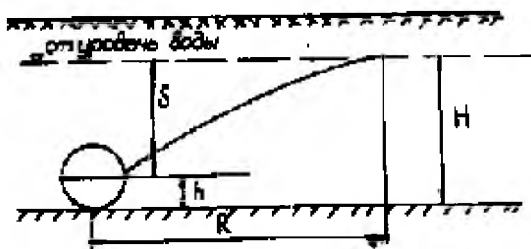


Рис. 26. Приток воды к совершенному горизонтальному водозабору

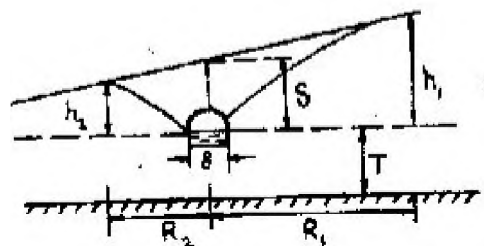


Рис.27. Приток воды к несовершенному горизонтальному водозабору

Для расчета несовершенных водозаборов применяется формула А.В.Романова. При этом расчетная схема имеет вид

$$Q = 1K \left[\frac{h_1^2}{2R_1} + \frac{h_2^2}{2R_2} + \frac{S}{2,3 \lg \frac{1,67T}{\pi b} + \frac{R_1 R_2}{T(R_1 + R_2)}} \right]$$

где l - длина; b - ширина водосборной галереи. Остальные величины показаны на рис.27. При симметричном притоке воды к водозабору $h_1 = h_2 = S$ формула принимает вид

$$Q = 1KS \left[\frac{S}{R} + \frac{1}{2,3 \lg \frac{1,67T}{\pi b} + \frac{R}{T}} \right]$$

1.4.2.1.2. Гидравлический расчет водозабора

Гидравлический расчет водозабора заключается в определении диаметра трубы по известному расходу и скорости движения воды в зависимости от уклона сооружения.

Расчетные формулы:

$$Q = F \cdot V; V = C \sqrt{\rho / J};$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{\rho}}}; \rho = \frac{F}{P}$$

где Q - расход водозабора;
 F - площадь поперечного (живого) сечения водозабора (занятого водой);
 V - скорость движения воды;
 C - коэффициент Шези;
 J - уклон водозабора;
 ρ - гидравлический радиус;
 γ - коэффициент шероховатости (для гладких стенок труб $= 0,1$);
 P - смоченный периметр.

Расчет ведется методом подбора. Задаемся диаметром трубы, определяем по нему площадь поперечного сечения, занятого водой (F) и скорость (V). Значения F и V подставляем в формулу $Q = F \cdot V$ и добиваемся равенства правой и левой части этого уравнения.

К я р и з ы. Это особый тип горизонтальных водозаборов. Представляет собой горизонтальную штольню небольшого поперечного сечения высотой около 1 м, шириной около 0,5 м и значительной длины, достигающей нескольких километров. Для ее проходки используются колодцы, которые затем соединяются штольней. Стенки кяриза крепятся деревянными рамами или камнем; на дне кяриза, имеющем уклон, устраивается каменный лоток для отвода

собираемой воды. Расстояние между колодцами от 20 до 50 м в зависимости от характера горных пород. Глубина их зависит от глубины заложения кяриза и достигает 50 м. Выход кяриза обычно устраивается у подножья склона и оборудуется водоприемником.

Производительность отдельных кяризов довольно высока: 25-50 л/с, иногда до 250 л/с. Обычно воды кяризов используются для орошения.

В настоящее время в Азербайджане действует около 900 кяризов с суммарным дебитом 25 м³/с.

В Иране число кяризов достигает 25 тысяч. Их общая производительность превышает 1000 м³/с.

1.4.2.2. Шахтные колодцы. Широко применяются в сельскохозяйственном водоснабжении, для снабжения водой небольших объектов - пастбищных водопойных пунктов, полевых станов, животноводческих ферм. Используют их также в поселках, не имеющих водопроводов (14).

В Казахстане действует около 30 тысяч колодцев, ими обводняется более 38 млн.га пастбищ.

Шахтные колодцы являются разновидностью вертикального каптажа. Глубина шахтных колодцев обычно не превышает 10 м, реже встречаются колодцы глубиной 30-40 м. Такую глубину принято считать предельной, хотя известны случаи сооружения колодцев глубиной до 250 м в Туркмении.

В шахтном колодце различают следующие элементы (рис.28).

По глубине проходки водоносного горизонта и степени полноты каптажа колодцы разделяют на совершенные и несовершенные.

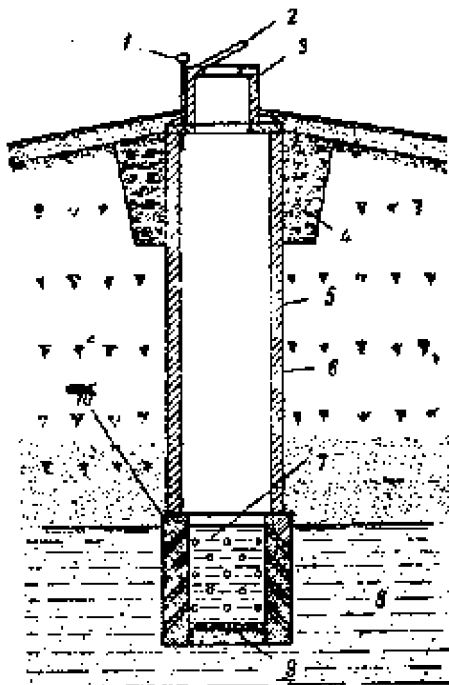


Рис. 28. Схема шахтного колодца:

1 - вентиляционная труба; 2 - крышка или люк; 3 - оголовок; 4 - глиняный замок; 5 - шахта; 6 - крепление шахты; 7 - водоприемная часть; 8 - водоносный пласт; 9 - донный фильтр; 10 - водоприемные окна

Водоприемную часть несовершенных колодцев заглубляют в водоносный пласт не менее чем на 2 м. Дно ее оборудуют для предотвращения выноса частиц обратным песчано-гравийным фильтром. Поперечные размеры водоприемной части делают обычно такими же, как и размеры шахты. При малом дебите для создания достаточного запаса воды в шахтном колодце размеры водоприемной части иногда увеличивают, расширяя ее в стороны за пределы шахты. Такое расширение называют шатром. С той же целью колодец можно углубить в подстилающий водоупорный пласт. Это увеличивает объем водоприемной части и создает необходимую глубину для забора воды. Такое углубление называют подствольник (рис. 29).

Оголовок выполняется в виде отделки верхней части шахты, выходящей на поверхность, стенками высотой 0,1 - 0,5 м. Сверху оголовок снабжают крышкой или люком и вентиляционной трубой. Для предотвращения просачивания вдоль стенок загрязненной воды вокруг колодца устраивают замок из глины. Ширину замка принимают 0,5 м, глубину 1,5-2 м.

Поверхность вокруг колодца делается с наклоном и мостится камнем. Для крепления шахты колодца применяют дерево, камень, кирпич, бетон и железобетон. Наиболее совершенными в техническом и санитарном отношении являются железобетонные колодцы. Деревянные колодцы вследствие гниения древесины недолговечны, требуют частого ремонта. Их строят лишь для временного водоснабжения.

Шахтные колодцы с железобетонным креплением отличаются прочно-

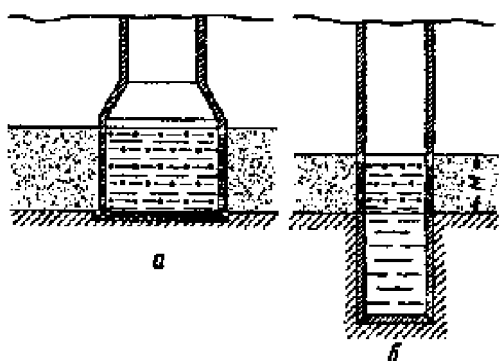


Рис. 29. Схема шатра и подствольника:

а - шатер; б - подствольник

стью, долговечностью, отвечают санитарным требованиям. Строительство их можно вести индустриальным способом, с применением сборного железобетона. Крепление колодцев собирают из железобетонных колец высотой 0,7- 0,8 м, диаметром 1 м и толщиной стенок 0,08-0,1 м. Кольца устанавливают друг на друга на цементном растворе и скрепляют между собой стальными скобами.

Кольца изготавливают из бетона марки 300, гравий или щебень, входящие в состав бетона, не должны содержать крупных фракции (более 30 мм). Кольца армируют специальной сеткой или арматурой диаметром 4-6 мм.

Для более точного определения толщины стенок крепления пользуются эмпирической формулой

$$T = aD + b$$

где а - коэффициент, для бетонных колец равный 0,08; для железобетона - 0.04;

Д - внутренний диаметр колодца (м);

b - коэффициент, для бетонных колец - 0,01; для железобетона - 0,05. Для крепления водоприемной части колодца применяют кольца с проницаемыми стенками из пористого железобетона.

Проходку кольца, как правило, ведут опускным способом.

Возможны способы устройства железобетонного крепления непосредственно в шахте, одновременно с ее проходкой: затирка стенок цементным раствором по сетчатой арматуре или бетонирование стенок в подвижной металлической опалубке.

Для механизированной проходки колодцев опускным способом созданы специальные машины - колодцекопатели КШК-30 и КШК-40. Ими можно строить колодцы глубиной соответственно 30 и 40 м, диаметр выработки 1,2-1,3 м в грунтах до 4 категории включительно.

При проходке колодцев в скальных породах применяют буровзрывные работы. Взрывным методом пользуются также для устройства шахтных колодцев в рыхлых пластичных породах (суглинках, глинах). Для этого на глубину колодца бурится скважина и закладывается взрывчатка. В результате взрыва за счет уплотнения грунта на месте скважины образуется шахта с весьма плотными стенками, которые затем крепят.

Шахтные колодцы с кирпичным креплением долговечны, но ввиду большой трудоемкости их строительства теперь применяются редко. Для крепления шахты таких колодцев берут плотный постелистый камень или хорошо обожженный кирпич, кладку ведут на цементном растворе.

Шахту проходят опускным способом. Чтобы при опускании крепления не получилось разрыва кладки, ее армируют стальными анкерными тяжами. Для доступа воды в колодец часть швов в кладке водоприемной части оставляют без раствора.

Шахтные колодцы с деревянным креплением устраивают в виде сруба из бревен или пластин. Крепление делают из прочных пород дерева, хорошо сопротивляющихся гниению (дуб, лиственница, сосна).

Проходка водоносного слоя представляет наибольшие трудности при строительстве колодцев. Водоносные породы чаще всего бывают представлены рыхлыми песчаными грунтами, которые под действием давления фильтрующейся воды легко приходят в движение, превращаются в полужидкую массу (пывун) и заваливают забой. Проходку колодца в водоносном слое лучше всего вести опускным способом с водоотливом. По окончании проходки водоносного грунта сразу же устраивают донный обратный фильтр из крупного песка и гравия. Сначала на дно колодца насыпают слой крупного отсеянного песка толщиной 10-15 см, поверх которого насыпают слой гравия толщиной 15-20 см. При напорных пывунах такой фильтр во избежание выпирания пригружают галькой или каменной наброской.

1.4.2.2.1. Фильтры шахтных колодцев являются наиболее сложными из элементов, так как здесь происходит переход воды из водовме-

щающей породы в открытое пространство водозабора, что сопровождается сложными физико-химическими процессами: 1) выпиранием грунта под воздействием давления потока воды; 2) суффозией, т.е. вымыванием мелких частиц через поры грунтового скелета; 3) выделением из воды растворенных газов и выпадение солей вследствие снижения пластового давления; 4) коррозией материалов под воздействием агрессивной воды.

При неправильном выборе фильтра эти явления могут ухудшить работу водозабора и даже полностью прекратить захват воды.

Фильтры подземных водозаборов должны отвечать следующим требованиям:

1. Не пропускать частиц водоносной породы внутрь колодца.
2. Иметь небольшое сопротивление входу воды.
3. Не закупориваться частицами водоносной породы.
4. Не подвергаться коррозии.
5. Не зарастать в результате отложений солей и продуктов коррозии.
6. Иметь достаточную прочность, чтобы воспринимать давление горных пород.

Фильтры, особенно в скважинах, при эксплуатации практически недоступны для осмотра, очистки и ремонта. Поэтому они должны обладать высокой надежностью и долговечностью.

Борьба с механической закупоркой и пескованием заключается в правильном подборе размера и формы отверстий в фильтре. Общая площадь проходных отверстий в фильтре должна быть достаточно большой, чтобы скорость фильтрации воды не превышала допустимых значений, за пределами которых усиливается вынос из грунта мелких частиц.

Борьба с химической коррозией при агрессивных водах заключается в изготовлении фильтра из антикоррозийных материалов (дерева, керамики, пластмасс, латуни, бронзы, нержавеющей стали и др.). Металлические части фильтров следует покрывать антикоррозийными лаками, синтетическими смолами, резиной, полиэтиленом.

По способу борьбы с выносом водоносной породы фильтры подразделяются на два типа:

1. Фильтры с частице задерживающими отверстиями (в основном применяются в трубчатых колодцах) имеют узкие проходные отверстия, через которые не могут проникать частицы заранее установленной крупности. По конструкции эти фильтры делят на дырчатые, щелевые, проволочные, сетчатые и гравийные.

2. Фильтры гравитационные. Эти фильтры имеют широкие водоприемные отверстия, в которых грунт удерживается от выноса за счет собственной силы тяжести. При этом водоприемным отверстиям придают вертикальное или наклонное положение с направлением фильтрации снизу вверх.

Выбор входных отверстий фильтра. При выборе входных отверстий приходится сталкиваться с двумя противоречивыми требованиями. С одной стороны, они должны быть достаточно широкими, чтобы

противостоять закупорке мелкими частицами породы и отлагающимися солями, с другой стороны, должны быть достаточно малыми, исключая пескование.

Размеры проходных отверстий выбирают с таким расчетом, чтобы через них не проходили средние и крупные зерна песка. При работе такого фильтра вначале будут выноситься мелкие частицы, а средние и крупные будут задерживаться и создавать вокруг фильтра слой промытого грунта. Со временем прекращается и вынос мелких частиц.

Таковы общие требования, предъявляемые к фильтрам всех водозаборных сооружений подземных вод, т.е. эти требования распространяются как на шахтные, так и на трубчатые колодцы, о которых речь пойдет несколько позже.

Приток воды в колодец может быть боковым, низовым или смешанным. В зависимости от характера приема воды, ее минерализации и грунтово-гидрогеологических условий водоприемная часть колодца оборудуется фильтрами различного типа. Многослойные донные гравийные фильтры применяются при низовом приеме воды, а гравитационные - дырчатые и фильтры из пористого бетона - при боковом.

Дырчатые фильтры. Их устанавливают в гравелистых и галечниковых грунтах. Выполняют в виде сквозных круглых или прямоугольных отверстий в стенках крепления водоприемной части. В бетонных колодцах их предусматривают при бетонировке колец. Обычно площадь отверстий в стенке водоприемной части составляет 10-15% от общей поверхности. Отверстия располагаются в стенках колодца в шахматном порядке на расстоянии 20-30 см. Размер отверстий подбирается таким, чтобы через них не могли проникать крупные фракции гравийного фильтра, который устраивается за стенками колодца.

Гравийный фильтр состоит из 2-3 слоев гравийной засыпки (рис.30).

Крупность зерен внешнего слоя обсыпки, соприкасающегося с водоносной породой, берется в 7-8 раз крупнее преобладающих зерен водоносного горизонта. При этом выдерживается зависимость $Db > (7-8) \cdot di$, где Db - диаметр зерен внешнего слоя, примыкающего к водоносному горизонту; di - преобладающий или расчетный диаметр частиц водоносного горизонта.

Диаметр зерен каждого последующего слоя фильтра должен быть в 5 раз больше предыдущего.

Толщина слоя гравийной засыпки должна быть не меньше 5-кратного диаметра крупных зерен, но не менее 3 см. Обычно она составляет 5-10 см.

По расположению гравийной засыпки фильтры могут быть:

а) с наружной засыпкой за стенками колодца (рис.31).

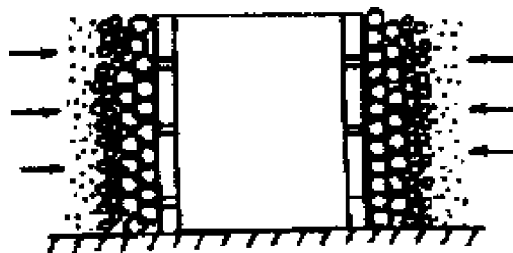


Рис. 30. Гравийный фильтр

Используются при неглубоком залегании подземных вод, когда обсыпку водоприемной части ведут под защитой временного крепления.

Опускной способ сооружения колодца в данном случае неприемлем. Строительство ведут следующим образом. Выкапывают котлован значительно большего сечения. В него устанавливают колодец. Из листового железа делают круглые скользящие опалубки - кольца высотой до 1 м. Когда засыпка распределена по кольцам, их приподнимают и продолжают засыпку. Затем устанавливается глиняный замок.

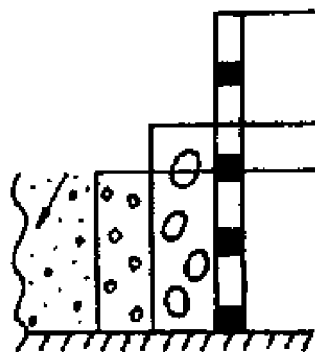


Рис. 31. Гравийный фильтр с наружной засыпкой

Возможно образование гравийного фильтра путем откачки песка-плывуна из застенного пространства. При этом вынесенный песок замещается насыпаемым сверху в застенное пространство гравием.

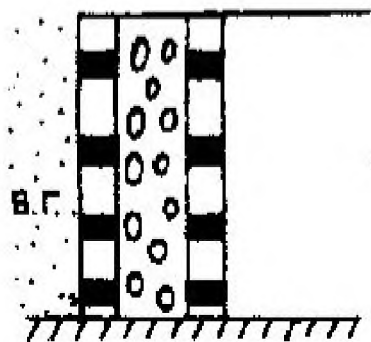


Рис. 32 Фильтр с засыпкой между стенками

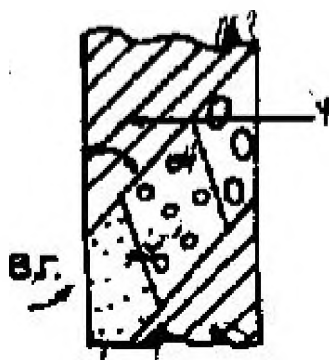


Рис.33. Наклонные водоприемные окна

б) Фильтры с засыпкой между двойными стенками строят в сильно оплывающих грунтах, а также для борьбы с пескованием в ранее построенных колодцах. Гравий засыпают под водой, без водоотлива (во избежание выноса плывуна) или способом замещения (рис.32).

в) Фильтры с засыпкой в водоприемных окнах. Они являются разновидностью гравитационных фильтров. На поверхности земли окна водоприемной части фильтра заполняются гравийным материалом. Подбор материала по крупности аналогичен вышеописанному, т.е. крупный - со стороны колодца, мелкий - со стороны водоносного горизонта.

По расположению и форме водоприемные отверстия фильтра могут быть: Наклонные. Применяются преимущественно в тонких стенках (рис.33). Предупреждают суффозию грунта. В фильтрах гравитационного типа размеры водоприемных отверстий не ограничиваются размерами частиц и принимаются конструктивно.

Вертикальные водоприемные окна. Имеют наибольшую пропускную способность, однако устройство их в стенках колодца сложнее. Простые гравитационные фильтры (т.е. без гравийной засыпки) хорошо работают в крупнозернистых и гравелистых грунтах с высоким коэффициентом фильтрации K_f .

V-образные водоприемные окна применяют в мелкозернистых песках (рис.34).

При этом изнутри колодца в окна засыпают гравий. Вынос засыпки из V-образных окон практически исключается, так как давление фильтрационного потока, развивающегося в песке вследствие поворота потока, передается на стенки, взвешивание гравия не происходит, поскольку скорость (V) не достигает критической. Обладают высокой пропускной способностью.

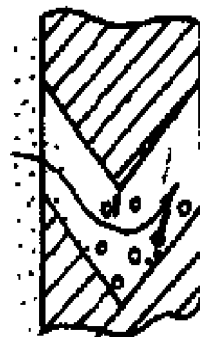


Рис. 34. V-образные водоприемные окна

Фильтры из пористого бетона изготавливают из смеси чистого однородного гравия и цемента в соотношении по массе 1:6.5 - 1:8; водоцементное отношение 0,3 - 0,4. При такой дозировке зерна гравия покрываются тонкой цементной пленкой, обеспечивая после затвердения прочное сцепление. Для придания кольцам прочности их торцы делают из плотного бетона. В агрессивных водах во избежание быстрого выщелачивания цемента кольца пропитывают асфальтобитумным лаком.

Устройство донного фильтра колодца. Применяется при низовом приеме воды. Дно колодца засыпается несколькими слоями песчано-гравийного фильтра. Толщина каждого слоя принимается от 5 до 20 см. Соотношение диаметра зерен двух соседних слоев фильтра должно быть не более двух - трех. Верхний слой должен иметь зерна размером от 50 до 100 мм.

1.4.2.2.2. Гидрогеологический расчет шахтных колодцев

Колодцы (как шахтные, так и трубчатые) делят на совершенные и несовершенные. Различают два типа несовершенства: по степени вскрытия водоносного пласта и по характеру вскрытия. Колодцы, совершенные по степени вскрытия, достигают водоупора и имеют хорошо проницаемые стенки по всей толще водоносного горизонта. Несовершенные колодцы врезаются в пласты не на полную мощность. При неполном вскрытии водоносного горизонта искривляются и удлиняются пути фильтрации струек воды, что вызывает дополнительное сопротивление движению воды и снижает приток (рис.35).

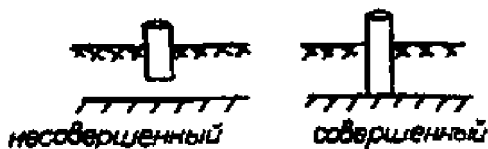


Рис. 35. Совершенный и несовершенный колодец

Несовершенство колодцев по характеру вскрытия водоносного горизонта обуславливается тем, что в фильтрах имеются глухие промежутки,

вызывающие дополнительное гидравлическое сопротивление.

Дебит совершенного колодца для грунтовых вод определяется по формуле

$$Q = 1,36K \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg r},$$

где r - радиус колодца.

При расчете дебита несовершенного колодца вводят поправку на несовершенство, определяемое по графикам. Кроме этого необходимо

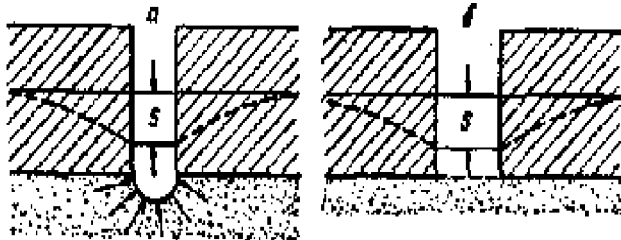


Рис. 36. Приток воды к шахтным колодцам:
а - с полушаровым дном;
б - с плоским дном

учитывать форму дна колодца, поскольку она определяет характер движения воды к колодцу (рис. 36).

Ориентировочный дебит

$$Q = 2\pi K S r \quad (\text{для полушарового дна});$$

$$Q = 4K S r \quad (\text{для плоского дна}).$$

При напорном водоносном горизонте дебит совершенного колодца равен

$$Q = \frac{2,73KSH}{\lg \frac{R}{r}}$$

Радиус влияния колодца (R) определяется по эмпирическим формулам

$$R = 576 \cdot S \sqrt{HK} \quad (\text{Кусакина}) \text{ или } R = 300 \cdot S \sqrt{HK} \quad (\text{Зихарда}).$$

Дебит несовершенного колодца при напорном горизонте

$$Q = 2\pi K S \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

Определение диаметра колодца по заданному дебиту. Для колодцев с боковым питанием

$$Q = F \cdot V = \pi \cdot Dh \cdot J \cdot 65\sqrt[3]{K}$$

где J - скважность, определяемая по графикам.

Тогда

$$D = \frac{Q}{\pi \cdot h J \cdot 65\sqrt[3]{K}}$$

Для колодцев с низовым питанием $Q = F \cdot V$, где $F = \frac{\pi D^2}{4}$ или $D^2 = \frac{4Q}{\pi \cdot 65\sqrt[3]{K}}$

1.4.2.3. Трубчатые колодцы

Трубчатыми колодцами в водоснабжении называют водозаборные буровые скважины (рис. 37).

Скважины, добывающие фонтанирующие подземные воды, называют также артезианским

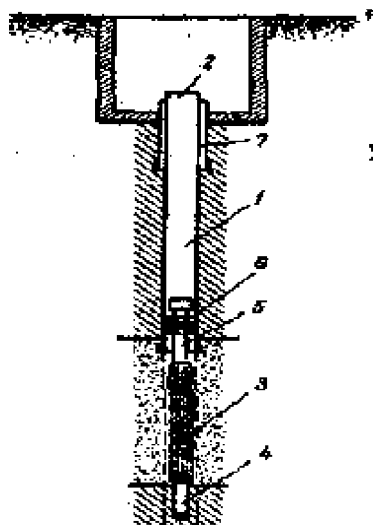


Рис.37. Схема трубчатого колодца:

- 1- эксплуатационная колонна;
- 2- устье колодца;
- 3- фильтр; 4 — отстойник;
- 5- надфильтровая труба;
- 6- сальник; 7 — кондуктор

Водозаборные скважины широко применяют в системе водоснабжения. Скважины сооружают буровым способом. Различают колонковое, роторное и ударно-канатное бурение [25].

При роторном способе бурения породы в забое скважины разрушаются вращающимися на бурильных трубах долотами.

Колонковый способ бурения является разновидностью роторного. Он предусматривает подъем керна пород колонковой трубой.

При ударно-канатном бурении породы в забое скважины разрушают посредством ударов подвешенного на канате тяжелого долота. Одновременно с бурением во избежание обрушений пород стенки скважин крепят стальными трубами.

Конструкция скважин на воду определяется гидрогеологическими условиями, необходимым дебитом, способом и целью бурения (разведочное, разведочно-эксплуатационное, эксплуатационное и др.).

При бурении скважин на воду для разобщения пластов и предохранения стенок от обрушения нужно крепить ствол обсадными трубами. Первая обсадная труба длиной 4-6 м, служит для предохранения устья скважин от размыва и обрушения. Называется - кондуктор.

При значительной глубине скважины и достаточно сложном геологическом разрезе, включающем неустойчивые породы, используют технические (промежуточные) колонны.

Последняя колонна (эксплуатационная) служит для подъема воды на поверхность.

В зависимости от гидрогеологических условий опускают фильтровые колонны ("впотай" или на эксплуатационной колонне).

Схемы конструкций скважин, рекомендуемые при бурении на воду ударно-канатным и роторным способами, приведены на рис. 38 и 39.

При ударно-канатном способе скважина крепится одной колонной труб (рис. 38а); такую конструкцию следует применять в случае залегания с поверхности устойчивых пород при отсутствии верховодки.

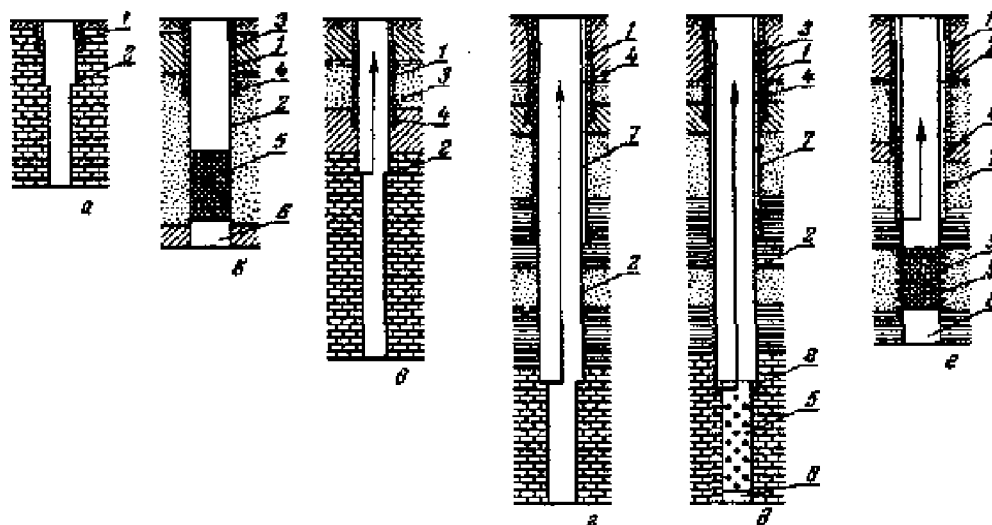


Рис. 38. Схемы конструкций скважин при ударно-канатном бурении:

1 - затрубное цементирование; 2 - эксплуатационная колонна; 3 - кондуктор; 4 - межтрубное цементирование; 5 - фильтр; 6 - отстойники; 7 - техническая колонна; 8 - сальник; 9 - гравийная обсыпка

При сооружении скважин в аллювиальных отложениях, содержащих грунтовые воды, скважину крепят двумя колоннами труб: кондуктором и эксплуатационной - фильтровой колонной, выведенной до поверхности земли (рис. 38б). Конструкцию скважины, показанную на рис. 38в, следует применять при необходимости перекрытия кондуктором первого от поверхности неэксплуатируемого водоносного горизонта.

Конструкция скважины, приведенная на рис. 38г, отличается от предыдущей (рис. 38в) наличием технической колонны, перекрывающей второй от поверхности (не предназначенный для эксплуатации) водоносный горизонт. При значительных глубинах скважин, учитывая сравнительно небольшие выходы колонн обсадных труб, можно применять несколько технических колонн.

Конструкцию скважины, показанную на рис. 38д, используют в случае установки фильтра в зоне водоносного горизонта, представленного неустойчивыми породами.

При необходимости устройства фильтра с гравийной обсыпкой следует применять конструкцию скважины, показанную на рис. 38е. При роторном способе скважину крепят двумя колоннами труб - кондуктором и эксплуатационной колонной (рис. 39а). Для установки в скважину водоподъемного устройства, по своим габаритам превышающего внутренний диаметр эксплуатационной колонны, следует применять конструкцию скважины, показанную на рис. 39б,

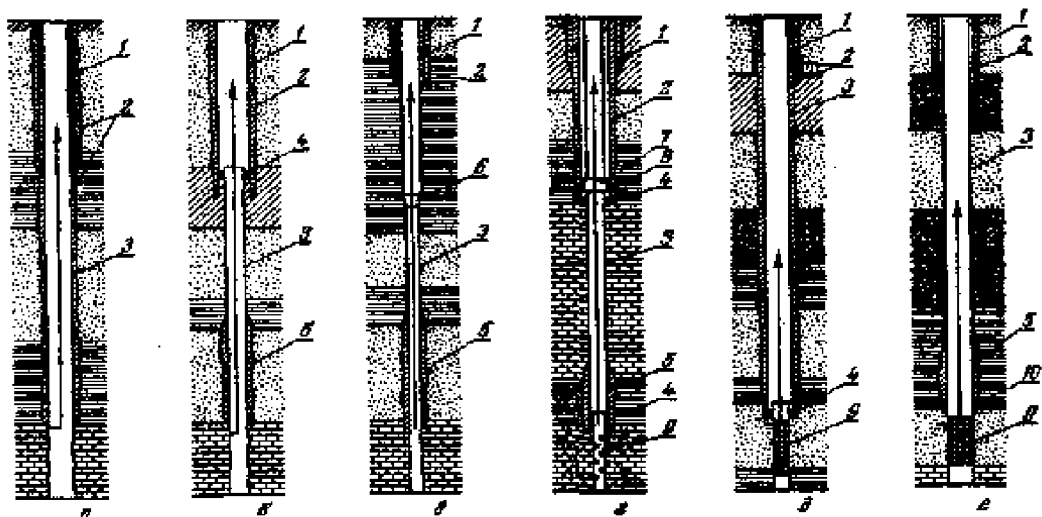


Рис. 39. Схемы конструкций скважин при роторном бурении:

1 - кондуктор; 2 - затрубное цементирование; 3 - эксплуатационная колонна; 4 - сальник; 5 - подбашмачное цементирование; 6 - переходник; 7 - муфта с левой резьбой; 8 - техническая колонна; 9 - фильтровая колонна (фильтр); 10-манжета для цементирования

отличающуюся от предыдущей конструкции тем, что эксплуатационная колонна устанавливается "впотай" на сальнике с подбашмачной цементацией.

Для надежной изоляции верхней части скважины и уменьшения диаметра эксплуатационной колонны в целях экономии обсадных труб и сокращения времени на проходку скважины следует применять конструкцию, показанную на рис. 39в. Конструкция с двумя колоннами и фильтром, установленным "впотай" в зоне водоносного горизонта, приведена на рис. 39г. Эксплуатационная колонна выше башмака технической колонны имеет муфту с левой резьбой и сальник, что позволяет отвертывать верхнюю часть колонны при необходимости установки насоса большего диаметра. Схема скважины с одноколонной конструкцией и фильтром на сальнике, установленным "впотай", показана на рис. 39д. Учитывая простоту исполнения и экономичность, эту конструкцию следует применять по возможности чаще там, где это допускают геологические и гидрогеологические условия.

Конструкция скважины, показанная на рис. 39е, отличается от предыдущей фильтром, установленным непосредственно на эксплуатационной колонне и специальном манжете для цементации над зоной водоносного горизонта. Эту конструкцию следует применять реже из-за сложности манжетной цементации, а также невозможности замены фильтра в случае его выхода из строя.

Следует отметить, что при роторном бурении кондуктор можно опускать на глубину 100-200 м, а при ударном бурении - 50 м.

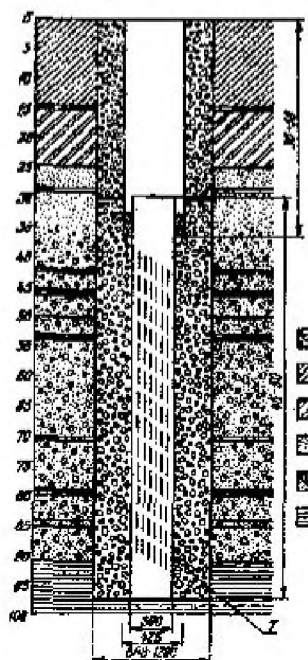


Рис.40. Примерная конструкция скважины большого диаметра с искусственным гравийным фильтром: 1-чистый гравий; 2-суглинок легкий; 3-суглинок тяжелый; 4 - песок тонкозернистый глинистый с редким включением гравия; 5 - галечник мелкий с песком и гравием; 6 - глина; 7- отстойник

Примерная конструкция скважины $D=800-1000$ мм с искусственным гравийным фильтром приведена на рис. 40.

1.4.2.3.1. Фильтры трубчатых колодцев

В водозаборных скважинах (трубчатых колодцах) в большинстве случаев применяют фильтры с частицезадерживающими отверстиями. Они бывают дырчатые, щелевые, сетчатые, гравийные. Реже - гравитационные, проволоочные, корзинчатые и др.

Фильтр - основной элемент скважины, поэтому от его качества зависят дебит и долговечность скважины. Конструкцию фильтра выбирают с учетом гранулометрического состава пород водоносного горизонта (табл.3). Устойчивые водоносные породы не требуют крепления (гранит, известняк, мел, песчаник и др.). В рыхлых (пески, гравий, галька) и других неустойчивых породах требуются фильтры.

Конструкцию и размеры фильтра принимают с учетом следующих требований:

1) фильтр должен иметь достаточную механическую прочность, наибольшую скважность и предельно допустимые размеры проходных отверстий, при которых не происходит пескования скважины и вместе с тем снижается интенсивность зарастания фильтров, что удлиняет срок их эксплуатации;

2) фильтр должен обладать устойчивостью против химической коррозии и водной эрозии.

В устойчивых трещиноватых водоносных породах фильтры не ставят. При водоносном горизонте, сложенном рыхлообломочными скальными породами, ставятся дырчатые трубы, защищающие скважины только от обрушения пород.

Область применения различных типов и конструкций фильтров

Водоносные породы	Применяемые типы и конструкции фильтров
1. Полускальные неустойчивые, щебенистые и галечниковые с преобладающей крупностью частиц щебня и гальки 20-100 мм (более 50% по массе)	Трубчатые - с круглой и щелевой перфорацией
2. Гравий, гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм и преобладающей крупностью частиц 2-5 мм (более 50% по массе)	Трубчатые - с круглой и щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки или из штампованного стального листа. Стержневые - с обмоткой проволокой из нержавеющей стали или с водоприемной поверхностью из штампованного листа
3. Пески крупные с преобладающим размером частиц 1-2 мм (более 50% по массе)	Трубчатые - с щелевой перфорацией, с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки, штампованного стального листа или из сетки квадратного плетения. Стержневые - с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки, штампованного стального листа или сетки квадратного плетения
4. Пески средние, с преобладающей крупностью 0.25-0.5 мм (более 50% по массе)	Трубчатые и стержневые - с водоприемной поверхностью из сеток гладкого (галунного) плетения. Трубчатые и стержневые - с однослойной гравийной обсыпкой (гравийные фильтры)
5. Пески мелкие с преобладающей крупностью частиц, 0.1-0.25 мм (более 50% по массе)	Трубчатые и стержневые - с одно-, двух- или трехслойной песчаной или песчано-гравийной обсыпкой (гравийные фильтры)

Фильтры стержневые обладают лучшими гидравлическими свойствами и обеспечивают более эффективную работу скважины при длительной их эксплуатации, особенно в водах неустойчивого химического состава. Фильтр такого типа рекомендуется применять при глубине до 200 м. На конструкцию фильтра, кроме состава вмещающих пород, большое влияние оказывают высокое содержание в воде закисного железа, карбонатов кальция и агрессивность воды, вызывающие быструю коррозию стальных частей и кольматацию фильтрующей поверхности.

Для борьбы с агрессивным воздействием воды фильтры изготавливают из антикоррозийных материалов (пластмассы, дерева) или покрывают стенки фильтров антикоррозийными покрытиями.

Для предотвращения кольматации эксплуатацию скважин следует вести при ламинарном движении воды в фильтре.

Для продления срока службы скважины применяют многослойные обсыпки, обеспечивающие большие размеры пор на стенках фильтра и, следова-

тельно, медленное их зарастание.

Основные конструктивные схемы фильтров изображены на рис 41. Диаметр фильтра-каркаса устанавливают, исходя из проектного дебита скважины, параметров водоподъемного оборудования и с учетом возможности устройства гравийной обсыпки. По условиям ремонта скважин, лучшего использования

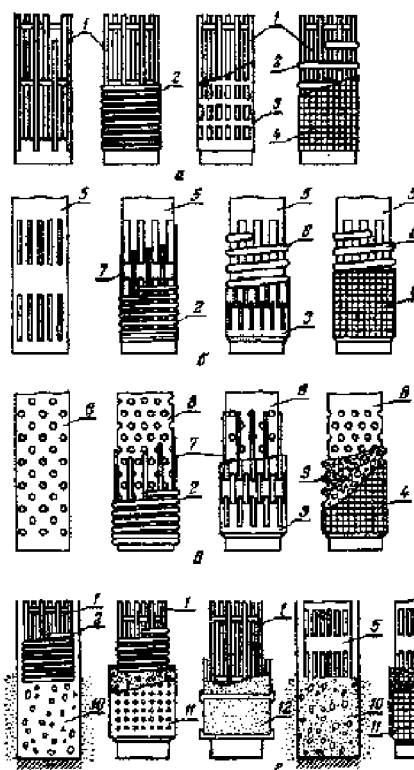


Рис. 41. Основные схемы конструкций фильтров водозаборных скважин:

а-на основе стержневых каркасов; б- на основе трубчатых каркасов со щелевой перфорацией; в —на основе трубчатых каркасов с круглой перфорацией; г - гравийные фильтры; 1 — стержневой каркас на опорных кольцах; 2 - проволоочная обмотка из нержавеющей стали; 3 -лист, штампованный из нержавеющей стали; 4 - сетка из нержавеющей стали или латуни; 5 - щелевой трубчатый каркас; 6- опорная проволоочная спираль; 7 - опорные проволоочные стержни под проволоочную обмотку и лист; 8 - трубчатый каркас с круглой перфорацией; 9 - сетка подкладная синтетическая; 10 -рыхлая обсыпка; И - гравийная обсыпка в кожухе; 12 - гравийный блок

возможностей водоносного пласта, а также с целью уменьшения гидравлических сопротивлений минимальный диаметр каркаса фильтра следует принимать не менее 100-150 мм. Скорость движения воды в водоподъемных трубах не должна превышать 1,5-2 м/с.

Длину фильтра в однородных водоносных пластах мощностью $m < 10-15$ м принимают (0,8-0,9 т) (фильтр устанавливают на расстоянии не менее 0,5-1 м от кровли и подошвы пласта).

При мощности $m > 10-15$ м длину фильтра определяют в зависимости от производительности скважин, изменения водопроницаемости пород и гидрохимических условий.

Теоретически в однородных пластах гидравлические потери в фильтре растут до определенных пределов и при некоторых соотношениях размеров фильтра (его диаметра, длины, скважности) гидравлические потери и приток к скважине должны оставаться постоянными. Тем не менее в реальных условиях, учитывая неоднородность водоносных пластов и возможность химического зарастания фильтров, следует увеличивать длину и размеры отверстий фильтров.

При этом в первую очередь фильтры нужно устанавливать в наиболее водопроницаемых зонах пласта.

При наличии нескольких водоносных горизонтов фильтры устанавливают в каждом водоносном горизонте с соединением их глухими трубами (перекрывающими отдельные водоупорные или слабопроницаемые слои).

В безнапорных водоносных пластах длину фильтра определяют с учетом понижения динамического уровня в скважине: в этом случае мощность

$$m \approx h_b - \frac{S_0}{2},$$

где h_b - первоначальная мощность безнапорного пласта; S_0 - проектное понижение уровня в скважине.

Размер проходных отверстий фильтра назначают с учетом гранулометрического состава пород, слагающих водоносный горизонт, и соответствующего размера частиц гравийной обсыпки.

1.4.2.3.1.1. Фильтры для гравелистых, крупно- и среднезернистых песков (тонкостенные)

Дырчатый фильтр представляет собой перфорированную стальную, асбоцементную или из других материалов трубу, применяется при гравелистых или крупнозернистых песках. Может быть или с проволочной обмоткой или без нее, может служить каркасом для других фильтров (рис. 41 в).

Отверстия в рабочей части расположены по длине в шахматном порядке. Общая площадь отверстий должна составлять не менее 15 %. Оптимальная скважность принимается в пределах 20-28 %. Размер отверстий принимается в зависимости от размера зерен водоносного горизонта по формуле $t=3d_i$, где t - размер отверстий; d_i - диаметр зерен.

Диаметр фильтра определяется из формулы $Q=F \cdot V$ или $Q = \pi D \cdot l \cdot J \cdot 65\sqrt[3]{K}$, откуда $D = \frac{Q}{\pi l \cdot S \cdot 65\sqrt[3]{K}}$ (при известной длине l) или же задаемся D , тогда

$$l = \frac{Q}{\pi D S \cdot 65\sqrt[3]{K}}$$

Щелевой фильтр так же прост по устройству, как и дырчатый (рис. 41б). Ширина щелей устанавливается в соответствии с механическим составом водоносной породы.

Рекомендуемые размеры щелей для водоносных горизонтов, сложенных песками: в однородных песках $(1,25 \div 1,5)d_{50}$, в разнородных - $(1,5 \div 2,0) d_{50}$. Расстояние между осями щелей в 10 раз больше ширины щелей. Длина щели 30-100 мм. Расстояние между рядами щелей 10-20 мм. При таких щелях скважность каркаса составит 7-10 %.

Щелевые фильтры обладают преимуществами по сравнению с дырчатыми. Если в дырчатом фильтре зёрна гравия или песка, накладываясь на отверстия, могут полностью его закупорить, то в щелевом фильтре это исключается.

Фильтры щелевые штампованные дешевле фильтров из перфорированных труб. Они изготавливаются из стального листа путем штамповки, затем сгибаются в трубу и свариваются.

Щелевые фильтры могут быть деревянными, пластмассовыми и асбоцементными. Изготавливают с использованием дисковых фрез. Щелевые фильтры применяют в мелкозернистых песках. Однако, в таких случаях их обсыпают крупнозернистым песком или гравием, т.е. по сути переходят к гравийным фильтрам.

Расчет щелевого фильтра ведется так же, как и дырчатого, но коэффициент скважности соответственно берется выше.

Сетчатые фильтры устраивают для более мелкозернистых пород и в водоносных горизонтах со слабоминерализованными водами, поскольку сетка подвержена коррозии. Сетка наматывается на несущий каркас -стальную перфорированную трубу. С целью увеличения пропускной способности фильтра стремятся, чтобы сетка не прилегала к стенкам трубы. С этой целью на ней укрепляют продольные опорные стержни и обматывают проволокой (рис. 41а). Скважность каркаса - не менее 20 %.

Отверстия в трубе делают диаметром 15-20 мм, располагая их в шахматном порядке.

Фильтровые сетки плетут из нержавеющей металлической проволоки, из луженой меди, латуни, фосфористой бронзы, нержавеющей стали. Делают сетки также из пластмассы (плетенные и штампованные) и из стеклянного волокна (для наблюдательных скважин), стойкие против химической, электрохимической коррозии.

Обычно сетка имеет свой номер, он показывает число проволочек на 1 дюйм сетки. Номер сетки подбирается посредством просеивания через него песка. Принимается сетка, пропускающая через отверстия 40-80 % массы пробы.

От вида переплетения различают сетки галунного и квадратического плетения.

Срок службы латунной сетки значительно короче, чем у обсадных труб, поэтому во время эксплуатации скважины фильтр меняют 1 -2 раза. Это трудоемко и не всегда выполнимо, особенно при глубоких скважинах и длинных фильтрах.

Сетчатые фильтры непригодны в слюдистых водоносных песках, которые налипают на поверхность фильтра, делают его водонепроницаемым.

Диаметр сетчатого фильтра определяется по формуле

$$Q = F \cdot V, \text{ откуда } Q = \pi l \cdot P \cdot 65 \sqrt[3]{K},$$

где P - пористость, $D = \frac{Q}{\pi l \cdot P \cdot 65 \sqrt[3]{K}}$ тогда

Проволочный фильтр представляет собой перфорированную трубу с вертикальными прутьями диаметром 3-5 мм и расстоянием между ними 50 мм. Сверху делается обмотка проволокой с величиной зазора в зависимости

от механического состава водоносного горизонта. Может быть широко использован и в качестве каркаса для фильтров гравийного типа (рис. 41).

Каркасно-стержневой фильтр представляет собой жесткую систему из вертикальных прутьев и опорных колец. Рабочая поверхность может быть из стальной проволоки или сеток. Иногда рабочая поверхность может быть образована одними металлическими вертикальными стержнями (рис. 41).

1.4.2.3.1.2. Фильтры для мелкозернистых глинистых песков (толстостенные)

Блочные фильтры из пористой керамики (или бетона). Блоки изготавливают высотой 70-150 мм, внутренним диаметром 80-500 мм, толщина стенок 10-100 мм. В качестве вяжущего материала используют пуццолановый цемент марки 300-400. Состав бетона (цемент, гравий) - 1:6.1; 1:7. Водоцементное отношение 0,3-0,32.

Блоки на клее БФ-4 изготавливают из хорошо окатанного гравия с крупностью зерен 1,5-4 мм. В просушенный и прогретый гравий добавляют клей. Смесь закладывают в форму, уплотняют и высушивают при температуре 120-160°. Блоки надеваются на дырчатый каркас, соединяются между собой на муфтах и опускаются в скважину.

Пористо-керамические фильтры изготавливают из дробленого отсеянного шамота на связке из жидкого стекла и кремнефтористого натрия. Пористо-керамические блоки имеют поры 0,2-0,45 мм.

Гравийные фильтры. В них фильтрующим покрытием служит крупнозернистый песок или гравий, помещенный между водоносным грунтом и опорным каркасом (рис. 41г). Перчено-гравийную засыпку можно выполнять в один или (реже) несколько слоев (обычно не более двух). Крупность песчаной-гравийной засыпки рекомендуется в пределах $D = (8 \div 12) d$, где D и d - размеры зерен соответственно гравия и водоносной породы.

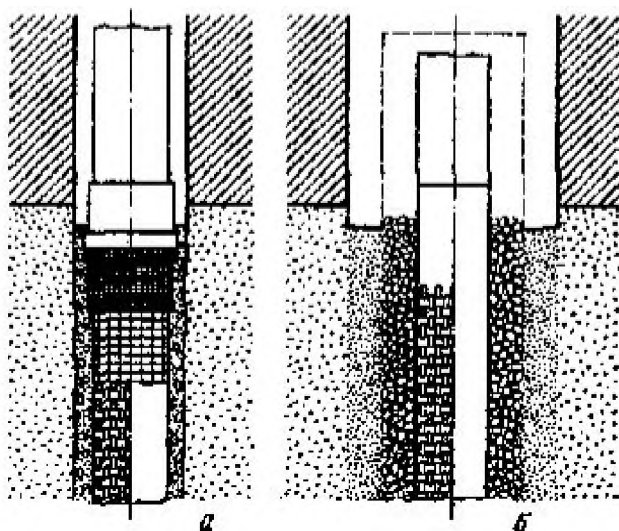


Рис.42. Гравийные фильтры с обсыпкой:

*а - однослойный;
б - двухслойный*

По конструкции и способу устройства гравийные фильтры бывают: Обсыпные. В таких фильтрах каркас обсыпают перчено-гравийным материалом в скважине (рис. 42).

В качестве каркаса используют перфорированные стальные, пластмассовые и другие трубы с круглыми отверстиями и щелями, с проволоочной обмоткой, проволоочно-стержневые каркасы и прочие. При выборе каркаса учитывают крупность обсыпки. Размер отверстий в каркасе принимают равным среднему диаметру зерен прилегающего к каркасу слоя засыпки. Фильтры с двухслойной засыпкой устанавливают в неглубоких скважинах, пробуренных ударным способом. Предварительно на забой скважины, закрепленной трубами, насыпают гравий на высоту 0,5 м. Каркас фильтра на штангах опускают в скважину и устанавливают на забое с помощью центрирующих скоб. Засыпают гравий слоями 1-1,5 м. После засыпки очередного слоя обе трубы приподнимают и засыпают гравием до верха надфильтровой трубы (рис. 42б).

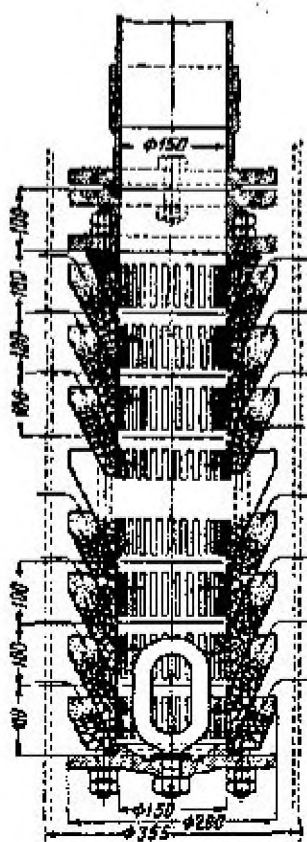


Рис., 43. Корзинчатый фильтр

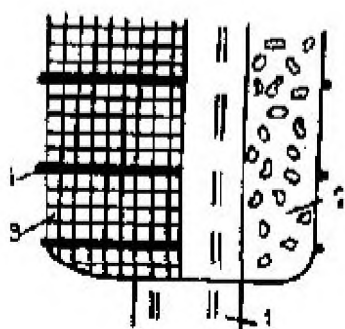


Рис. 44. Кожуховый фильтр: 1-каркас; 2-гравийная засыпка; 3-сетка; 4-проволока

Корзинчатые гравийные фильтры (рис. 43). Каркас имеет карманы, чаще всего в виде воронок, в которых размещают песчано - гравийную засыпку. Гравий засыпают в один - два слоя так, чтобы около отверстий каркаса находились более крупные зерна. Собирают и засыпают фильтр на поверхности земли, затем в готовом виде опускают в скважину. Свободное пространство между фильтром и обсадной трубой засыпают песком при одновременном постепенном подъеме обсадной колонны.

Кожуховые фильтры. В них гравийную засыпку размещают между каркасами и наружной крупной квадратной сеткой (рис. 41г; 44). Для того чтобы сетка не раздавалась в стороны, ее обматывают проволокой. Кожуховые фильтры можно устанавливать на больших глубинах, в том числе в скважинах, пробуренных роторным способом. Преимуществом гравийных фильтров является сравнительно маленькая величина входного сопротивления, устойчивость фильтрующего покрытия против коррозии и продолжительный срок службы.

Гравитационные фильтры (колокольные). Состоят из дырчатой трубы, на которую насажены воронки, обращенные широким основанием вниз. Кольцевые промежутки между воронками образуют водоприемные отверстия, наклонные. После установки фильтра водоносный грунт заходит в отверстия на

небольшую высоту, но дальше не выносится, так как давление фильтровального потока (при допустимой скорости) недостаточно для

преодоления силы веса грунта (рис. 45). Преимущества гравитационных колокольных фильтров: 1) сравнительно малое входное сопротивление; 2) устойчивость против химической закупорки и коррозии; 3) Долговечность. Недостаток: относительно большие поперечные размеры, требующие больших диаметров скважин.

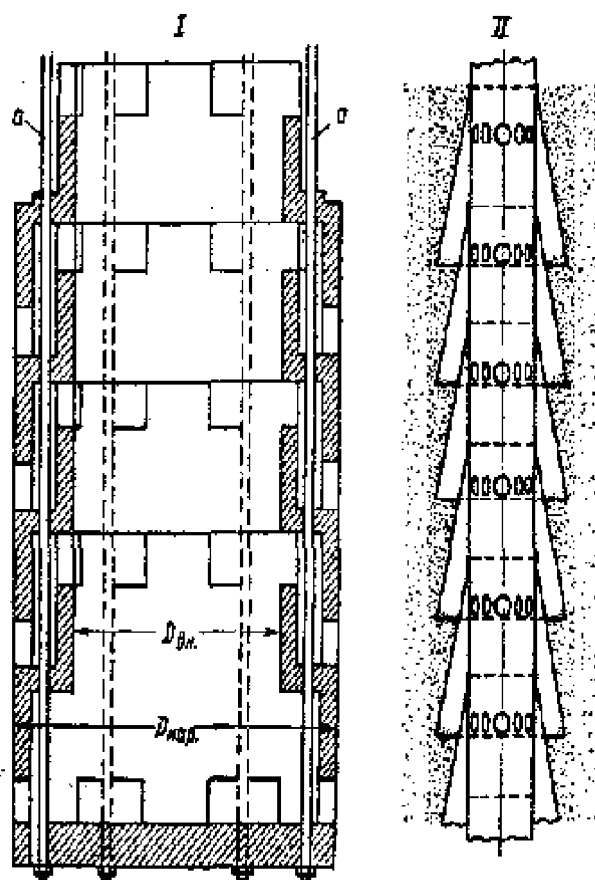


Рис.45. Гравитационные фильтры:

I - фильтр конструкции Плотникова;
а - болты, скрепляющие отдельные воронки; II - фильтр конструкции Перевозникова

1.4.2.3.1.3. Коррозия металлических частей фильтров и труб

Металлические трубы и фильтры при взаимодействии с окружающей средой подвергаются коррозии и разрушаются.

Различают два вида коррозии: Химическая коррозия. При химической коррозии происходит прямое соединение металла с агрессивным составом среды и в результате химической реакции металл разрушается. Однако химическая коррозия проявляет себя медленно.

Электрохимическая коррозия. Возникает в результате действия электрического тока и образования множества малых гальванических элементов. Металлы обычно играют роль анодов. Катодами же являются некоторые элементы среды, различные примеси, другие металлы.

Под действием тока анод (металлическая труба) разрушается, а металл переходит в раствор подземных вод. Установлено, что ток силой в 1 А способен унести за год 11,4 кг железа. На

скорость протекания процесса электрохимической коррозии влияют следующие факторы:

1. Сила тока, циркулирующего в растворах.
2. Состав и свойства среды. Песчаные почвы менее коррозионны, а болотистые, солончаковые, т.е. имеющие кислую среду с $pH < 7$, способствуют коррозии.
3. Скорость перемещения подземных вод: при большой скорости возрастает интенсивность электрохимической коррозии.
4. Проводимость среды также имеет большое значение. Хорошо электропроводимые почвы обычно более активны на электрохимическую коррозию.
5. Температура среды. С ее возрастанием увеличивается и коррозия.

Пути борьбы с коррозией

1. По возможности заменяют металлические части фильтров материалами, не подверженными коррозии.

2. Добавление к основному металлу специальных добавок, которые повышают коррозионную стойкость металла (Cr, Ni, Mo).

3. Исключение неблагоприятных контактов между двумя металлами.

4. Покрытие поверхности металла лакокрасочными составами.

1.4.2.3.1.4. Бесфильтровые скважины

В зависимости от свойств пород различают бесфильтровые скважины в рыхлых породах и в скальных трещиноватых устойчивых породах. Если устройство последних не вызывает каких-либо затруднений, то сооружение бесфильтровых скважин в рыхлых неустойчивых породах весьма сложная пробле-

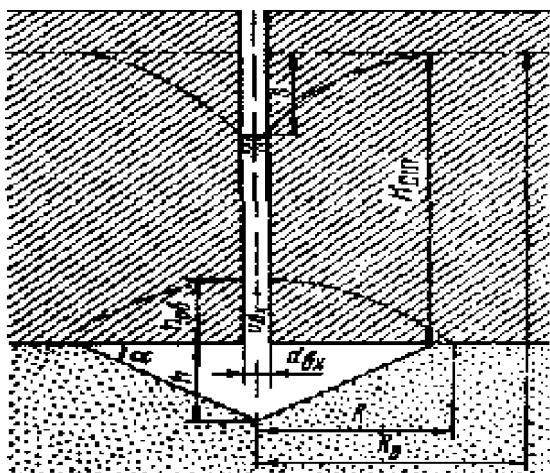


Рис.46.Схема для расчета бесфильтровых скважин:

S - максимальное понижение уровня воды, м; $H_{ст}$ - статический напор, м; R - радиус основания каверны, м; R_e - радиус влияния скважины, м; $h_{об}$ - высота свода обрушения, м; h - глубина каверны, м; α - угол наклона откоса каверны к горизонту; $d_{вх}$ - диаметр входного отверстия скважины, м; $V_{вх}$ - скорость воды на входе в скважину

ма, так как их рабочей частью служит искусственно создаваемая полость.

Бесфильтровые скважины сооружают путем бурения ствола до продуктивного горизонта и последующего формирования водоприемной воронки, объем которой обеспечивает требуемый приток воды без пескования. Необходимое условие сооружения бесфильтровых скважин - наличие устойчивой кровли над водоносным горизонтом, а в случае кровли, сложенной глинами, наличие поддерживающего её напора подземных вод (рис. 46).

Бесфильтровые скважины имеют определенные преимущества:

1. Долговечность и надежность работы.
2. Высокие и устойчивые дебиты, превышающие дебит фильтровых скважин, пройденных в аналогичных условиях.
3. Возможность отбора воды из пылеватых, глинистых и тонкозернистых песков с низкими значениями коэффициента фильтрации.
4. Уменьшение глубины скважины.
5. Малый расход обсадных труб.
6. Небольшие строительные и эксплуатационные затраты.

Так как бесфильтровые скважины по способу вскрытия пласта являются совершенными, то устраняются дополнительные гидравлические сопротивления, присущие скважинам, оборудованным фильтром.

К основным вопросам теории сооружения бесфильтровых скважин относятся устойчивость кровли и откосов воронки, а также расчет водопритока. Устойчивость кровли в основном определяется инженерно-геологическими свойствами слагающих её пород. Наиболее устойчива кровля, сложенная скальными породами (известняками, плотными песчаниками и т.п.); менее устойчива кровля, представленная полускальными породами (мергелями, мелом). Слабо уплотненные глины и суглинки не обеспечивают должной устойчивости кровли. Переслаивание глин с песчаниками повышает устойчивость кровли, и бесфильтровые скважины работают в этих условиях удовлетворительно.

Мощность водоупорного пласта, залегающего над водоносным, также является одним из факторов, определяющих устойчивость кровли над воронкой. Чем больше мощность водоупорной кровли, тем более благоприятны условия для разработки водоприемной полости.

При малой мощности водоупора деформации распространяются не только на водоупорный пласт, но и на вышележащий, который может оказаться водоносным и вызвать разрушение кровли пласта и её оседание в воронку.

Устойчивость стенок тесно связана с критической скоростью входа воды в водоприемную воронку, превышение которой влечет за собой движение песчинок. В процессе создания воронки стенки постоянно оплывают, и песок, увлекаемый потоком, приходит в движение. По мере увеличения фильтрационной площади воронки входные скорости снижаются, а стенки приобретают устойчивость. Производительность скважины при откачке должна быть заведомо большей, чем при эксплуатации, что создает запас устойчивости стенок.

Параметры образующейся водоприемной воронки могут быть определены как опытным (по количеству вынесенного песка), так и расчетным путем.

Существует несколько методик определения основных параметров. Схема для расчета бесфильтровых скважин приведена на рис. 46. Расчет бесфильтровой скважины в песках включает определение размеров водоприемной воронки, показателей устойчивости пород кровли над ней и дебита скважины. При водоносном горизонте неограниченной мощности выходная скорость фильтрации, при которой прекращается вынос песка, определяется по формуле Н.А. Карамбирова

$$V = a\eta_2 K(1 - n_0)(\gamma - 1),$$

где V - скорость фильтрации, м/сут; K - коэффициент фильтрации; n_0 - пористость; γ - удельная масса породы, Т/м³; a - коэффициент запаса, 0,7 - 0,8; η_2 - коэффициент, учитывающий угол откоса.

$$\eta_2 = \frac{1 - \varphi_0}{107^\circ + 0.08 \sin(45\varphi_0)}$$

где φ_0 угол откоса при предельной скорости фильтрации V , изменяющийся в пределах 0-40 (для расчетов следует принимать $\varphi = 40$; $\eta_2 = 0,63$).

Площадь водоприемной поверхности, сформировавшаяся при дебите, обеспечивающем отсутствие пескования, $F = \frac{Q}{V}$

Радиус конусообразной воронки

$$R = \frac{h}{\cos \alpha},$$

где h - глубина воронки; α - угол откоса (определяется по образцам песка, отобранного из водоносного горизонта).

$$h = R \cdot \operatorname{tg} \varphi_0$$

Объем водоприемной воронки

$$W_B = \frac{1}{3} \pi R^2 h.$$

Объем песка, выносимого из скважины при формировании воронки

$$W_n = \mu_p W_B,$$

где μ_p - коэффициент, учитывающий степень разрыхления песка, 1.05- 1.15.

Оценка устойчивости пород кровли производится на основе инженерно-геологических испытаний пород.

Для устойчивости водоприемной воронки и длительности эксплуатации бесфильтровой скважины воронку засыпают гравием с размером зерен 2-3 мм. Объем засыпки равен W_n или фактическому объему вынесенного песка, полученного при подготовке полости в водоносном горизонте. Дебит определяется по формуле Форхгеймера (для водоносного горизонта большой мощности)

$$Q = 2\pi K r S$$

где S - понижение уровня водоносного горизонта. При небольшой мощности водоносного горизонта

$$Q = \frac{\pi K m S}{\sin \alpha \ln [2R(r_1 + r_2)]},$$

где r_1 и r_2 - радиусы соответственно верхнего и нижнего основания конуса.

Имеются иные схемы выполнения бесфильтровых скважин (рис.47). Водоносный горизонт проходится полностью на всю мощность. Затем производится засыпка гравия и труба приподнимается. Гравийная засыпка служит фильтром. Эта технология сооружения бесфильтровых скважин разработана в свое время в Гидрогеологическом управлении Министерства геологии КазССР.

Бесфильтровые скважины сооружают техническими средствами, применяемыми при обычных способах ударного и вращательного бурения. В настоящее время чаще используют установки роторного типа.

Конструкции скважин определяются геологическими условиями, их глубиной, способом бурения и габаритами водоподъемного оборудования. Вращательное бурение с промывкой позволяет значительно снизить конечный диа -

метр бесфильтровых скважин (до 146,05 мм). Особое внимание при сооружении бесфильтровых скважин следует уделять качеству цементации обсадных колонн. В зависимости от физико-механических свойств и мощности кровли могут быть рекомендованы три типовые схемы установки башмака обсадной колонны (рис. 48).

Если кровля представлена крепкими устойчивыми породами (известняк, опоки, песчаники и т.д.), башмак обсадной колонны устанавливают на 1-2 м ниже верхней отметки кровли, а обсадную колонну цементируют до устья.

При наличии кровли, подверженной размоканию и обрушению, предлагают после формирования водоприемной воронки создавать в нижней части кровли цементную подушку, что обеспечивает в последующем достаточную устойчивость кровли. После затвердения цемента в объеме полости воронки цементную подушку разбуривают, а ниже вновь формируют водоприемную воронку. Если водоносный горизонт представлен чередованием песчаников с пропластками песков, вскрытие его на всю глубину позволяет получать рабочую часть скважины с развитой фильтрационной поверхностью, что обеспечивает после откачки устойчивый приток воды.

Затем проводят промывку вскрытого ствола скважины глинистым раствором с целью удаления песка, так как повышенное его содержание вызывает различные осложнения (прихваты, пробки).

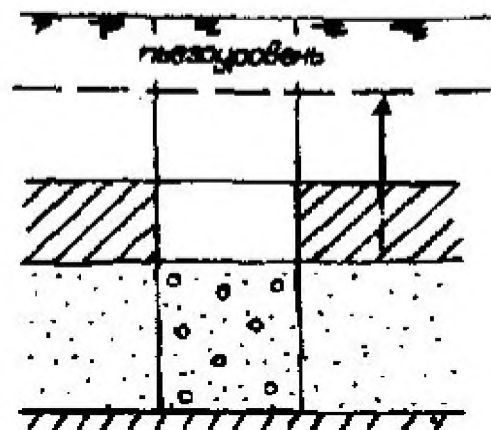


Рис. 47. Схема бесфильтровой скважины Мингео КазССР

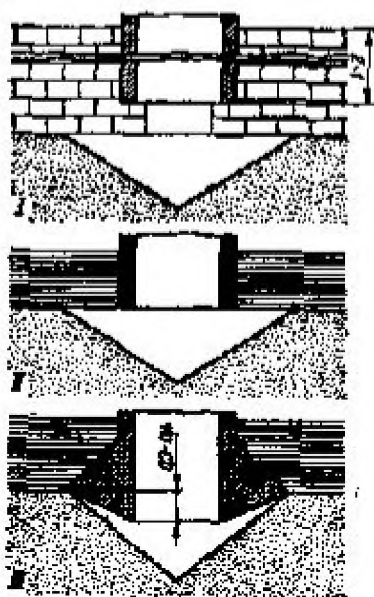


Рис. 48. Типовые схемы установки башмака обсадной колонны (размеры в м)

Дальнейшую промывку ведут при поднятом буровом снаряде с постоянной заменой глинистого раствора на воду. Снаряд при промывке устанавливают

выше кровли водоносного горизонта, что необходимо во избежание его прихвата.

Иногда водоносный горизонт вскрывают на полную мощность, что позволяет нарушить структуру песков, разрыхлить их и создать благоприятные условия для последующего формирования воронки. Промывка обычно длится 8-10 часов.

При вскрытии водоносного пласта глинистый раствор не оказывает отрицательного воздействия на его проницаемость, так как при последующей откачке он выносится. Промывочной жидкостью удаляется песок из ствола скважины и создаются условия, облегчающие формирование воронки. При последующей промывке с заменой глинистого раствора на воду также выносится песок и происходит начальная стадия формирования воронки. Затем в скважину опускают колонны воздушных и водоподъемных труб, которые служат трубами эрлифта для откачки. Глубина их спуска определяется конкретными условиями в зависимости от статического и ожидаемого динамического уровня. Иногда водоподъемной колонной служат обсадные трубы, а воздушной - бурильные. На устье скважины монтируется оголовок с водоотводящей трубкой.

В процессе откачки очень часто в скважине образуется песчаная пробка различной мощности, поэтому для создания устойчивой водоприемной воронки предварительную откачку начинают с малых расходов воды с постепенным доведением её производительности до значения, превышающего проектный дебит на 20-30%.

Следует иметь в виду, что во избежание заплывания воронки и создания песчаных пробок (особенно в мелкозернистых песках) нельзя допускать перерывов в откачке, необходима также безостановочная работа эрлифта, особенно в первоначальный период. В конце откачки путем накопления воздуха в ресивере и моментального выпуска его в скважину осуществляются пневматические удары. Это ускоряет работу по созданию воронок, так как импульсный режим способствует разрыхлению её песчаных откосов.

Как правило, после пневмоудара содержание песка в откачиваемой воде резко увеличивается. К концу откачки при созданной воронке в откачиваемой воде не наблюдается увеличения содержания песка. Откачивать пульпу для формирования воронки можно в начальный период при одновременной работе насоса и эрлифта. Промывочная струя размывает песок, а эрлифт подхватывает пульпу и выносит ее на поверхность. Подача воды насосом облегчает работу эрлифта, особенно в начале откачки, когда приток воды в скважине незначителен.

Примером использования бесфильтровых скважин может служить опытный полигон КазНИИ водного хозяйства, расположенный в Чимкентской области, где они применяются для оазисного орошения песчаного массива и зарекомендовали себя вполне удовлетворительно.

Бесфильтровые скважины в трещиноватых породах

Основные вопросы при сооружении сводятся к способам увеличения расхода скважин. К ним относятся:

1. Промывка скважины путем интенсивной откачки.
2. Промывка скважины раствором кислоты, которая проникает в трещины, реагирует с цементом трещины. В результате этого цемент растворяется и выносится в процессе откачки.

При карбонатном цементе применяют 10-15-% - ный раствор хлорной кислоты (HCl), при силикатном цементе - плавиковую кислоту (3-6 %). Расход кислоты на 1 п.м. ствола скважины составляет 0.4-1.5 м³.

3. Торпедирование. В скважину опускают заряд взрывчатого вещества. При взрыве происходит увеличение существующих и образование новых трещин. В качестве взрывчатого вещества используют аммонал.

4. Пульсирующее давление. Устье скважины герметически закрывается и в ней создается давление до 70 атм., затем оно резко снижается. Такое воздействие повторяется несколько раз. При этом происходит расширение трещин.

5. Гидравлический разрыв пласта, Устье скважины герметически закрывается, в нее подается вода под большим давлением, что способствует расширению трещин. Затем в скважину подается песок, он проникает в трещины, которые после сброса давления не сужаются. Этот метод широко применяется в нефтяном деле.

1.4.2.3.2. Гидрогеологический расчет трубчатого колодца

До проведения расчета в результате изысканий должны быть установлены: глубина залегания подземных вод, мощность водоносного горизонта, характеристика фильтрационных свойств. В общем случае расчет колодцев основывается на законах фильтрации (изучаемых в курсе динамики подземных вод). В дисциплине «Водоснабжение» предусматривается ознакомление с наиболее часто встречающимися схемами притока воды к колодцам.

Основными задачами гидрогеологических расчетов водозаборных трубчатых колодцев (скважин) являются: определение дебита и понижения уровня в процессе эксплуатации водозаборного сооружения; оценка возможного влияния данного водозабора на существующие или намечаемые к строительству водозаборы на других участках водоносного пласта.

Одновременно с решением этих задач на основе гидрогеологических расчетов уточняют схему расположения водозаборных скважин и колодцев, их число и размеры (глубина, диаметр).

При гидрогеологических расчетах водозаборов обычно в качестве исходного принимают дебит Q , соответствующий проектируемому водопотреблению. Но нередко приходится определять максимальный дебит $Q_{\max}$, который может быть получен на рассматриваемом участке водоносного пласта или на всей площади его распространения. В обоих случаях расчетами устанавливают

размеры водозаборного сооружения, число, расположение и дебиты колодцев при заданном времени эксплуатации (обычно 25 лет) и максимально допустимых понижениях уровня $S_{доп}$.

Гидрогеологические расчеты выполняют обычно для нескольких вариантов расположения водозаборов, по которым проводят технико-экономическое сопоставление и выбор оптимальной схемы водозабора. Во всех вариантах расчетные понижения уровня сопоставляют с допустимыми понижениями.

Для безнапорных вод $S_{доп} \approx (0,5 \div 0,7)H - \Delta h_{нас} - \Delta h_{ф}$, для напорных вод $S_{доп} \approx H_n - [(0,3-0,5)m + \Delta h_{нас} + \Delta h_{ф}]$, где H - мощность безнапорного водоносного горизонта; m - мощность напорного водоносного горизонта; H_n - напор, считая от водоупора; $\Delta h_{нас}$ - максимальная глубина погружения насоса под динамический уровень в скважине; $\Delta h_{ф}$ - потеря напора при входе в скважину (сопротивление фильтра и пород в прискважинной зоне).

При эксплуатации подземных вод должно выдерживаться соотношение

$$S_{расч} \leq S_{доп}$$

При $S_{расч} > S_{доп}$ проектируемый дебит водозабора не обеспечивает требуемое количество воды для водоснабжения. В этом случае может быть увеличено число скважин, при этом дебит каждой из них уменьшается или же скважины располагаются на значительном удалении друг от друга.

Гидрогеологические расчеты водозаборных сооружений могут быть сделаны при той или иной степени схематизации гидрогеологической обстановки. Выделяются следующие схемы водоносных пластов: долины рек - полуограниченные пласты (с одним прямолинейным контуром питания) и пласты-полосы; артезианские бассейны - неограниченные по площади распространения пласты (полузакрытые и закрытые водоносные структуры).

Ниже приводятся основные расчетные зависимости для оценки производительности водозаборов в указанных условиях. В более сложных гидрогеологических условиях могут быть использованы другие методы расчета: гидравлический, моделирование и др. (изучаемые в других дисциплинах).

Общая расчетная зависимость для определения понижений уровней подземных вод в любой точке пласта может быть представлена: для напорных пластов

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \cdot \rho,$$

для безнапорных пластов

$$S = h_b - \sqrt{H_b^2 - \frac{Q}{\pi K} \cdot \rho},$$

где Q - суммарный дебит водозабора; km - водопроводимость эксплуатируемого пласта (k - коэффициент фильтрации; m - мощность пласта); h_b - есте-

ственная мощность грунтового потока; ρ - гидравлическое сопротивление, зависящее от гидрогеологических условий и типа водозаборного сооружения.

При вычислении понижения уровня подземных вод непосредственно в скважине следует принимать

$$\rho = \rho_0 + \beta \xi,$$

где ρ_0 - значение гидравлического сопротивления ρ в точке расположения скважины; ξ - дополнительное сопротивление, учитывающее фильтрационное несовершенство скважины; β - отношение расхода рассматриваемой скважины Q_0 к общему расходу водозабора Q ;

$$\beta = \frac{Q_0}{Q}.$$

При расчетах приходится иметь дело со следующими основными расчетными схемами:

1. Приток напорных вод к совершенному колодезю.
2. Приток напорных вод к несовершенному колодезю.
3. Приток безнапорных вод к совершенному колодезю.
4. Приток безнапорных вод к несовершенному колодезю.

Кроме того, должны быть учтены условия взаимодействия колодезев, питающихся из одного водоносного горизонта.

Совершенный колодезь в условиях приема напорных вод. Пока откачка не производится, уровень воды в колодезе находится на высоте H_n (рис.49). При откачке горизонт воды в колодезе начинает понижаться и вода из водоносного горизонта начинает притекать к колодезю. Напорная поверхность приобретает форму депрессионной воронки.

Когда количество отбираемой воды станет равным количеству воды, притекающей в колодезь из грунта, движение приобретает установившийся характер и в результате устанавливается так называемый динамический уровень на высоте h . Разница $H_n - h = S$ и есть понижение уровня при откачке, величина весьма важная при всех гидрогеологических расчетах.

Расчет трубчатого колодезя заключается в установлении соотношения между Q , S и радиусом колодезя при известных величинах K , m и других параметрах водоносного горизонта.

В условиях установившегося движения

$$Q = \frac{2\pi K m S}{\lg \frac{R}{r}} = \frac{2.73 K m S}{\lg \frac{R}{r}} \quad - \text{ формула Ж. Дюпюи.}$$

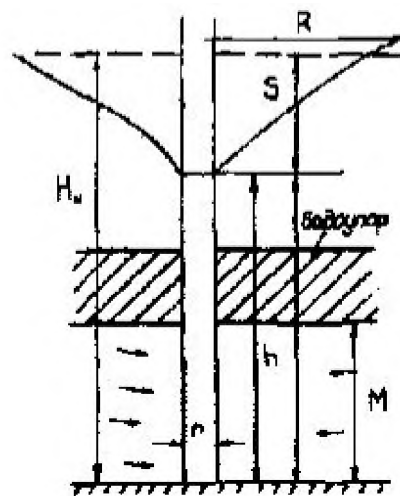


Рис. 49. Приток напорных вод к совершенному колодезю

Формула учитывает допущение, что область питания колодца в водоносном горизонте ограничивается цилиндром с радиусом R , Величина R называется «радиусом влияния» колодца. Предполагается, что на расстоянии R от колодца понижение $S=0$, т.е. здесь кривая депрессии как бы сопрягается с первоначальным положением напорной плоскости. R определяется по данным опытных работ.

В тех случаях, когда динамический уровень в колодце опускается ниже кровли водоупора, в водоносном горизонте устанавливается безнапорное движение.

Несовершенный колодец в условиях приема напорных вод. Поскольку пути приема воды к несовершенным скважинам отличаются от тех, которые мы наблюдали в совершенных скважинах, то формулы расчета более сложные:

$$Q = 2,73 \frac{KmS}{\lg(1,32\ell) - \ell gr} - \text{формула В.Д. Бабушкина,}$$

где ℓ - длина рабочей части фильтра при условии $\ell < 1/3h$; r - радиус скважины.

$$Q = 1,36 \frac{K(2\ell - S)}{\lg \frac{2\ell - S}{1,2r}} - \text{формула Н.К. Гирина,}$$

условия применения по длине фильтра не ограничены.

Совершенный колодец в условиях приема безнапорных вод

$$Q = 1,36 \frac{K(2H - S)S}{\lg \frac{R}{r}} - \text{формула Ж. Дюпюи.}$$

Несовершенный колодец в условиях приема безнапорных вод

$$Q = \frac{KS}{0,732} \left[\frac{\ell + S}{\lg \frac{R}{r}} + \frac{1}{\lg \frac{0,66\ell}{r}} \right] - \text{формула В.Д. Бабушкина.}$$

Определение Q или S по кривой зависимости. Наиболее полной характеристикой расхода скважины является кривая дебита. Уравнение кривой дебита для безнапорных вод

$$Q = 1,36K \frac{(2H - S)S}{\lg \frac{R}{r}}.$$

Формулу можно представить следующим образом:

$$Q = \underbrace{1,36K \frac{2H}{\lg \frac{R}{r}}}_A \cdot S - \underbrace{1,36K \frac{1}{\lg \frac{R}{r}}}_B \cdot S^2 \text{ или}$$

$$Q = A \cdot S - B \cdot S^2.$$

Для напорных вод

$$Q = 2.73K \underbrace{\frac{m}{R} \cdot \lg \frac{R}{r}}_{A_1} \cdot S, \quad \text{т.е. } Q = A_1 \cdot S.$$

Изобразим это графически (рис. 50)

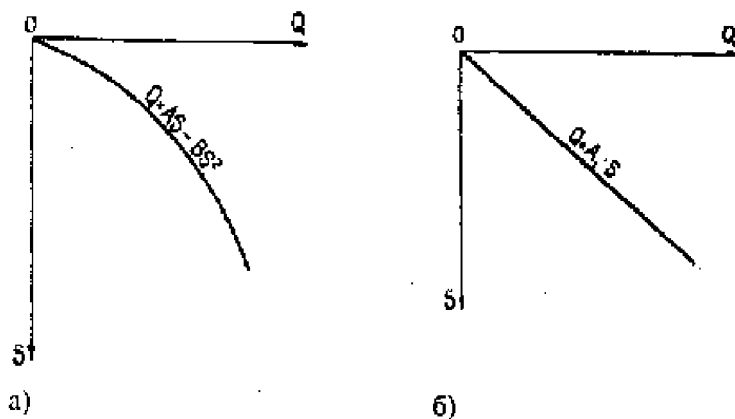


Рис.50. Графики зависимости дебита от понижения для вод:
а) грунтовых; б)напорных

Используя эти графики, можно определить дебит скважины при любом (проектном) понижении, либо, задаваясь величиной понижений, установить возможный дебит.

Анализ работы трубчатых колодцев. Анализируя работу трубчатых колодцев, можно сделать следующие выводы:

1. Расход несовершенного колодца всегда меньше совершенного, заложенного в том же водоносном горизонте:

$$Q_{\text{нecов}} < Q_{\text{cov}}$$

2. При напорных водах дебит совершенного колодца прямо пропорционален мощности водоносного горизонта

$$Q = 2.37K \frac{mS}{R \lg \frac{R}{r}}.$$

3. Величина диаметра трубчатого колодца незначительно влияет на его дебит.

4. Дебит трубчатого колодца при увеличении понижения возрастает только до определенного предела. Максимальные расходы получаются при понижении уровня воды до половины мощности водоносного горизонта. Дальнейшее понижение (в разрез с формулой) приводит уже к снижению расхода. Это происходит из-за того, что уменьшается площадь приемной части фильтра.

5. Для получения максимальных расходов из нескольких скважин их следует располагать на расстоянии $2R$. Однако из экономических соображений скважины сближают и расстояние между ними выдерживают 50-300 м. Опытами установлено, что при уменьшении расстояния в 4 раза дебит изменяется на 10%.

Схема взаимодействия скважин показана на рис. 51.

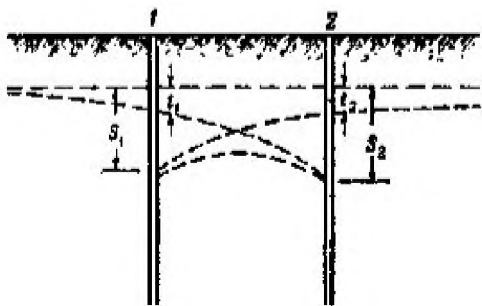


Рис. 51. Схема взаимодействия скважин

Расстояние между скв.	Уменьш. дебита, %
$2R$	0
$2R/4$	10%
$2R/10$	19%
$2R/20$	36%

6. Для лучшего захвата грунтового потока трубчатыми колодцами их лучше располагать в одну линию, перпендикулярно направлению потока.

1.4.2.3.3. Опробование скважин и водоподъемное оборудование для проведения откачек

Промышленному освоению подземных вод в целях водоснабжения (ирригации и др.) предшествуют несколько этапов гидрогеологических исследований (поиски, разведка - предварительная, детальная, эксплуатационная), в процессе которых выясняется множество параметров водоносного горизонта, необходимых для составления проекта эксплуатации месторождения подземных вод. Одним из основных методов гидрогеологических исследований при этом является опробование скважин (трубчатых колодцев) путем проведения откачек. Технология этих откачек (насосное оборудование), применяемая при этом, несколько отличается от эксплуатационного водоотбора из трубчатых колодцев. Учитывая то обстоятельство, что часто завершающий этап разведки подземных вод переходит в эксплуатационный, в данном разделе приводится методика производства этих предшествующих водоснабжению работ.

Откачку из скважин (трубчатых колодцев) проводят для очистки воды от примесей, взвешенной породы, мути, а также установления дебита скважины и подготовки её к эксплуатации. Опробование скважин включает прокачку, пробно-эксплуатационную и опытную откачки.

Прокачка требуется для очистки скважины от шлама и глинистого раствора. В период прокачки делают замеры расхода и уровня воды, ведут наблюдения за степенью осветления откачиваемой воды и количеством выносимой с водой породы. Прокачку осуществляют в течение нескольких часов чаще всего желонкой, эрлифтом или соответствующим насосным оборудованием. Прокачка нужна и как вспомогательная работа перед пробно-эксплуатационной или опытной откачкой. Данные прокачки используют для ориентировочной оценки водообильности вскрытого водоносного горизонта.

Пробно-эксплуатационная и опытная откачки являются самостоятельными работами и проводятся при опробовании скважины.

Для установления возможности получения запроектированного дебита применяют пробно-эксплуатационную откачку, по результатам которой выбирают оборудование для опытной откачки и определяют её режим. Допускают также откачки с одним понижением уровня при условии получения запроектированного дебита.

Опытная откачка позволяет определить производительность скважины, устойчивость дебита, радиус влияния, связь намечаемого к эксплуатации пласта с поверхностными водами или смежными водоносными горизонтами, а также установить взаимодействие между близко расположенными скважинами.

Согласно нормам (СН 325-65), откачки следует вести не менее чем при двух понижениях с дебитом, составляющим при большем понижении 75% проектной производительности. Продолжительность откачек из скважины, как правило, должна составлять 1-3 суток на каждое понижение. При этом необходимо добиться полного осветления воды и стабилизации положения уровня при определенном дебите.

В отдельных случаях продолжительность откачек может быть более длительной в связи с интенсивным выносом мелких песчаных фракций из фильтровых обсыпок и водоносного горизонта.

Продолжительность откачек при максимальном понижении в соответствии с инструкцией Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) при Совете Министров СССР по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод представлена в табл.4,

Таблица 4

Продолжительность откачек при максимальном понижении

Водовмещающие породы	Коэффициент фильтрации Кф, м/сут	Гидравлический режим	Продолжительность опытных откачек, сут.
Грунтовые и неглубокие напорные воды			
Трещиноватые и закарстованные породы, гравийно-галечниковые отложения без примеси мелких частиц, крупные и среднезернистые однородные пески	Более 30	Напорный Безнапорный	2-3 3-4
Трещиноватые и закарстованные породы, гравийно-галечниковые отложения с песчаным и супесчаным заполнителем.	10-30	Напорный Безнапорный	3-4 4-6

Водовмещающие породы	Коэффициент фильтрации K_f , м/сут	Гидравлический режим	Продолжительность опытных откачек, сух.
Неоднородные, крупно-, средне- и мелкозернистые пески	5-10	Напорный Безнапорный	4-6 5-7
Глубокие напорные воды			
Трещиноватые породы Уплотненные пески	0,05-5	Высоко напорный	3-5 5-7

Водоподъемное оборудование для проведения откачек. Для определения дебита скважин используют различные водоподъемные установки. Выбор водоподъемного оборудования зависит от положения статистического и динамического уровней воды в скважине.

При высоком положении уровня (до 5 м ниже устья) можно применять горизонтальные центробежные насосы, подача которых регулируется задвижками, изменением частоты вращения или диаметра приводимого шкива в зависимости от вида привода.

При более низком статическом уровне воды, превышающем высоту всасывания центробежного насоса, можно использовать различное водоподъемное оборудование.

Наиболее распространены и надежны в работе эрлифтовые устройства, представляющие собой пневматический подъемник, использующий сжатый воздух (рис. 52).

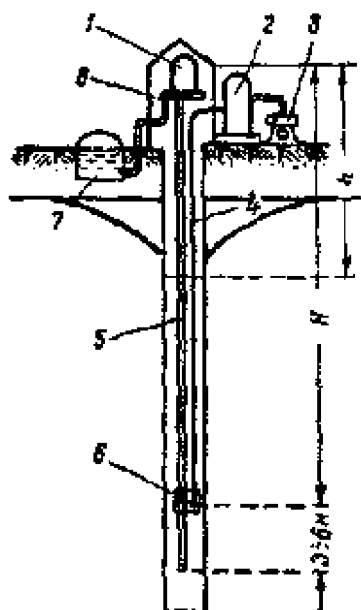


Рис.52. Схема установки эрлифта:

1 - сепаратор; 2 - воздушный аккумулятор; 3 - компрессор; 4 - воздушная труба; 5 - подающая труба; 6 - форсунка; 7 - резервуар; 8 - сборный бачок

Для создания понижений воды в скважине с помощью эрлифта применяют две схемы монтажа: центральную - при расположении воздухопроводных

труб внутри водоподъемных и параллельную - при расположении воздухопроводных труб - рядом с водоподъемными. Для прокачек и опытных откачек применяют центральную схему (рис. 53).

Гидравлический расчет эрлифтной установки состоит в определении необходимой глубины погружения эрлифта (Н) и количества воздуха для подъема заданного расхода воды, давления и мощности компрессора, питающего эрлифтную установку. Дебит при откачке регулируют изменением количества подаваемого в скважину воздуха или глубины погружения смесителя эрлифта. Глубина погружения смесителя эрлифта Н зависит от динамического уровня воды в скважине и вычисляют её по формуле

$$H = kh,$$

где h - глубина положения динамического уровня воды в скважине от уровня излива, м; k - эмпирический коэффициент погружения, установленный для эрлифтной установки 2-2,5 (редко 1,5-1,75).

Количество воздуха, необходимое для подъема заданного расхода (Q), определяется по формуле

$$V = \frac{V_0 Q}{60},$$

где V_0 - удельный расход воздуха, необходимый для подачи 1 м.куо. воды; g - заданный расход воды, подаваемой эрлифтом, м.куб/ч. Удельный расход воздуха определяется по следующей формуле:

$$V_0 = \frac{h}{23\eta_{\text{эр}} \lg \frac{h(K-1)+10}{10}},$$

где $\eta_{\text{эр}}$ - коэффициент полезного действия эрлифта (0,25-0,30).

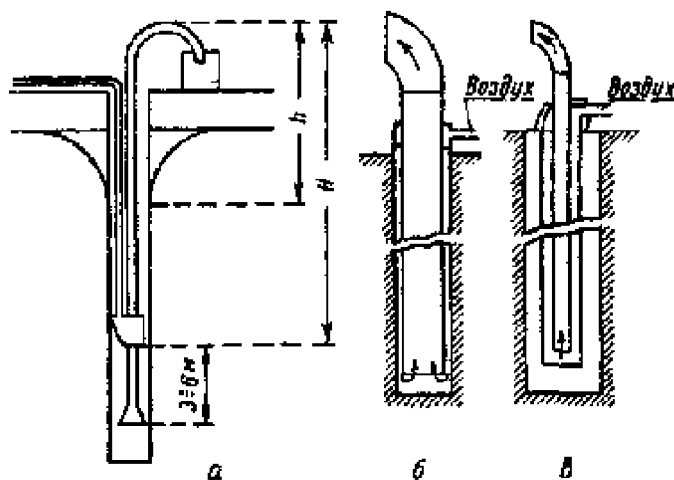


Рис. 53. Схема расположения воздушных и водоподъемных труб в эрлифте:

а - схема расположения труб «рядом»; б - воздушная труба в обсадной; в - схема расположения труб «внутри»

Производительность компрессора должна быть несколько больше и примерно составлять 1,2.

К достоинствам эрлифта относят простоту устройства, отсутствие движущихся частей.

К недостаткам - низкий общий КПД (20-30 %), требуемое большое заглубление скважины (на 3-5 м под смеситель); для подачи воды потребителю необходима насосная станция 2-го подъема.

При значительной глубине динамического уровня воды в скважине для откачек нередко используют глубинные артезианские насосы с вертикальным валом и погружным электродвигателем. Глубинные артезианские и погружные насосы предназначены для эксплуатационной откачки только чистой воды. Не допускается использовать их при содержании в откачиваемой воде песка и шлама по объему более 0,01-0,05 %. Поэтому до монтажа этих насосов необходимо провести прокачку скважины с помощью эрлифта (при производительности прокачки на 20-30 % больше эксплуатационной) до полного осветления воды в скважине. Для правильного расчета глубины погружения глубинных насосов в процессе прокачки должен быть точно определен динамический уровень воды в скважине.

Для скважин с небольшим дебитом (до 10-12 м.куб/ч) можно использовать штанговые поршневые насосы, которые применимы для временных откачек главным образом с приводом от буровых ударно-канатных станков и реже с приводом от стационарных насосных качалок. Различают штанговые поршневые насосы простого (одинарного) и двойного действия.

Подача штангового поршневого насоса определяется диаметром цилиндра, длиной хода поршня и числом его ходов (качаний).

Для пробных откачек применяют также высоконапорные струйные аппараты с пакерами. Откачка воды может осуществляться с содержанием механических примесей, до 30 % по массе с диаметром частиц 5 - 6 мм (системы С.Л.Драхлиса). Подача водоструйной установки до 34,2 м.куб/ч. Более подробно характеристики водоподъемного оборудования рассмотрены в следующем разделе.

1.4.2.4. Водосборы и насосы. В большинстве случаев при устройстве централизованных систем водоснабжения приходится использовать несколько одновременно работающих колодцев. Чаше всего эти колодцы рассредоточены в различных точках территории.

С целью повышения рентабельности эксплуатации подземных вод процесс добычи стремятся централизовать. Это осуществляется с помощью так называемых водосборов. Водосборы - это сооружения, назначение которых собирать воду из отдельных колодцев в одно место.

Факторами, определяющими выбор системы водосбора, являются: положение динамического уровня воды в скважинах относительно поверхности земли; количество трубчатых колодцев и расстояние между ними; способ поднятия воды из колодцев на поверхность.

Различают следующие системы водосборов: самотечные; всасывающие; сифонные; с подъемниками типа эрлифт; с глубинными центробежными насосами; со штанговыми насосами; с водоструйными установками; водосборы с ленточными водоподъемниками; водосборы с цепными водоподъемниками; водосборы с ветронасосными установками.

Характеристика водосборов. Всасывающий водосбор. Применяется при глубине динамического уровня не более 10-12 м. Он осуществляется при помощи одного центробежного насоса, который устанавливается в центре группы колодцев, и от него отходят трубы во все колодцы. Для снижения высоты всасывания насос по возможности заглубляют в грунт.

Сифонный водосбор. Применяется при глубине динамического уровня 8 - 9 м. Прокладывают таким образом, чтобы величина вакуума не превышала 7 - 8 м. При гидравлическом расчете сифона исходят из условия, чтобы уровень воды в сборном колодце был ниже уровня воды в крайнем водозахватном колодце на величину потерь напора в трубопроводе, а вакуум в точках присоединения других колодцев был бы достаточен для всасывания в них воды. Вследствие вакуума в сифоне выделяется воздух. Чтобы не образовались пробки, сифонный водовод прокладывают к сборному колодцу с подъемом не менее 1 : 1000. В самой высокой точке сифона в сборном колодце устанавливают воздушный колпак для сбора воздуха. Оттуда он удаляется насосом.

Самотечный водосбор. Применяется в тех случаях, когда динамический уровень воды в колодцах (скважинах) расположен выше поверхности земли, т.е. при напорных водах. При этом вода по трубам самотеком направляется в общий резервуар.

Основным элементом большинства водосборов является насос.

Насос - это механизм для перемещения жидкости из одной точки пространства в другую путем создания разности давления в этих точках.

По принципу действия насосы разделяются на: динамические; объемные; насосы трения; воздушные и др.

Основные данные, характеризующие работу насоса, приведены ниже (рис.54):

1. Подача (производительность) насоса.
2. Напор, развиваемый насосом.
3. Мощность, потребляемая насосом.
4. Коэффициент полезного действия (КПД).
5. Число оборотов насоса.
6. Допустимая высота всасывания.

1. Подача насоса (производительность) выражает объем жидкости, подаваемой насосом в единицу времени, л/с, м³ /час.

2. Напор насоса H выражается в метрах столба подаваемой жидкости и определяется по формуле

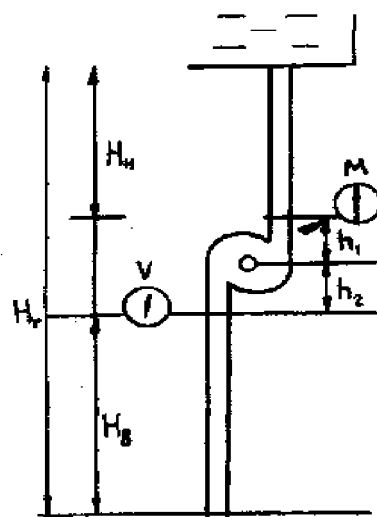


Рис.54. Некоторые параметры, характеризующие работу насоса

$$H = M_0 + V_0 + \frac{V_H^2 - V_b^2}{2g},$$

$$M_0 = M + h_1,$$

$$V_0 = V + h_2,$$

где М и V- показания манометра и вакуумметра, выраженные в метрах столба подаваемой жидкости. При определении М и V трубка вакуумметра должна быть заполнена воздухом, а трубка манометра - жидкостью; h_1 и h_2 - расстояние по вертикали от оси насоса до приборов; V_H и V_b - скорости жидкости в нагнетательном и всасывающем трубопроводах.

Для проектируемой установки Н определяется по формуле

$$H = H_z + \sum h$$

где H_z - геодезический напор - расстояние по вертикали от нижнего до верхнего уровней;

$\sum h$ - сумма потерь напора по длине и на местные сопротивления в напорном и всасывающем трубопроводах.

$$3. \text{ Мощность } N = \frac{V \cdot Q \cdot H}{102\eta} \text{ кВт},$$

где V - плотность подаваемой жидкости (для воды V=1); Q - подача насоса, Н - напор насоса; η -КПД насоса. 4. КПД полный характеризует экономичность насоса

$$\eta = \eta_z \cdot \eta_{об} \cdot \eta_m,$$

где η_z - гидравлический КПД насоса, представляющий отношение действительного напора к теоретическому и учитывающий гидравлические потери; $\eta_{об}$ - объемный КПД насоса, учитывающий объемные потери (утечки - Qоб)-

$$\eta_{об} = \frac{Q}{Q + Q_{об}},$$

где η_m - механический КПД, учитывающий затраты энергии на преодоление механических сопротивлений (N_M):

$$\eta_m = \frac{N_H - N_M}{N_M}.$$

КПД для насосов 0,6 -0,9.

5. Число оборотов n в единицу времени должно быть постоянным, т.к. от него зависят величины напора, подачи и мощности насоса.

6. Вакуумметрическая высота всасывания определяется по формуле

$$V_0 = H_b + \sum h_b + \frac{V_b^2}{2g} + \frac{V_b^2}{2g} + h_2,$$

где H_b - расстояние в метрах по вертикали от нижнего уровня до вакуумметра.

В характеристике насосов часто приводится допустимая величина, высота всасывания $H_{\text{ВАК}}^{\text{ДОП}}$, которая для определенной подачи и определенного числа оборотов должна быть $V(H_{\text{ВАК}}^{\text{ДОП}} > V)$ меньше или равна

Типы насосов и особенности их установки в трубчатых колодцах. Как было сказано выше, для подачи воды в скважины можно применять водоподъемники различного типа (рис.55,56).

Выбор типа водоподъемного оборудования для скважины зависит от статического и динамического уровня, диаметра скважины, ее дебита и потребного количества воды. Кроме этого, в случае использования группы скважин необходимо учитывать их взаимодействие и общее снижение уровня воды в водо-

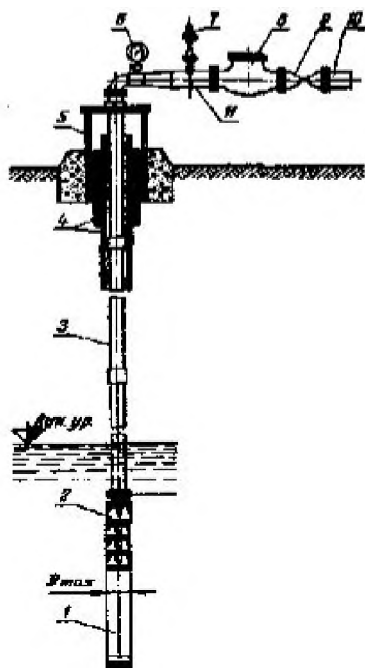


Рис.55. Схема оборудования скважины насосом и арматурой:

1 - электродвигатель; 2 - насос; 3 - водоподъемные трубы; 4 - обсадные трубы скважины; 5 — герметизированный оголовок скважины; 6 - манометр; 7- сбросный трубопровод; 8 - обратный клапан; 9 - задвижка; 10 - напорный трубопровод; 11- кран отбора проб

носном горизонте в данном районе.

В таком случае расчетный динамический уровень определяется по формулам, даваемым в дисциплине "Динамика подземных вод". В упрощенном виде это выглядит как сумма глубины статического уровня, понижения от влияния соседних скважин, понижения при откачке.

При высоком стоянии уровня воды в скважине могут применяться любые типы насосов. При значительной глубине до воды устанавливают глубинные насосы (центробежные, штанговые, эрлифты и другие).

Горизонтальные центробежные насосы, В практике водоснабжения применяются достаточно часто. Они весьма удобны, коэффициент полезного действия их довольно высок - от 0,4 до 0,8. Их устанавливают на поверхности земли или в неглубокой шахте (рис. 56, в). Открытые со всех сторон, они доступны для осмотра, смазки и ремонта. Как правило, эти насосы могут быть любой производительности и способны создавать любой потребный напор. Недостатком их является ограниченное понижение (не больше 4-7 м), следовательно, ограниченная возможность использования дебита Скважины. В зависимости от

предельной высоты всасывания ось насоса устанавливают на высоте, не превышающей более чем на 3-5 м динамический уровень.

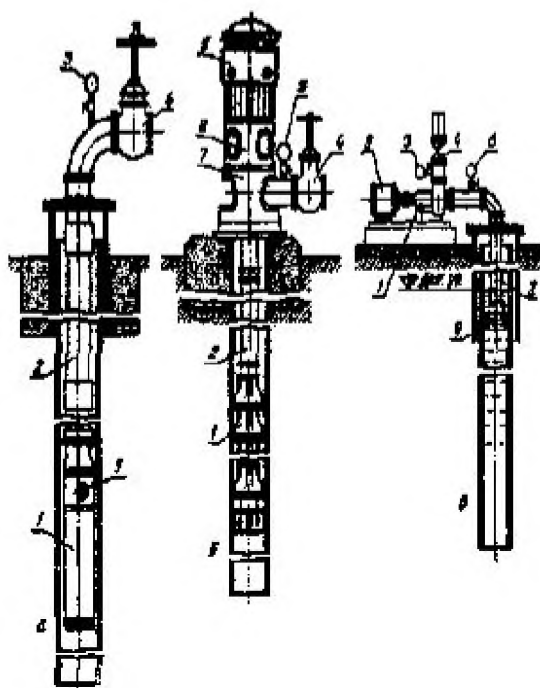


Рис.56. Схемы оборудования скважин насосами:

а - насосная установка с погружным электродвигателем; б - насосная установка с трансмиссионным валом; в - схема оборудования скважины горизонтальным центробежным насосом; 1 - насос; 2 - водоподъемный трубопровод; 3 - манометр; 4 - задвижка; 5 - электродвигатель; 6 - пята привода; 7 - опорное колено; 8 - вакуумметр; 9 - приемный клапан

Насосы имеют сравнительно небольшие габаритные размеры, они надежны в эксплуатации, просты в обслуживании. Состоят из литого спирального корпуса, внутри которого расположено рабочее колесо с дисковыми стенками, между которыми находятся изогнутые лопасти. Действуют они следующим образом. Перед пуском корпус и всасывающую трубу заполняют водой. Рабочее колесо приводят во вращение. Вода начинает вращаться вместе с колесом и благодаря центробежной силе устремляется от центра колеса к периферии с большой скоростью. Лопатки колеса создают при этом давление на выходе и разрежение на входе насоса. Под действием атмосферного давления к рабочему колесу по всасывающей трубе начинают поступать новые порции воды, образуя непрерывный ток через насос. Техническая характеристика насосов приведена в табл.5

Таблица 5

Краткая техническая характеристика центробежных (горизонтальных) насосов для чистой воды

Марка насоса	Насос		Электродвигатель		Масса насоса, кг
	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
Насосы горизонтальные					
Д200-95 (4НДв)	180	84	75	2950	209
Д200-36 (5НДв)	180	26	22	1450	264
Д320-50 (6НДв)	300	38	55	1450	376

Марка насоса	Насос		Электродвигатель		Масса насоса, кг
	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
Д320-70 (6НДс)	300	60	75	2950	250
Д630-90 (8НДв)	630 600 550	90 82 73	250 250 200	1480 1480 1480	728
Д500-65(10Д-6)	500 450	65 55	100 132	1450	613
Д800-28(12НДс)	800 750 700	28 25 22	110 110 75	985 980 1000	1157
Д 1600-90	1500	80	500	1480	1514
Д1000-40(14НДс)	1000 950 850	40 36 33	160 160 132	958 985 980	1514
Д1250-125(14Д-6)	1250 1150	125 106	630 500	1485 1450	1784 1784
СЭ1250-70 (14СД-9)	1250	70	320	1480	1812
СЭ2500-180(18СД-13)	2500	180	1600	2980	2277
ЦНС- 105-98	105	98	55	3000	480
ЦНС-105-196	105	196	100	3000	618
ЦНС- 105-294	105	294	160	3000	793
ЦНС- 105-392	105	392	200	3000	939
ЦНС- 180-255	180	255	200	1500	1155
ЦНС- 180-340	180	340	250	1500	1384
ЦНС- 180-425	180	425	320	1500	1610
ЦНС-300-240	300	240	320	1500	1453
ЦНС-3 00-600	300	600	800	1500	2575
1.5К-8/19 (1,5К-6)	6	20	1,5	2900	40
1,5К-8/19а (1,5К-6)А	9,5	14	1,5	2900	28
2К-20/30 (2К-6)	20	30	4,0	2900	38
2К-20/18а (2К9а)	17	15	1,5	2900	26,7
3К-6	30	58	13	2900	101
3К-45/30 (3К-9)	45	31	7,5	2900	50
3К-9	30 45 54	35 31 27	7,5	2900	40
4К-6	65 90 117	98 87 72	55	2900	122

Марка насоса	Насос		Электродвигатель		Масса насоса, кг
	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	
4К-6а	61 85 108	85 76 64	40	2900	157
4К-12	90	34	17	2900	101
4К-12а	85	28	10	2900	101
6К-8	162	32	30	1450	157
6К-12	187	17	17	1450	137
8К-18	288	17	22	1450	165

Вертикальные центробежные насосы. Электродвигатель такого типа насоса устанавливается над скважиной и соединяется с насосом длинным валом (рис.56). Насос опускается ниже самого низкого динамического уровня. Этому типу насосов свойственен ряд недостатков:

1)при необходимости подачи воды на большую высоту и низком ее уровне в скважине приходится ставить два насоса: один - для подъема воды из скважины на поверхность, другой - для подачи воды в сеть;

2)требуется особая точность при установке вала насоса, направляющих подшипников и муфт;

3)при наличии песка в воде вал насоса быстро истирается;

4) насосы требуют скважин больших диаметров.

Технические характеристики приведены в табл. 6

Таблица 6

Краткая техническая характеристика центробежных (вертикальных) насосов для чистой воды

Марка насоса	Нас		Электродвигатель		Масса насоса, кг
	подача, м ³ /ч	напор, м	мощность, кВт	частота вращения, об/мин	
600В- 1,6/100А(28В- 12М)	5500	90	1600	750	8450
800В-2,5/100А(32В- 12М)	8600	90	3200	600	11000
800В-2,5/40(36В-22)	9400	40	1600	600	13800
1000В-4/63А(40В-16)	12300	60	3200	500	13000
1000В-4/40(44В-22)	13500	40	1600	500	13800

Погружные электронасосы. Указанные выше недостатки глубоководных центробежных насосов, связанных с наличием вала, устранены в погружных электронасосах (рис.56 а). Этот тип насоса состоит из описанного выше глубоководного центробежного насоса, соединенного на одном валу с электро-

двигателем и опускаемого под воду. Ток в закрытый электродвигатель подается по бронированному электрокабелю. При эксплуатации погружных насосов содержание механических примесей в воде не должно быть более 0,01% по массе.

Насосы данного типа индексируются ЭЦВ, их технические характеристики приведены в табл.7 Насосными установками типа ЭЦВ оборудуют скважины глубиной от 10 до 700 м. Они могут работать в искривленных скважинах в разнообразных гидрогеологических условиях, для них требуются минимальные габариты здания (павильона), в которых размещают необходимое оборудование напорных трубопроводов и станций управления. Насосы такого типа получили очень широкое применение, в том числе, на водозаборах города Алматы (рис.1).

Артезианские погружные насосы. Погружные насосы с электродвигателем над скважиной называют артезианскими (рис.57). Они имеют индекс АТН. Находят применение при подаче воды до 1500 м. куб/час и развивают напор до 140 м. К недостаткам этого насоса следует отнести то, что они могут нормально работать только в скважинах, в которых отклонения от вертикали исключают прикасание насоса к стенам труб. Наличие трансмиссионного вала большой длины и принудительной системы смазки подшипников вала усложняет эксплуатацию этих насосов, поэтому наиболее целесообразно их применять для скважин небольшой глубины (30-40 м) и большой производительности.

Однако насосы АТН хорошо себя зарекомендовали и в глубоких скважинах.



Рис.57. Трубчатый колодец, оборудованный насосом АТН-12 для орошения с помощью ШДТ «Фрегат», в Павлодарской области

Таблица 7

Краткая техническая характеристика погружных электронасосов

Марка или тип	Подача, м.куб/ч	Напор, м	Мощность эл.двигателя, кВт	Частота вращения, об/мин	К.п.д. %	Гарант. срок службы, мес.	Ресурс до 1 кап. ремонта, ч	Внутрен. диаметр обсад. колонны, мм	Масса. Кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 ЭЦВ-4-45	4,0	45	1,0	2850	51	12	12500	95	29
1 ЭЦВ4-4--70	4,0	70	1,6	3000	51	12	12500	95	33
ЭЦВ5-6,3-80	6,3	80	2,8	3000	60	12	12500	14	75
ЭЦВ6-4-130	4,0	130	2,8	2850	57	12	12500	142	98
ЭЦВ6-4-190	4,0	190	4,5	2850	57	12	12500	142	114
2ЭЦВ6-6,3-85	6,3	85	2,8	2850	60	12	12500	142	80
1ЭЦВ-6-6,3-125	6,3	125	4,5	2850	60	12	12500	142	100
3ЭЦВ6-6,3-85	6,3	85	2,8	2850	60	12	12500	142	85
ЭЦВ6-6,3-125	6,3	125	4,5	2850	60	12	12500	142	105
1ЭЦВ6- 10-50	10	50	2,8	2850	65	12	12500	142	82
1ЭЦВ6- 10-80	10	80	4,5	2850	64		12500	142	82
ЭЦВ6-10-110	10	110	5,5	2850	64	12	12500	142	105
1ЭЦВ6-10-140	10	140	8,0	2850	65	12	12500	142	128
1ЭЦВ6-10-185	10	185	8,0	2850	66	12	12500	142	133
1ЭЦВ6-10-235	10	235	11,0	2850	64	12	12500	142	165,5
2ЭЦВ6-16-50	16	50	4,5	2850	65	12	12500	142	85
2ЭЦВ6-16-75	16	75	5,5	2850	65	12	12500	142	100
2ЭЦВ8-16-140	16	140	11	3000	65	12	12500	186	291
ЭЦВ8-25-100	25	100	11	3000	66	12	12500	186	160
ЭЦВ8-25-150	25	150	16	2850	66	12	12500	186	220
ЭЦВ8-25-300	25	300	32	3000	68	9	-	186	385
ЭЦВ8-40-65	40	65	11	3000	68,5	9	-	186	207
ЭЦВ8-40-165	40	165	32	3000	68,5	9	-	186	374
ЭЦВ10-63-110	63	110	32	2920	70	9	-	234	358

Продолжение табл. 7

Марка или тип	Подача, м. куб/ч	Напор, м	Мощность эл. двига- теля, кВт	Частота вращения, об/мин	К.п.д. %	Гарант, срок служб ы, мес.	Ресурс до 1 кап. ремонта, ч	Внутрен. диаметр обсад. колонны, мм	Масса. Кг
ЭЦВ 10-63-270	63	270	65	2920	71	9	-	234	727
ЭЦВ10-120-60	120	60	32	2920	71	12	12500	230	491
ЭЦВ 10-160-35М	160	35	22	2925	70	12	12500	230	1320
ЭЦВ 12- 160-65	160	65	45	2920	72	12	12500	281	355
ЭЦВ12-160-100	160	100	65	2925	72	12	12500	281	400
ЭЦВ 12 -210-25	210	25	22	2925	74	12	12500	281	250
ЭЦВ 12-2 10-85	210	85	65	3000	75	9	-	281	580
ЭЦВ 12-255-30М	255	30	32	2920	73	12	12500	281	540
ЭЦВ 12-375-30	375	30	45	2920	76	12	12500	281	365
УЭЦВ14-210- 300К	210	300	250	3000	70	12	10000	328	6743
УЭЦВ16-375- 175К	375	175	250	3000	73	12	10000	358	6317
ЭЦВ6- 16-75	16	75	5,5	3000	64	12	3000	136	185
ЭЦВ6-16-110	16	110	8,0	3000	64	12	3000	136	205
8АП-9х6	14-29	100-50	11,0	3000	52-41,5	12	1000	180	200
8АПН-11х7	15-30	120-70	11,0	3000	61	6	6000	190	205
10АПВМ-9х5	40	ПО	35,0	3000	60	9	6300	230	299
10АПВМ-9х7	40	150	55,0	3000	60	9	6300	230	310
АППТ-15х120	15	120	10,5	2900	-	4	-	190	170
АППТ-60х150	60	150	45,0	2900	-	4	-	290	500
АППТ- 100х100	100	100	45,0	2900	-	4	-	285	450
АППТ-180х120	200	100	90,0	2900	-	4	-	300	600

Так, в своей книге "Фрегаты на подземных водах" известный ученый-гидрогеолог, профессор С.М.Мухамеджанов описывает опыт использования

глубоких скважин, оборудованных насосами АТН-14-1-6, для орошения земель в Павлодарском Прииртышье в колхозе "30 лет КазССР".

Применение насоса АТН-16-1-6 позволяет получить из скважины достаточный дебит (не менее 80-100 л/с) для работы дождевальная машины. Технические характеристики приведены в табл.8.

Таблица 8

Краткая техническая характеристика насосов типа АТН

Марка или тип	Подача, м. куб/ч	Напор, м	Мощность эл. двигателя, кВт	Частота вращения, об/мин	К.п.д. %	Гарант. срок службы, мес.	Ресурс до 2 кап. ремонта, ч	Внутрен. диаметр обсад. колонны, мм	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АТН8-1х11	30	45	10	1500	63	12	-	188	1599
АТН8-1х16	30	65	14	1500	63	6	5000	188	2145
АТН8-1х22	30	90	20	1500	63	6	5000	188	3107
АТН10-1х4	70	30	13	1500	63	9	-	238	1962
АТН 10-1х6	70	45	22	1500	63	9	-	238	2323
АТН10-1х8	70	60	30	1500	63	9	-	238	3542
АТН10-1х11	70	80	40	1500	63	9	-	238	4495
АТН10-1х13	70	100	40	1500	63	9	-	238	5409
АТН14-1х3	200	46	55	1500	65	9	-	340	5463
АТН14-1х4	200	60	75	1500	65	9	-	340	6441
АТН14-1х6	200	100	100	1500	65	12		340	9662

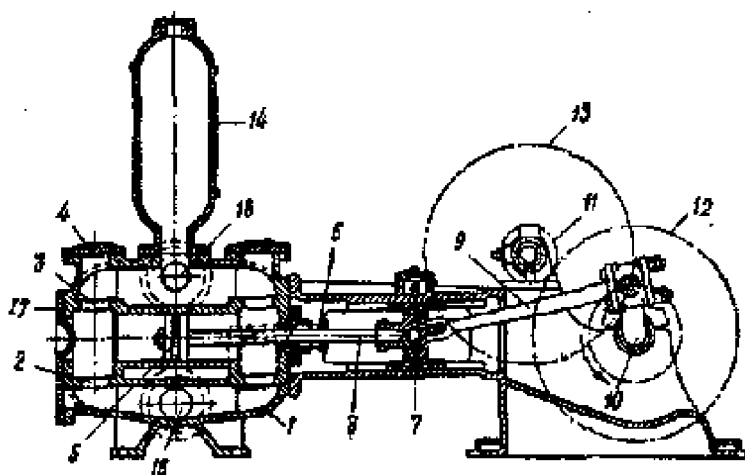


Рис.58. Приводной поршневой одноцилиндровый горизонтальный насос двойного действия:

- 1 - корпус; 2 - всасывающий клапан; 3 - напорный клапан; 4 - отверстие для осмотра клапанов; 5 - поршень; 6 - сальник; 7 - ползун; 8 - шток; 9 - шатун;
- 10 - коленчатый вал;
- 11 - малая шестерня;
- 12 - большая шестерня;
- 13 - шкивы рабочий и холостой;
- 14 - воздушный колпак;
- 15 - нагнетательный патрубкок;
- 16 - всасывающий патрубкок;
- 17 - боковая крышка

Насосы рассчитаны на подъем неагрессивной воды с температурой до 25°C.

Насосы АТН можно использовать для забора воды из скважин с динамическим уровнем воды на глубине 120 м от поверхности земли, а также рекомендовать для эксплуатации вертикальных и прямолинейных скважин. Отклонение оси скважины от вертикали не должно превышать 3 град.

Поршневые насосы. Имеют наиболее длительную историю использования и развития.

В настоящее время находят значительно меньшее применение по сравнению с другими конструкциями. К их недостаткам относится значительная металлоемкость, громоздкость, неравномерность подачи и давления, сложность в регулировании подачи. Вращаемый двигателем шатунно-кривошипный механизм сообщает возвратно-поступательное движение поршню, находящемуся в цилиндре (рис.58).

При движении поршня вправо в цилиндре создается вакуум и вода заполняет цилиндр. При обратном движении всасывающий клапан закрывается, напорный открывается и вода поршнем вытесняется. Таким образом, в поршневом насосе чередуются такты всасывания и нагнетания, что обуславливает неравномерную пульсирующую подачу воды в напорный трубопровод. Для выравнивания подачи поршневые насосы оборудуют воздушными колпаками. В такт нагнетания часть воды из цилиндра поступает в воздушный колпак, а затем под давлением воздуха вытесняется в напорный трубопровод.

Конструкции поршневых насосов разнообразны в зависимости от целевого назначения (рис.59). Для подъема воды из скважин и шахтных колодцев применяют вертикальные штанговые поршневые насосы, опускаемые на водоподъемных трубах. Насосы приводятся в действие находящимися на поверхно-

сти кривошипно-шатунными механизмами (т.н. лебедкой) при помощи штанг. Наиболее распространенным насосом является ВЛ-3А.

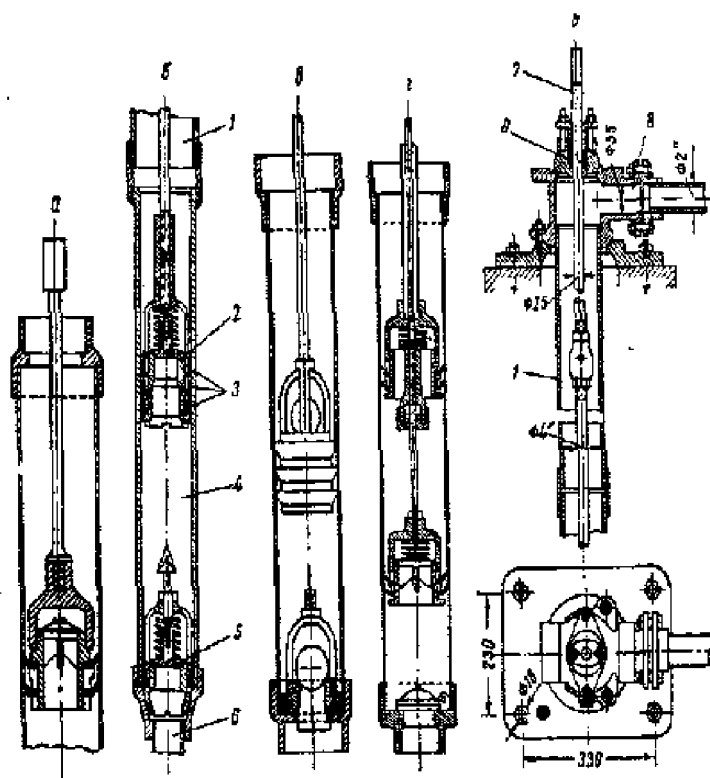


Рис.59. Насосные штанговые цилиндры:

а - с тарельчатым клапаном; б - с тарельчатым клапаном и пружиной; в - с шаровым клапаном; г - насосный цилиндр двойного действия с двумя поршнями; д - переходная коробка; 1 - водоподъемная труба; 2 - поршень; 3 - кожаные манжеты; 4 - насосный цилиндр; 5 - нижний клапан; 6 - всасывающая труба; 7-шток; 8-водоотвод; 9-сальник

Имеются конструкции с горизонтальным расположением корпуса насосного цилиндра, смонтированного вместе с приводным механизмом (рис.58).

Автоматические насосные установки с гидropневматическими баками. Автоматические насосные установки с гидropневматическими баками являются совершенными, экономичными. Наиболее целесообразно применять их для системы местного водоснабжения.

Автоматическая водоподъемная установка типа ВУ предназначена для механизации и автоматизации водоснабжения жилых, общественных и коммунальных зданий, животноводческих ферм, небольших предприятий сельскохозяйственного производства и других электрофицированных объектов с суточным расходом воды до 150 м.куб.

Установки с погружными и водоструйными насосами (рис.60,61) поднимают воду из глубоких шахтных колодцев и скважин (табл.9).

Таблица 9

Основные параметры установки нормального ряда с подачей 1-150 м.куб/ч

Типоразмер установки -	Подача, м.куб/ч		Максимальный напор над уровнем бака, м	Гидропневматический бак				Максимальное число включений в час
	при одном насосном агрегате	при двух насосных агрегатах		емкость, л	рабочее давление МПа	давление, Па	высота, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	1-2,5	-	25	160	4	478	1125	8-16
II	2,6-3,5	-	25	320	4	608	1313	8-14
III	3,6-5,5	7,5-10	25-45	500	4-6	708	1589	8-14
IV	6-9	11-19	45-65	800	6-8	812	1926	8-12
V	10-14	20-29	45-65	1250	6-8	1012	1956	8-12
VI	15-20	30-40	45-65	2000	6-8	1216	2258	7-10
VII	22-30	41-60	45-75	3200	6-10	1416	2498	7-10
VIII	32-45	61-90	45-75	5000	6-10	1620	3074	6-9
IX	46-60	91-120	45-75	2x3200	6-10	1416	2498	6-9
X	62-80	121-160	45-75	2x5000	6-10	1620	3074	6-8

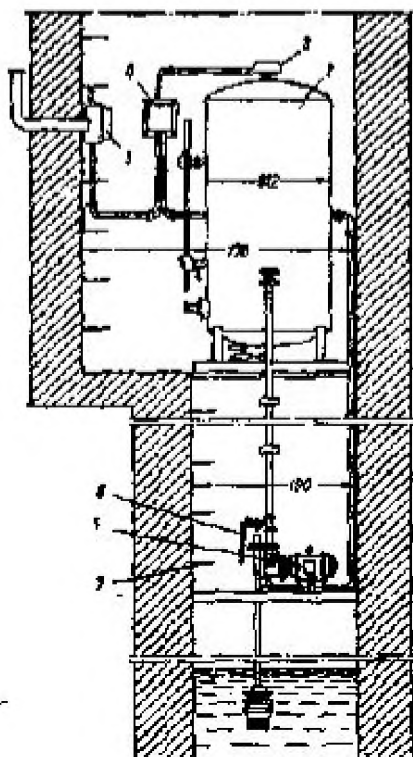


Рис.60. Автоматическая насосная установка а шахтном колодце:

1 - вихревой лопастной насос с электродвигателем; 2 - воздушно-водяной котел; 3 -реле давления; 4-магнитный пускатель с тепловым реле; 5 -рубильник; 6 - сливная труба; 7 - скобы железные

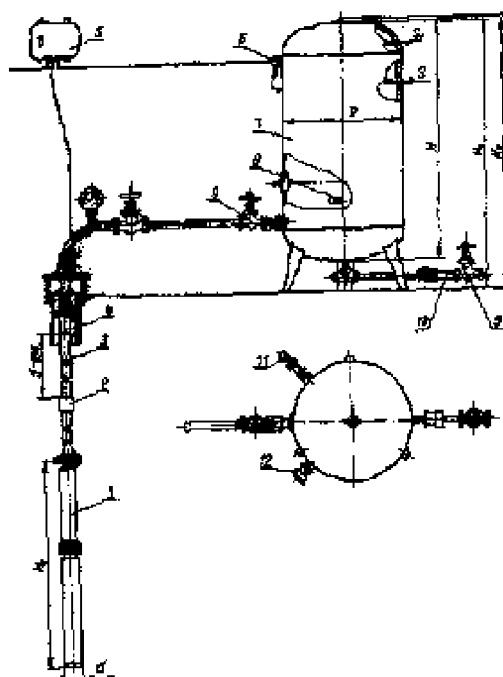


Рис. 61, Автоматическая водоподъемная установка с погружным насосом:

1- погружной насос; 2- муфта с калиброванным отверстием; 3 - напорный трубопровод; 4 - обратный и воздушный клапаны; 5 - шкаф управления; 6-реле давления; 7 - гидропневматический бак; 8 -регулятор запаса воздуха; 9 - задвижка; 10 - водозаборный трубопровод; 11 - предохранительный клапан; 12 - трехходовый кран с манометром

Тип установки определяется типоразмерами комплекта автоматики и насоса соответствующей подачи, а за главный параметр приняты подача установки и связанная с ней емкость гидропневматического бака.

Технические характеристики этих установок приведены в табл. 10.

Таблица 10

Технические характеристики автоматических насосных установок, разработанных НИИ санитарной техники

Тип уста-	Подача. м.куб/ч	Полный напор, м	Емкость гидро пневмати- ческого бака, л	Насосный агрегат		Источник водоснабжения
				Марка насоса	Мощность эл. двига- теля, кВт	
С погружными насосами						
ВУ-7-65	7,2	65	800	ЭЦВ6-7,2х х75	2,5	Скважины диаметром 6"
ВУ-7-115	7,2	115	800	ЭЦВ6-7,2л х120	4,5	
ВУ- 10-75	10.0	75	1250	ЭЦВ6-10х х85	4,5	То же
ВУ-10-180	10.0	180	1250	ЭЦВ6-10х х185	8,0	То же

Тип установ- ки	Подача, м. куб/ч	Полный напор, м	Емкость гидро пневмати-	Насосный агрегат		Источник водоснабжени я
				Марка насоса	Мощность эл.двнта-	
С водоструйными насосами						
ВУ-3-35	2-5	45-30	320	ВН-2-II	1,7	Шахтные колодцы То же Скважины диаметром 6" Шахтные колодцы, открытые водоемы или резервуары, а также наружная водопроводна я сеть при постоянном недостатке напора у потребителя Наружная водопроводна я сеть при периодическо м недостатке напора у потребителя
ВУ-6-50	2,5-8,5	35-75	500	ВН-2-III	2,8	
ВУ-8-90	7-10	85-105	800	ВН-2Ц-6	10,0	
АНУ-90х35	70-100	35	5000	ЗМС-10	14,0	
АНУ-110х х45	100-120	45	5000	ЭКМ-6а	14,0	
АНУ-150х х45	150-180	45	2х5000	ЗМС-10	14,0	
				4МС-10	28,0	
				4КМ-8	28,0	
АНУ-70х18	50-90	15-20	Без регули- рующей ем- кости	4К-18а	7,0	
АНУ-150х х20	110-180	18-25	То же	6К-86	20,0	

Воздушные водоподъемники. Имеют широкое применение при организации водоснабжения для подъема подземных вод из глубоких скважин. Особенно важно то, что эрлифт является основным техническим средством при проведении опытных гидрогеологических исследований. Описание, характеристики и расчет эрлифта приведены в разделе 1.4.2.3.3.

При решении практических вопросов водоснабжения и выбора насосного оборудования следует использовать справочную литературу (см. список литературы).

1.4.2.5. Особые виды каптажей подземных вод

1.4.2.5.1. Каптаж родников

Родниками называют естественные выходы подземных вод на дневную поверхность. Родники могут выходить из земли либо в виде сосредоточенных струй, вытекающих из трещин, либо выходов, рассредоточенных по склонам на некотором протяжении.

При решении вопроса использования родника для организации водоснабжения необходимо детально изучить залегание водоносных пород и режим родника. Сооружения, служащие для захвата родниковой воды, называются каптажами. При устройстве каптажей следует придерживаться следующих правил:

1. Каптаж не должен создавать никакого подпора воды в роднике в его естественном состоянии. В противном случае родник найдет себе другой выход.

2. Снижением уровня воды в роднике можно достичь увеличение его расхода.

3. Каптаж должен перехватывать все выходы родника и препятствовать фильтрации воды в окружающие породы.

4. Каптаж должен надежно защищать родник от попадания загрязнений и затопления поверхностными водами. Различают родники восходящие и нисходящие.

Конструкцию сооружений выбирают в зависимости от гидрогеологических условий выхода подземных вод на поверхность земли, морфологии места выхода источника, мощности отложений, покрывающих водоносный пласт и расхода источника.

При сосредоточенном выходе подземных вод каптажное сооружение устраивают в виде камеры - колодца, расположенного над выходом восходящего источника или перед выходом нисходящего источника.

При рассредоточенном выходе подземных вод на поверхность земли в виде отдельных источников, отстоящих один от другого на расстоянии более 5 м, каптаж их осуществляется отдельно со сбором воды в общую водосборную камеру. Такой общей камерой может быть камера на основном (наибольшем по дебиту) выходе подземных вод или специальная сборная камера вне выхода подземных вод. При рассеянном сплошном, но слабо выраженном выходе подземных вод на участке каптаж их осуществляется с помощью горизонтальных трубчатых или галерейных водозаборов со сбором из них воды в общую водосборную емкость.

Камеры монтируют из сборных железобетонных колец диаметром 1,5 м. горловины и люка. Между горловиной и камерой устанавливают железобетонный конус. Камера для каптажа нисходящих источников снабжена водонепроницаемым днищем. Наружные стенки камер покрывают горячим битумом за два раза, причем до покрытия они огрунтовываются праймером (битум 25%, бензин 75% по массе).

Вода в камере из восходящих источников поступает через днище, а из нисходящих - через отверстия в стенках камер. Для предотвращения выноса грунта из водоносного пласта перед входным отверстием укладывают обратный фильтр, каптажные камеры оборудуют расходной и переливной трубами.

С целью большего захвата воды нисходящих источников предусматривают устройство улавливающих стенок из глинистого грунта, вдоль которых для свободного стока воды в камеры укладывают обратный фильтр, каптажные камеры оборудуют расходной и переливной трубами.

Конструкции кирпичных камер для каптажа как восходящих, так и нисходящих источников показаны на рис. 62. Конструкция глиняно-каменной камеры для каптажа неглубоко залегающих источников показана

на рис. 63. Она состоит из каменной наброски, закрытой сверху и с боков слоем плотно утрамбованной глины. Поверх каменной наброски укладывают гравийный или щебеночный слой для предохранения выноса грунта в каменную наброску.

Каптаж восходящих родников. В камеру восходящего источника вода поступает через днище, на дно камеры укладывают обратный фильтр. Глиняно-каменная камера для каптажа нисходящего источника имеет обратный фильтр со стороны водоносного пласта.

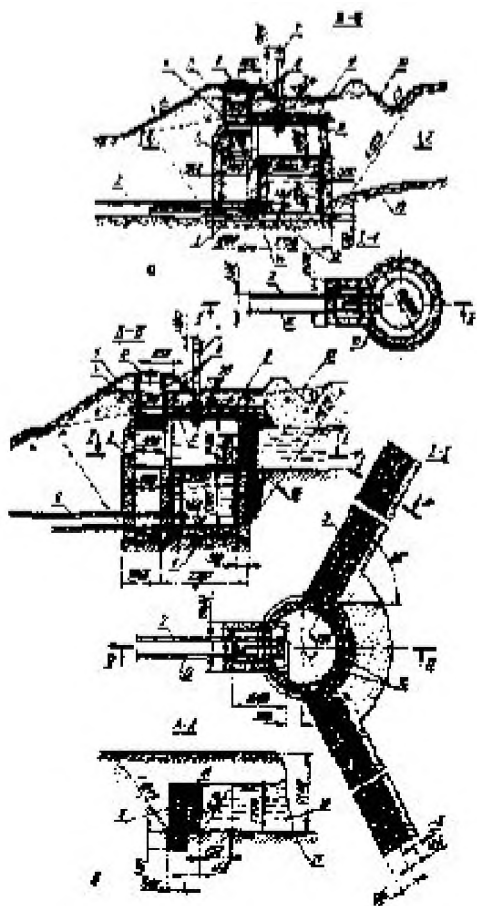


Рис. 62. Кирпичная каптажная камера: а - для восходящего источника; б - для нисходящего источника; 1 — бетон М5Р; 2- расходная труба; 3 - железобетонная труба; 4 - крыша из досок; 5 - растительный грунт; 6 - люк чугунный; 7- вентиляционная труба асбестоцементная; 8- железобетонные кольца; 9 — плотно утрамбованный глинистый грунт; 10 - нагорный канал; 11 - железобетонные плиты; 12 — переливная труба; 13 - скальный грунт; 14 - гравийная подушка; 15 - грязевая труба; 16 - водоприемные отверстия; 17 — водоупорный пласт; 18 — водоносный пласт; 19 - гравийная дренажная отсыпка

Дебит каптажных сооружений на источниках (родниках), когда используют только их естественный расход, устанавливают на основе наблюдений за режимом подземных вод. В качестве расчетного принимают расход источника той или иной обеспеченности (повторяемости).

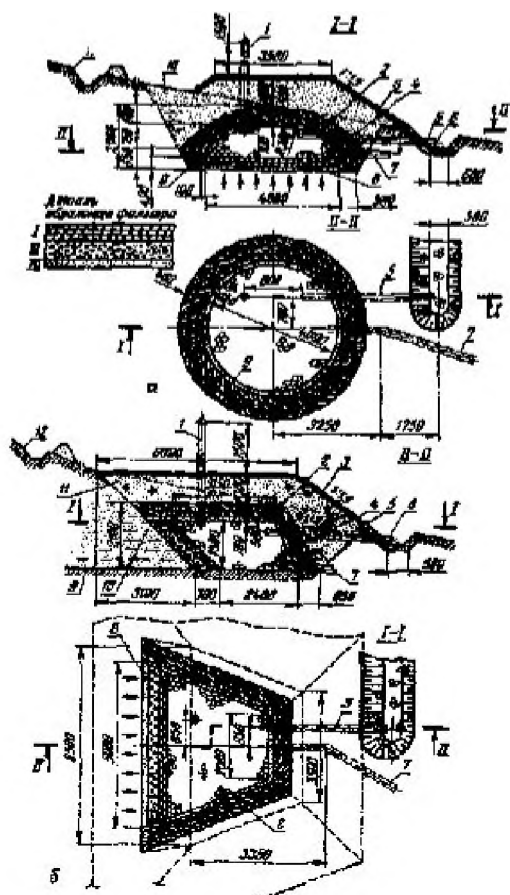


Рис. 63. Глиняно-каменная каптажная камера:

а - для восходящего источника; б - для нисходящего источника;

1-вентиляционная труба $d=150$ мм;

2-утрамбованный глинистый грунт;

крепление растительным

грунтом; 4- каменная наброска;

5 - переливная труба $d=100$ мм; 6-

латунная сетка; 7 - расходная труба; 8

- обратный фильтр (галька $d=15-40$ мм, гравий $d=3-7$ мм, песок $d=0,5-1$

мм); 9- водоупорный пласт; 10-

гравийный защитный слой; 11-

насыпной грунт; 12-нагорная канава; I -

галька; II-гравий; III-песок

1.4.2.5.2. Каптаж линз пресной воды широко используется в Средней Азии и Закавказье, где подземные воды часто сильно минерализованы. В связи с этим для водоснабжения можно отбирать инфильтрационную воду, профильтровавшуюся в грунт из оросительных каналов. Пресная вода из канала просачивается вниз до встречи с соленой грунтовой водой и оттесняет последнюю в сторону и вниз, причем перемешивания соленой и пресной воды в грунте почти не происходит (рис.64).

Так образуется линза пресных вод, которая может забираться колодцами и скважинами. При этом они не должны глубоко врезаться в водоносный пласт, т.к. при этом увеличивается опасность быстрого подсоса соленых вод.

Для борьбы с подсасыванием соленых вод разработан способ, заключающийся в том, что рядом с эксплуатационным колодцем бурят более глубокую скважину для захвата соленых вод, залегающих под линзой. При откачке пресной воды из колодца и соленой из скважины последняя отсасывает соленые воды и не дает им подниматься и проникать в колодец.

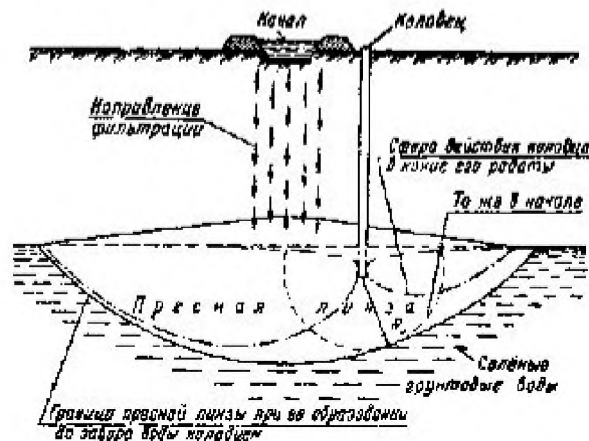


Рис. 64. Схема эксплуатации линзы пресной воды

При неглубоком залегании подземных вод для захвата воды из пресной линзы порой устраивают горизонтальные водосборы вдоль канала.

В пустынях часто прибегают к созданию пресной линзы искусственным путем. Для этого стекающую весной с естественных глинистых площадок (такыров) воду направляют в пониженное место или специальный инфильтрационный водоем, под которым образуется пресная линза.

1.4.2.5.3. Многозабойные скважины

Бурится центральная скважина большим диаметром. Из нее путем искривления стволов с помощью специальных клиньев проходятся в стороны несколько скважин меньшим диаметром (рис.65). Каждая из них оборудуется фильтром. В центральной устанавливают насос. Применяются для увеличения водо-

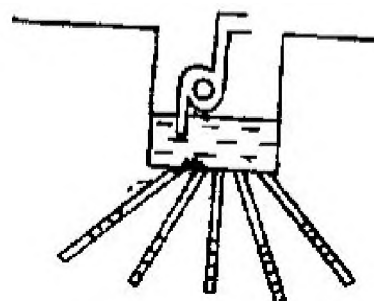


Рис.65. Многозабойная скважина

захватной способности фильтров.

1.4.2.5.4. Ярусные водозаборы

Применяются в мощных и водообильных водоносных горизонтах. Бурится ряд скважин несовершенного типа, расположенных близко друг от друга около 10-15 м (рис.66). Скважины оборудуются фильтрами на разных интервалах глубин и насосами.

Водозабор отличается компактностью и высокой водообильностью.

В Узбекистане в городе Ангрене успешно действует подобный водозабор из 3-х скважин, расстояние между ними 10 м, суммарный дебит 180 л/с. Снижение дебита от взаимодействия -10-15 %.

1.4.2.5.5. Лучевые водозаборы

Лучевой водозабор представляет из себя шахту, из нижней части которой закладываются в водоносный горизонт горизонтальные скважины, осуществляющие каптирование подземных вод (рис.67).

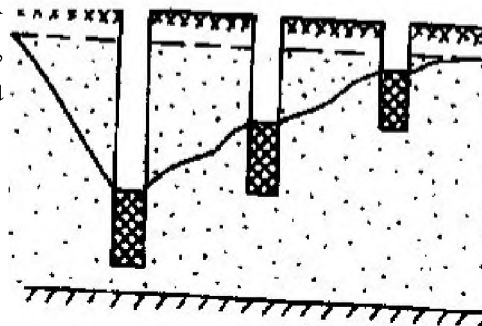


Рис.66. Ярусный водозабор

В шахте устанавливаются мощные насосы, откачивающие воду. Диаметр шахты до 10 м, глубина - до 60 м. Длина лучевой скважины до 100 м. Впервые такой водозабор был построен в Лондоне в 1934 г. с дебитом около 100 л/с. Дебит их может достигать 5 м³/с.

Лучевые водозаборы целесообразно применять: в водоносных пластах, кровля которых расположена от дневной поверхности земли на глубине не более 15-20 м, а мощность водоносного пласта не превышает 20 м; для захвата подземных вод подрусловых аллювиальных отложений в берегах и под руслом реки, дном пруда или водоема; в неоднородных по высоте водоносных пластах, когда необходимо полнее использовать наиболее водообильные слои.

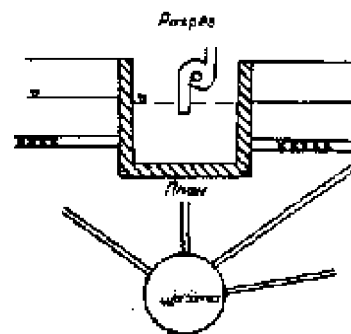


Рис. 67. Лучевой водозабор

Не рекомендуется применять лучевые водозаборы в галечниковых грунтах при крупности фракции $D > 60-70$ мм, а также при наличии в водоносных породах включений валунов в количестве, превышающем 10%.

Во всех случаях применение лучевых водозаборов должно быть оправдано возможностью существенного увеличения производительности по сравнению со скважинами, шахтными колодцами и горизонтальными водозаборами и техникоэкономическим расчетом. В состав лучевых водозаборов входят колодец, водоприемные лучи-фильтры (горизонтальные скважины), насосная установка (размещаемая обычно в водосборном колодце) (рис. 68).

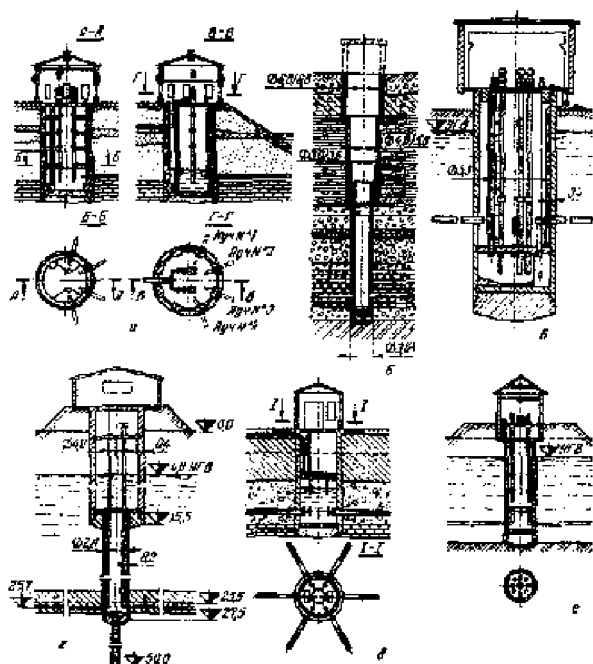


Рис.68. Водосборные шахты (колодцы) лучевых водозаборов:

а - водосборная шахта обычного типа;
 б - водосборная телескопическая шахта четырехъярусного водозабора; в - водозабор с нижней водосборной камерой; г - водозабор с верхней водосборной камерой; д - водосборная телескопическая шахта комбинированного водозабора с вертикальной скважиной-усилителем; е — водозаборная шахта с горизонтальными насосами

К л а с с и ф и к а ц и я л у ч е в ы х в о д о з а б о р о в (рис.69)

1. По условиям питания и расположения на местности: Русловые, т.е. шахты и лучи расположены в русле реки (а).

2. Береговые фильтры, т.е. расположенные на берегу (б).

3. Берегорусловие.

4. Водораздельные водозаборы, расположенные далеко от водотоков и с ними никак не связанные.

2. По расположению фильтровых лучей в плане:

1. Звездообразные (в).

2. Веерообразные (г).

3. По числу горизонтов расположения фильтровых лучей:

1. Одноярусные (д).

2. Многоярусные (е).

Каждый ярус каптирует свой водоносный горизонт. Многоярусные водозаборы сооружают в неоднородных в вертикальном разрезе водоносных пластах для более полного использования водообильных слоев.

Устройство многоярусных водозаборов целесообразно также в мощных однородных пластах, когда один ярус лучевых фильтров не обеспечивает необходимой производительности, а увеличение числа, длины, диаметра и глубины их заложения не дает эффекта или невыполнимо по производственным соображениям.

4. По расположению фильтровых лучей в разрезе:

1. Горизонтальные (ж).
2. Наклонные нисходящие (з).
3. Наклонные восходящие (и).

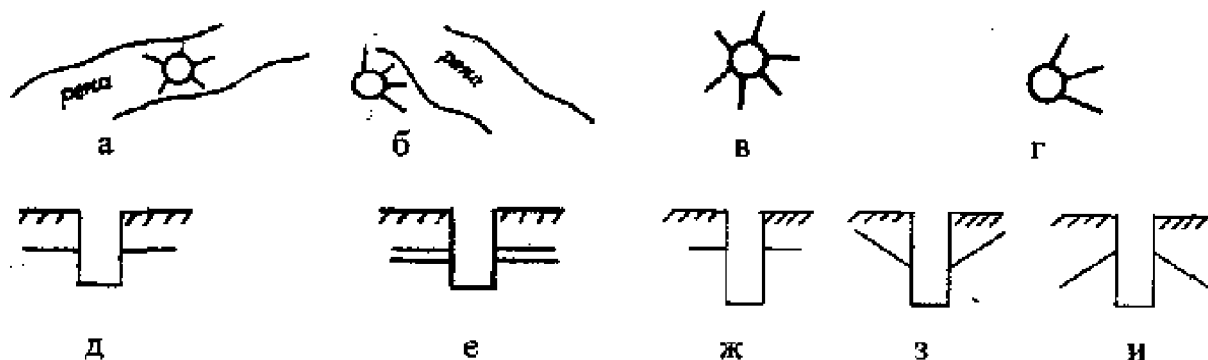


Рис. 69. Основные типы лучевых водозаборов:

а - русловые; б - береговые; в - звездообразные; г - веерообразные; д - одноярусные; е - многоярусные; ж - горизонтальные; з - наклонные восходящие; и - наклонные нисходящие

Строительство водосборного шахтного колодца может осуществляться способом опускного колодца, методом секущихся свай (трещинных стенок), кесонным способом и т.д.

Для увеличения водозахватной поверхности возможно устройство в стенках и днище водосборной шахты (колодца), водоприемных окон с фильтровыми вставками (например, из пористых материалов). Водосборный шахтный колодец служит для сбора воды, забираемой из каптируемого водоносного пласта через лучевые горизонтальные фильтры-скважины. В колодце устанавливают насос для откачки воды, а в процессе строительства оборудование для проходки горизонтальных скважин.

Внутренний диаметр водосборного колодца принимают от 1,2-2 до 4-6 м, в зависимости от метода устройства горизонтальных скважин и габаритов строительного и эксплуатационного оборудования. Отметку дна водосборного колодца (скважины) назначают на 0,5-2,5 м ниже уровня заложения горизонтальных скважин в зависимости от размещения водоподъемного оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Водосборные колодцы сооружают из железобетона (бетона) - сборного или монолитного. В случае малого диаметра возможно применение стальных или (при специальном обосновании) полимерных труб.

Горизонтальные лучевые скважины строят путем продавливания (возможно вращением) отрезков (звеньев) фильтровых или обсадных труб и чаще всего с выбором грунта из забойной части скважины. Грунт в виде шлама поступает в отверстия буровой головки, которой оборудуют первое звено труб.

Существующие способы проходки горизонтальных скважин в большинстве случаев предусматривают применение домкратных толкающих устройств. Помимо этого, применяют вращательные, виброударные, гидропогружные и другие виды горизонтального бурения.

Условия применения лучевых водозаборов

1. При каптаже водоносных горизонтов небольшой мощности (около 10м), расположенных на глубине не более 50 м.
2. При низких значениях коэффициента фильтрации.
3. Для захвата пресных линз, плавающих на соленых.
4. По экономическим соображениям, когда сооружение лучевого водозабора обойдется дешевле других.

Преимущества:

1. При одинаковом дебите лучевого водозабора с водозаборами другого типа первый занимает меньшую площадь.
2. Уменьшается зона санитарной охраны водозабора.
3. Захват и подъем воды производится в одном месте.
4. Возможность значительно увеличивать длину и число лучей, получая высокий дебит даже при неблагоприятных гидрогеологических условиях.
5. Снижается коррозия фильтров, т.к. они все время в воде.

Результатирующее преимущество - экономичность.

Недостатки:

1. Трудоемкость проходки шахты и горизонтальных лучей.
2. При неполадках (авариях) возможны перерывы в водоснабжении, т.к. весь водозабор сосредоточен в одном месте.

Расчет лучевого водозабора:

$$Q = 2\pi k \frac{mS}{\lg \frac{R}{r_0}}, \text{ где } r = \sqrt[n]{0.25}$$

формула Ж. Дюпюи для напорного водоносного горизонта ограниченной мощности с круговым контуром питания;

R - радиус кругового контура питания колодца; r_0 - радиус эквивалентного по производительности большого колодца, заменяющего систему лучей; l , n - соответственно, длина и число лучей.

1.4.2.5.6. Магазинирование подземных вод

Магазинирование подземных вод - это мероприятия по увеличению количества подземных вод искусственным способом в водоносном пласте.

Магазинирование применяется в различных областях водного хозяйства: водоснабжение, сброс отработанных вод, при добыче нефти (вторичное восстановление), повышение уровня подземных вод. При этом преследуются следующие цели: сохранение и размещение поверхностного стока паводковых вод; поддержание стабильной температуры у подземных

вод (летом ниже, зимой выше, чем у поверхностных вод); самоочищение воды при фильтрации; уменьшение минерализации подземных вод, имеющих в районе за счет разбавления поверхностными; подземные воды в меньшей степени подвержены загрязнению.

Методы магазинирования подземных вод

Существует два основных направления: самотечной инфильтрацией и нагнетательных колодцев.

1. Метод самотечной инфильтрацией

Подразделяется на следующие способы: а) бассейновый способ; б) способ канав и борозд; в) затопления; г) способ использования речных русел, колодцев, шахт и понижений рельефа.

Бассейновый способ - весьма эффективный и простой. Вода из источника питания поступает в каскад бассейнов, сооруженных с помощью дамб (рис.70 а) Не рекомендуется там, где вода несет много наносов, т.к. их отложение снижает фильтрационную скорость.

Способ канав и борозд представляет собой систему плоских неглубоких каналов и борозд, по которым транспортируется вода (рис.70 б). Способ затопления- наиболее простой и дешевый. Требуется равномерно распределенных и пологих уклонов, незначительных водоразделов (рис.70 в). Участок инфильтрации ограждается валами или дамбами, вода поступает на участок тонким слоем.

Способ использования речных русел, шахт и др. Имеет меньшее распространение вследствие его относительно высокой стоимости.

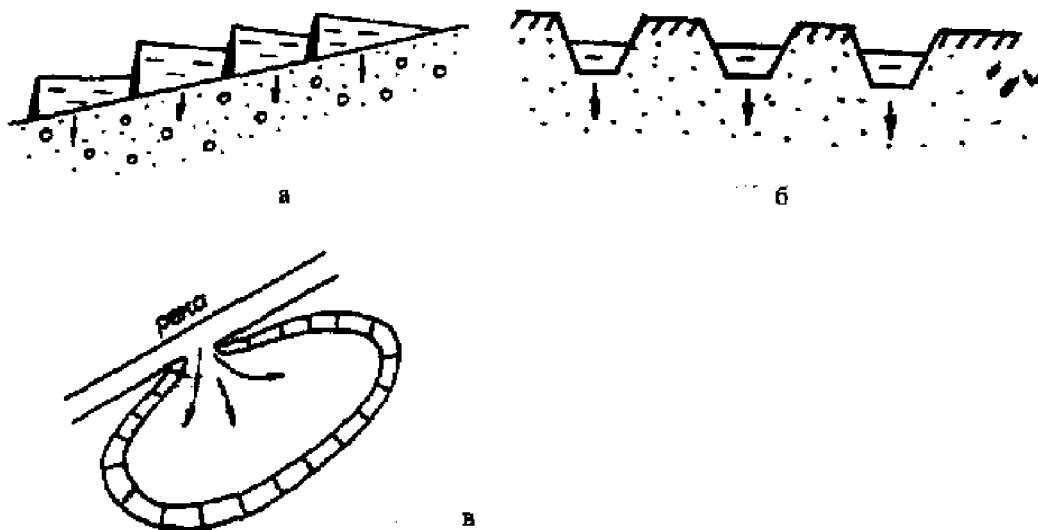


Рис. 70. Схемы магазинирования подземных вод: а) бассейновый способ; б) способ канав и борозд; в) способ затопления

Вода по этому методу направляется в вертикальные шахты, заброшенные старые колодцы или русловые вымоины.

Скорости просачивания довольно высокие, но количество воды, поступающей в водоносный горизонт, невелико, поскольку площади

инфильтрации ограничены и кроме того происходит быстрое заиливание колодцев.

2. Метод нагнетательных колодцев

В скважину или колодец нагнетается вода, которая под определенным напором инфильтруется в водоносный горизонт. Этот метод применяется там, где предыдущие методы неприемлемы (участки с водоупорными слоями; участки с застройками), т.к. он дорогой. К его недостаткам относится: образование в грунте пузырьков воздуха и снижение коэффициента фильтрации, заиливание скважин.

1.5. Методы улучшения качества воды

Вода природных источников, в особенности поверхностных, часто не отвечает требованиям, предъявляемым к ней потребителями, в частности, стандарту на питьевую воду. Употреблять ее без очистки нельзя.

Подземные воды, особенно артезианские - прозрачны, чисты и не требуют очистки. Однако нередко они имеют повышенную минерализацию, содержат много железа, сероводорода, фтора. В таких случаях подземные воды также нуждаются в улучшении. При заборе и хранении подземных вод в них могут попадать загрязнения, для ликвидации которых воду необходимо обеззараживать.

Качество воды улучшают путем ее очистки от взвесей и бактерий, устранения цветности, привкуса и запахов, а также изменения ее химсостава.

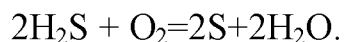
Очищение воды производится тремя способами:

- 1.Механическим.
- 2.Физическим.
- 3.Химическим.

1.5.1. Механические способы очистки воды

К ним относятся:

а) *Аэрация*. Основана на раздроблении струи воды на отдельные капли и соприкосновении их с воздухом. При этом газообразные продукты, такие, как сероводород, аммиак, органические вещества выделяются из воды, а вода обогащается кислородом. Реакция идет по следующей формуле:



б) *Отстаивание*. Производится с целью осветления и основано на способности частиц взвеси выпадать в воде под воздействием силы тяжести. Скорость выпадения частиц в стоячей воде зависит от многих факторов: размеров частиц, их формы, плотности, шероховатости поверхности, температуры воды и пр.

В природных водах содержатся взвешенные частицы самых разнообразных размеров и форм, имеющих разную плотность. Такая разнообразная взвесь называется полидисперсной. Динамика осветления воды зависит от состава взвеси. При осветлении воды не ставится задача полного удаления всех взвесей. Окончательное осветление воды достигается фильтрованием. После отстаивания содержание взвешенных веществ в воде допускается 8-12 мг/дм³.

Скорость выпадения частиц взвеси увеличивается по мере осаждения, т.к. частицы слипаются и укрупняются, происходит их агломерация.

Отстойники по режиму работы бывают периодического и непрерывного действия. В первых вода находится в покое и периодически забирается после осветления. Применяются редко для местного водоснабжения. В отстойниках непрерывного действия вода движется с **малой** скоростью, причем за время прохождения ее через отстойник выпадает заданное количество взвеси. Применяются практически во всех системах центрального водоснабжения.

По направлению движения воды отстойники разделяют на горизонтальные, вертикальные, радиальные (спорткомплекс Медео).

в) *Прсцезживание*. Применяется для удаления из воды частиц, легче ее по удельному весу. Осуществляется путем пропускания воды через специальные сита с мелкими отверстиями.

г) *Фильтрование*. Преследует цель полного очищения воды от всех примесей и является обычно последней завершающей ступенью очистки воды. Для фильтрования воды на очистных станциях устраивают водоочистные фильтры - емкость, в которую загружают слой зернистого фильтрующего материала - песка, дробленого антрацита, керамзита и пр. Поданная на фильтр вода проходит фильтрующий слой, оставляя на нем взвеси, собирается дренажным устройством и отводится в резервуар чистой воды.

В процессе работы фильтра на поверхности песка образуется илистая пленка. В ней размножаются бактерии, которые способствуют поглощению вредных бактерий. Пленку поэтому называют биологическим фильтром.

1.5.2. Физические способы очистки воды

К ним относятся:

а) *Перегонка и дистилляция воды*. Воду превращают в пар, затем его конденсируют и получают дистиллированную воду (атомные опреснители).

б) *Замораживание*. Воду замораживают. При этом замерзает лишь пресная вода, соли же выпадают в осадок. При размораживании получают пресную воду.

в) *Воздействие магнитным полем* на воду изменяет ее вязкость, смачиваемость, растворимость и ряд других свойств. Применяется в специальных лабораторных целях.

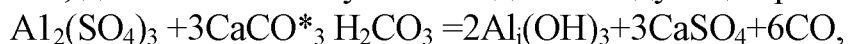
1.5.3. Химические способы очистки воды

К ним относятся:

а) *Коагулирование*. Применяется для интенсификации процессов осветления воды. Естественным путем осветление воды идет очень медленно и полностью не завершается, поскольку скорости выпадения мелких взвесей очень малы, тонкие глинистые и коллоидные частицы в отстойниках из воды практически не выпадают. После коагулирования, когда взвеси и коллоиды объединяются в хлопья, отстаивание воды идет значительно быстрее. Скорость выпадения хлопьев скоагулированной взвеси составляет 0,5-0,6 мм/с, т.е. приблизительно в сто раз быстрее. При отстаивании коагулированной воды достигается более полное ее осветление. Хлопья коагулянта сорбируют коллоидные вещества, придающие природной воде цветность, а также значительную часть бактерий. Кроме того, для задержания скоагулированной взвеси, не выпавшей в отстойнике, можно применять фильтры с крупнозернистым фильтрующим слоем, через который можно фильтровать воду в десятки раз быстрее, чем на мелкозернистых фильтрах.

Таким образом, при реагентном методе очистные сооружения имеют меньшие размеры и более компактны. Однако эксплуатация усложняется, появляются дополнительные затраты на коагулянт и обслуживание,

В качестве коагулянта чаще всего применяют сернокислый алюминий (глинозем) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, а также железный купорос и хлорное железо. При коагулировании глинозем добавляют в воду в виде рабочего раствора с концентрацией 4-10%. Поскольку в природной воде всегда имеются соли кальция и магния, добавление коагулянта ведет к следующей реакции:



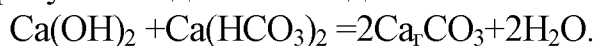
где $Ca(HCO_3)_2$ - бикарбонат кальция;

$Al(OH)_3$ - гидроокись алюминия, образует хлопья, которые при своем падении на дно захватывают мелкие частицы и увлекают их за собой.

б) *Устранение жесткости воды* - снижение концентрации солей кальция и магния. Применяется главным образом для подготовки воды для производственных целей. Существует два основных способа:

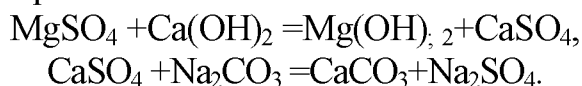
Реагентный - предусматривает обработку воды известью $Ca(OH)_2$ и кальцинированной содой Na_2CO_3 . Такой способ называют также известково-содовым. При добавлении извести и соды, соли марганца и кальция образуют нерастворимые соединения и выпадают в осадок. Для устранения карбонатной жесткости в воду добавляют только известь.

Такой способ называется известкованием. Известь вводят в воду в виде раствора. При этом связывается растворенная углекислота, а бикарбонаты кальция и магния образуют осадок и выпадают:



После известкования карбонатная жесткость воды снижается до 0,4 -0,8 мг-экв/дм³, некарбонатная (постоянная) не снижается.

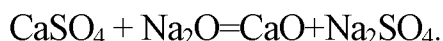
Для уменьшения общей жесткости, как карбонатной так и некарбонатной, кроме извести, в воду добавляют соду. При этом кальций и магний замещаются натрием:



При известково-содовом умягчении общая жесткость снижается до 0.5-1 мг-экв/дм³. При выпадении в осадок солей вода мутнеет. Поэтому этот способ выгодно применять до очистки воды.

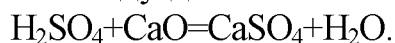
К а т и о н и т о в ы й способ умягчения. Основан на способности ионообменных нерастворимых веществ (катионитов) вступать в обменные реакции с катионами кальция и магния, содержащихся в воде.

Поглощая катионы кальция и магния, катиониты отдают взамен натрий или водород. В связи с этим различают натриевое катионирование и водородное катионирование



При утрате обменной способности ее восстанавливают промыванием катионита 5-10-%-ным раствором поваренной соли NaCl. Природным катионитом являются глауконитовые пески.

Устранение кислотности- применяют, главным образом, для предупреждения коррозии труб при избытке в воде свободной кислоты. Для нейтрализации кислоты в воду добавляют известь (негашеную)



1.5.4. Обеззараживание воды

Состоит в уничтожении микроорганизмов, находящихся в воде. Обеззараживание проводят химическими (реагентными) способами и физическими методами. К химическим относятся обработка воды хлором, озоном, ионами серебра и т.д. К физическим - кипячение, облучение бактерицидными ультрафиолетовыми лучами, обработка ультразвуком. В технике водоснабжения наибольшее распространение получило обеззараживание воды хлорированием.

Хлорирование производят газообразным хлором (Cl₂), хлорной известью (Ca(OCl)₂), гипохлоритом натрия (NaClO₂). При добавлении этих веществ образуется хлорноватистая кислота



Обеззараживание осуществляется именно хлорноватистой кислотой, которая будучи неустойчивой, быстро распадается на хлор и воду.

Доза хлора составляет: для неочищенной воды 3-5 мг/дм³;

для профильтрованной 2-3 мг/дм³; для подземных вод 0,7-1 мг/дм³.

Эти дозы ориентировочны и могут меняться в зависимости от мутности и других факторов.

Бактерицидное воздействие хлора при указанных дозах завершается через 30-60 мин. При потреблении содержание хлора в воде должно составлять 0,2-0,4 мг/дм³.

При хлорировании воды возникает неприятный запах. Для борьбы с ним применяют аммонитные соли - аммиак. Применение этих веществ снижает бактерицидное действие хлора, в связи с этим хлорирование должно длиться не менее часа.

Озонирование проводят газообразным озоном (Оз), который получают на водоочистных станциях из воздуха воздействием на него коронного электрического разряда напряжением 5-25 тыс. вольт. Озон является сильным окислителем, при разложении его в воде выделяется молекула кислорода (О₂) и атомарный кислород (О). Озон легко вступает в реакцию с органическими веществами, в том числе клеточным веществом бактерий, окисляет их. Дозы озона примерно такие же, как и хлора. Продолжительность контакта с водой 5-10 минут. Основные преимущества - вода не приобретает посторонних примесей, недостаток - более высокая стоимость по сравнению с хлорированием. Озон - ядовитый газ и требует осторожности.

Обеззараживание воды ионами серебра основано на том, что содержание в воде даже ничтожного количества ионов серебра (0.04 мг/дм³) уничтожает бактерии. При этом методе воду пропускают через посеребренный песок. Метод пока не нашел широкого применения.

Обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами применяется для прозрачных подземных вод. Используются специальные лампы, дающие лучи с длиной волны около 260 мкм. При облучении в веществе бактерий возникают фотохимические процессы, вызывающие их уничтожение.

Ультразвуковой способ обеззараживания заключается в создании в воде волн ультразвуковой частоты при помощи специальных генераторов. Бактерии погибают в результате механического воздействия волн.

1.6. Станции для очистки и обеззараживания воды

Территория очистной станции входит в первый пояс зоны санитарной охраны.

Расчетную производительность очистной станции определяют по максимальному суточному водопотреблению с добавлением расхода воды

на собственные нужды станции (промывку фильтров, отстойников и пр.), составляющему 8-10% ее полезной производительности. Для сокращения этих расходов воды прибегают к повторному ее использованию после предварительной очистки и обеззараживания.

Очистная станция состоит из четырех основных сооружений: смесителей, камеры реакции, отстойников и фильтров.

1. **Смесительная камера.** В ней происходит добавление всех реагентов. Время нахождения воды в этой камере от одной до трех минут. Объем этой камеры определяется по формуле $W=Q \cdot t$, где t - время пребывания воды в камере; Q - расход.

2. **Камера реакции** устраивается для того, чтобы создать наилучшие условия для хлопьеобразования. Этому способствует плавное перемешивание воды в течение 15-30 мин. При этом благодаря завихрениям мельчайшие частицы слипаются и агломерируют. Объем камеры равен $W=Q \cdot t$.

3. **Отстойник** может быть горизонтальным, вертикальным, радиальным.

Горизонтальный отстойник - вытянутый в длину призматический бассейн, в котором вода движется с небольшой скоростью (рис.71). В отстойнике выделяют две зоны: зону осаждения, в которой при движении воды происходит выпадение взвеси, и зону накопления и уплотнения осадка.

Глубину зоны осаждения принимают 2.5-3.5 м. Ширину отстойника принимают 3-6 м. У входной части отстойника глубину зоны накопления делают максимальной, т.к. здесь выпадает больше всего взвеси. Осадок удаляют из отстойника вместе с водой через спускные трубы. Число отстойников должно быть не менее двух, что позволяет их попеременно очищать без прекращения подачи воды. Длина отстойника обуславливается горизонтальной скоростью движения воды. Она должна составлять: для коагулированной взвеси 3-8 мм/с, для некоагулированной - 1-2 мм/с. Время, за которое обычно происходит выпадение взвесей, составляет 2-4 часа.

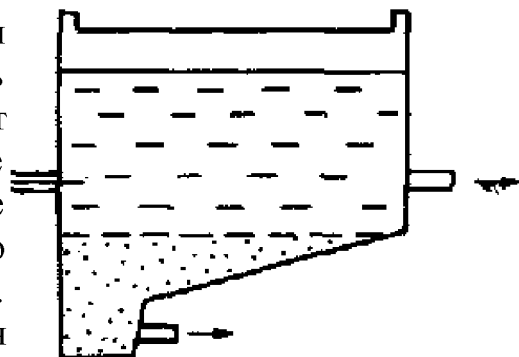


Рис.71. Горизонтальный отстойник

Для интенсификации работы горизонтальных отстойников используют устройства для рассредоточенного отбора воды из верхних слоев, где она лучше освещена, а также прибегают к непрерывному отсосу у выхода придонных слоев, наиболее насыщенных осаждающимися взвесями.

В отличие от других типов отстойников горизонтальные отстойники могут использоваться для осаждения некоагулированных взвесей. На очистных станциях малой производительности применяют многоярусные тонкослойные отстойники. От обычных они отличаются тем, что по высоте они разделены плоскостями на ярусы высотой 50-150 мм. Благодаря малой глубине ярусов (т.е. малой высоте осаждения взвеси) уменьшается длина отстойника, сокращается время отстаивания, улучшаются условия выпадения взвеси. Чтобы облегчить очистку ярусов от выпавшей взвеси, им придают наклонное положение, чем достигается сползание осадка.

Вертикальный отстойник - цилиндрический или призматический бассейн, в который вода при отстаивании движется в вертикальном направлении снизу вверх (рис.72). Их применяют только для осветления вод, обработанных коагулянтom. В верхней части отстойника вода, переливаясь через кромки стенок, поступает в отводящий желоб и отводится на фильтры. Выпавший из воды осадок накапливается в конической части отстойника, откуда периодически выпускается самотеком.

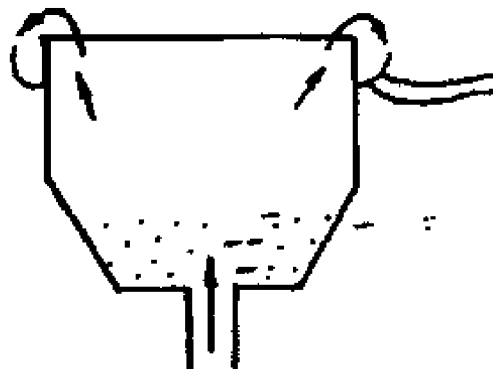


Рис. 72. Вертикальный отстойник

Цилиндрическая часть отстойника, где выпадает взвесь, называется зоной осаждения. Высота равна 4-5 м. Отношение диаметра отстойника к высоте зоны осаждения не должно превышать 1,5. Вертикальная скорость движения воды 0,5-0,7 мм/с. Время нахождения воды в камере около двух часов. Применяются на очистных станциях производительностью до 3000 м³/сут.

Радиальные отстойники - круглые в плане бассейны большого диаметра, в которых вода при отстаивании движется в радиальном направлении от центра к периферии. Их применяют на крупных водоочистных станциях промышленного водоснабжения.

4. Фильтрация воды и фильтры

Фильтрация воды является последней, завершающей ступенью осветления воды. Очистные фильтры представляют собой емкость, заполненную фильтрующим материалом - песком, керамзитом, дробленым антрацитом. Материал этот требует периодической промывки водой.

При фильтровании воды частицы взвеси задерживаются в том случае, когда фильтрующая среда имеет мелкие поры, через которые не могут проходить крупные частицы.

И тот и другой процессы, протекающие одновременно, вызывают сужение пор фильтрующей среды. При дальнейшей работе фильтра

загрязнения могут проскакивать через него. Фильтр выключают и очищают.

При осветлении воды с некоагулированной взвесью превалирует процесс очищения на поверхности мелкозернистого фильтрующего слоя. Скорость фильтрации при этом должна быть 0,1-0,2 м/час.

Задержание коагулированной взвеси протекает в толще фильтрующей среды, отличающейся более крупнозернистым составом. Фильтрование через нее можно проводить при скоростях 5-10 м/час, т.е. в 50 раз больше.

В связи с этим различают медленное (пленочное) фильтрование, применяемое для осветления некоагулированных вод и скорое (объемное) фильтрование, которое применяется для вод, обработанных коагулянтom.

Медленные фильтры (рис.73). Эксплуатация их очень проста. Лучшим фильтрующим материалом является кварцевый песок с диаметром зерен 03-1 мм. Осветление воды достигается за счет пленочного фильтрования. Происходит это следующим образом. Вначале задерживаются на поверхности наиболее крупные частицы. Последние сужают сечение пор и в свою очередь задерживают более мелкую взвесь. Этот процесс быстро прогрессирует. На поверхности фильтра образуется пленка с очень тонкими порами. В этой пленке развиваются биологические процессы, поглощающие до 99 % бактерий. Поэтому пленку называют биологическим фильтром.

На медленных фильтрах 90-95 % взвеси задерживается на пленке и в верхнем слое фильтра толщиной 2-3 см. Установка медленного фильтра состоит из следующих частей (рис. 73).

На дне фильтра расположен дренаж, на котором располагаются слои фильтра. Его выполняют из дырчатых бетонных плит, иногда из пористого бетона.

Поддерживающие слои укладывают на дренаж. Представляют собой гравий, щебень и крупный песок с уменьшающейся крупностью зерен. Фильтрующий слой насыпают из чистого промытого кварцевого песка размером 0,3-1 мм.

Медленный фильтр пускают в действие следующим образом. Заполняют фильтр снизу через дренажную систему чистой водой с тем, чтобы вытеснить воздух из песка. Когда вода поднимется выше песка на 20-30 см, в фильтр пускают осветляемую воду; первый фильтрат сбрасывают в сток. При этом скорость фильтрации постепенно увеличивают до нормальной, т.е. 0,1-0,2 м/ч.

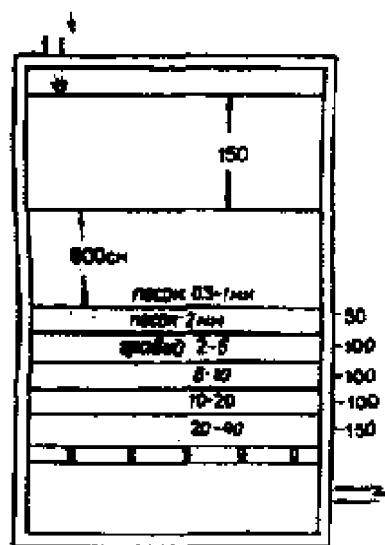


Рис. 73. Медленный фильтр

Скорые фильтры работают за счет объемного фильтрования. Скорость его составляет 5-10 м/ч. При очистке фильтра необходимо промывать весь слой песка. Очищают его через каждые 8-12 часов путем обратной промывки фильтра. Общая площадь скорого фильтра определяется с учетом простоя при промывках и затрат воды на промывку

$$F = \frac{Q}{(T - nt_2)V_H - 3.6ntW},$$

где Q - полезная производительность очистной станции, м³/сут;

T - продолжительность ее работы в течение суток, ч;

V_H - расчетная скорость фильтрования потока при нормальном режиме, м/ч;

n - число промывок в сутки;

t₁ - продолжительность промывки, ч;

t₂ - время простоя фильтра в связи с промывкой;

W - интенсивность промывки л/с/м².

1.6.1. Новые технологии очистки и обработки воды для различных целей

Научно-теоретические достижения в области молекулярной физики, химии высоких полимеров и других науках позволили разработать такие материалы и процессы, которые вывели технологию очистки и обработки воды на качественно новый уровень. Это дало возможность решать сложные вопросы водоснабжения и использовать для питьевых целей такие воды, которые раньше в силу существующих методов и техники их обработки не могли быть использованы. Особое значение научно-технический прогресс в рассматриваемой сфере принимает в связи со всеобщим ухудшением экологической ситуации. Отдельные же районы Казахстана являются зонами экологического бедствия. Речь идет в первую очередь о Приаралье, об обширных территориях Кзыл-Ординской, Чимкентской, Джамбулской областей, о районах расположения промышленных гигантов юго-восточного Казахстана и пр. Здесь воды естественных водоемов, их химический состав, физические свойства и органолептические показатели вследствие загрязнения далеко не соответствуют требованиям ГОСТА, а порой ПДК превышают 50-100 раз. К сожалению, загрязнение коснулось и подземных вод. В этих условиях вопросы водоснабжения могут быть решены зачастую только на основе обработки и очистки воды с использованием новых технологий.

Среди известных фирм, в том числе зарубежных, занимающихся разработкой технологий и техники обработки воды, производством и поставкой комплексов, выделяется фирма «Эйкос», продукция которой отличается использованием новейших достижений науки, высокими эксплуатационными свойствами

При этом теоретические разработки фирмы лежат в основе технологий не только по водоподготовке и получению питьевой воды, но и по очистке промышленных сточных вод, коммунальных стоков, процессов обессоливания, обеззараживания и удалению загрязняющих веществ (научный руководитель фирмы Б.В.Пилат, канд. хим. наук). Ниже приводится краткое описание наиболее интересных разработок фирмы «Эйкос».

Модульная фильтрационная установка "Эйкос"

«Эйкос» предназначена для коагуляции, осаждения и фильтрации загрязнителей. Установка работает по принципу безнапорной фильтрации в режиме экранирования с использованием дешевого унифицированного сорбента, емкость которого в 8 раз выше, чем у существующих. Установка обеспечивает высокую степень очистки воды, располагается на ограниченных площадях, обеспечивая при этом высокую производительность. Установка обладает низкой энергоемкостью (только работа насоса) и не имеет движущихся частей.

Назначение: очистка сточных вод от нефтепродуктов, красителей, жиров, масел, взвесей, ионов тяжелых металлов.

Применение: предприятия пищевой, текстильной, кожевенной, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей промышленности, гальванические производства, автомойки. Установки обеспечивают удаление 97-99,7% загрязняющих веществ.

Таблица 9

Модель	Производительность, куб.час	Требуемая площадь, кв.м	Потребление электроэнергии, кВт	Площадь фильтрации, кв.м
МФУ-Э-В1	1	2	0,5	0,2
МФУ-Э-В5	5	5	1,0	0,5
МФУ-Э-СЮ	10	12	2,2	1
МФУ-Э-В20	20	17	4,5	2

Перечисленные модели установок обеспечивают очистку от 0,5 до 100 м³ в час за счет использования модульного ряда. По индивидуальному заказу производятся комплексы производительностью до 1000 м в час.

Электродеструктор. Электродеструктор является оригинальной патентованной продукцией фирмы и предназначен для разрушения молекул органического углеводорода, красителей, детергентов. Основой конструкции является блок электродов из специального сплава с композиционным покрытием, помещенный в открытый корпус и подсоединенный к выпрямителю. Очистка воды производится в потоке под воздействием электрического тока. Электродеструктор компактен и имеет длительный срок эксплуатации.

Назначение: очистка промышленных стоков и питьевой воды от красителей, детергентов, фенолов, пестицидов, гербицидов, любых ядовитых отходов и других органических соединений.

Применение: предприятия пищевой, текстильной, кожевенной, фармацевтической, химической и военной промышленности для получения питьевой воды и очистки коммунальных стоков.

Выпускаются модели ЭД-274-Э-А; ЭД-274-Э-С5; ЭД-274-Э-СЮ. Производительность этих агрегатов изменяется от нескольких до 350 м³ /ч и зависит от вида очищаемых сточных вод. По специальной формуле рассчитывается скорость прохождения потока через аппарат и количество электроэнергии, необходимой для разрушения молекул. По индивидуальному заказу они могут выпускаться любой производительности.

Пористый металлический фильтр. Пористый металлический фильтр предназначен для микрофльтрации воды и растворов и обеспечивает очистку от взвесей с размером частиц от 20 до 30 мкм. Основой конструкции является пористый титановый фильтроэлемент, помещенный в корпус. Обратная промывка фильтра производится с высокой эффективностью и осуществляется автоматически с минимальными затратами воды на промывку. Фильтры легко очищаются от любых загрязнений.

Применение: предприятия фармацевтической, пищевой и радиоэлектронной промышленности, получение питьевой воды.

Пористые металлические фильтры из титана практически не имеют износа. Выпускаются модели ФМП-Э-АО 5; ФМП-Э-АЕ; ФМП-Э-В5. Производительность от 0,5 до 5 м³ /ч.

По желанию заказчика могут производиться фильтры любой производительности.

Водоумягчительная установка. Водоумягчительная установка с натрий-катионитным и механическим фильтром используется для удаления солей жесткости (кальция и магния), взвесей и осветления воды. Установка представляет серию цилиндрических емкостей с дренажно-распределительной системой, имеет систему для периодической регенерации фильтров, частота которой зависит от состава очищаемой воды, проста в эксплуатации, стабильна в работе.

Назначение: умягчение и осветление воды, забираемой из открытого водоема, артезианских скважин или водопроводной сети, подготовка воды для технологических процессов.

Применение: электростанции, котельные, предприятия пищевой, текстильной и кожевенной промышленности.

Водоумягчительные установки - самый простой и дешевый способ удаления солей жесткости. Производительность - 1 м³ /ч.

Электродиализные установки. Установка предназначена для обессоливания воды, в том числе и морской, путем удаления из нее анионов и катионов на ионнообменных мембранах под воздействием электрического

тока. Установка представляет собой блок электродиализных кассет с переменной системой подачи электроэнергии, что обеспечивает ее промывку в автоматическом режиме. Установка проста в эксплуатации, компактна, позволяет получить воду с общим содержанием солей до 70 мг/дм³.

Назначение: очистка воды от хлоридов, нитратов, нитритов, фтора, солей жесткости и других анионов и катионов.

Применение: обессоливание слабосоленых и сильносоленых вод, получение питьевой воды (в том числе и на судах), подготовка воды для технологических процессов.

Электродиализные установки обеспечивают обессоливание морских и подземных вод. Максимальная производительность - 40 м³/ч. Фактическая производительность электродиализных установок зависит от концентрации солей.

Ректификационные колонки. Ректификационные колонки служат для отделения воды от различных органических примесей: альдегидов, эфиров, жиров, кислот и различных спиртов при помощи пара. Патентованные пластинчатые и сетчатые тарелочки ректификационной колонки обеспечивают высокую степень разделения компонентов с возможностью получения чистой воды и товарных продуктов. Колонки просты в эксплуатации, располагаются на очень маленьких площадях и обеспечивают очистку сложных растворов.

Назначение : очистка воды от альдегидов, жиров, кислот, спиртов и других органических примесей.

Применение: предприятия пищевой, химической и фармацевтической промышленности.

Электрокоагулятор. Предназначен для безреагентной коагуляции и осаждения загрязнителей при очистке воды. Электрокоагулятор представляет собой блок электродов из специального сплава, помещенный в открытый корпус и подсоединенный к выпрямителю. Коагуляция и осаждение происходят на электродах под воздействием электрического тока. Электрокоагулятор компактен, прост в эксплуатации. Назначение: очистка воды от нефтепродуктов, жиров, масел, красителей, ионов металлов, органических соединений.

Применение: предприятия пищевой, текстильной, кожевенной, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, а также фармацевтической и химической промышленности, автомойки, депо, очистка питьевой воды и коммунальных стоков.

Выпускаются электрокоагуляторы с несколькими модификациями электродов для удаления из воды различных загрязнителей.

Производительность электрокоагулятора зависит от вида очищаемых сточных вод. По специальной формуле рассчитывается скорость прохождения потока через аппарат и количество электроэнергии,

необходимой для коагуляции и осаждения молекул. Могут изготавливаться аппараты любой производительности.

1.7. Система водопровода

Одной из наиболее важных составных частей в системе водоснабжения является водопровод. Его функции - обеспечение водой потребителей при централизованном водоснабжении. От водозаборного узла ее транспортируют к населенным пунктам и далее доставляют к месту потребления: в жилые дома, производственные помещения.

Таким образом, водопровод - это комплекс сооружений, предназначенных для обеспечения водой потребителя.

Он включает следующие элементы (рис. 74):

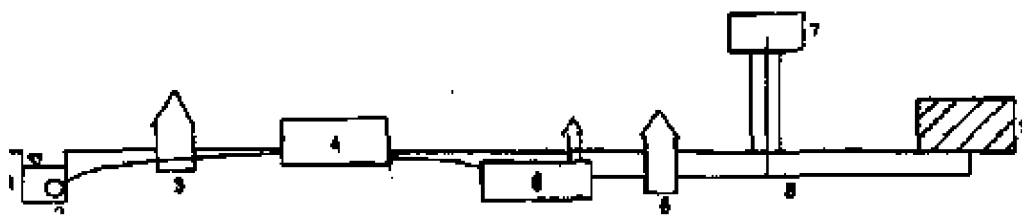


Рис. 74. Схема водопровода:

- 1) источник воды; 2) водозабор (различного характера в зависимости от вида источника); 3) насосная станция 1-го подъема; 4) очистные сооружения; 5) резервуар чистой воды; 6) насосная станция второго подъема; 7) водонапорная башня; 8) магистральный трубопровод; 9) потребитель

В зависимости от местных природных условий и характера потребления воды, а также в зависимости от экономических соображений схема водопровода и соответствующие ее элементы могут меняться весьма существенно. Большое влияние на схему водопровода оказывает принятый источник водоснабжения; его характер, мощность, качество воды в нем, расстояние от снабжаемого водой объекта и т.п. При использовании поверхностного источника принимают водоприемники различных типов и конструкций, представляющих собой иногда весьма сложные гидротехнические сооружения. При использовании подземных вод водоприемные сооружения выполняют в виде колодцев или скважин, а для захвата родников - в виде различных каптажных сооружений. Сопоставление качества воды данного источника и требований, предъявляемых к ней потребителями, определяет необходимость очистки воды, а также степень и характер очистки.

В тех случаях, когда очистку воды производить не требуется, система водоснабжения сильно упрощается. Отпадает необходимость не только в очистных сооружениях, но часто и в связанных с ними резервуарах и насосах II-го подъема. Например, артезианские скважины располагают группами в различных точках территории города. Насосы помещаются в самих скважинах и могут подавать воду непосредственно в сеть. Иногда в

такой системе водоснабжения вода из скважин подается сначала в сборные резервуары, а оттуда перекачивается насосом II подъема в сеть.

Рельеф местности также оказывает влияние на схему водоснабжения. В гористых местностях источники водоснабжения (озера, водохранилища, родники) могут находиться на отметках, значительно превышающих отметки территории снабжаемого объекта. В этом случае воду можно подавать к местам потребления самотеком и устройства насосной станции не требуется.

Большой интерес представляют групповые и районные водопроводы, при которых одна система водоснабжения охватывает несколько объектов, иногда различного назначения: населенные места, промышленные предприятия, железнодорожные станции, сельское хозяйство и пр. Обслуживание ряда объектов одной системой водоснабжения дает значительные преимущества, т.к. стоимость объединенного водопровода ниже, чем суммарная стоимость индивидуальных систем для каждого отдельного объекта. При этом снижаются и расходы на эксплуатацию системы. Подобное кооперирование позволяет планомерно, разумно и экономично решать важнейшие проблемы водоснабжения.

Ниже приводится характеристика сооружений, входящих в систему водопровода.

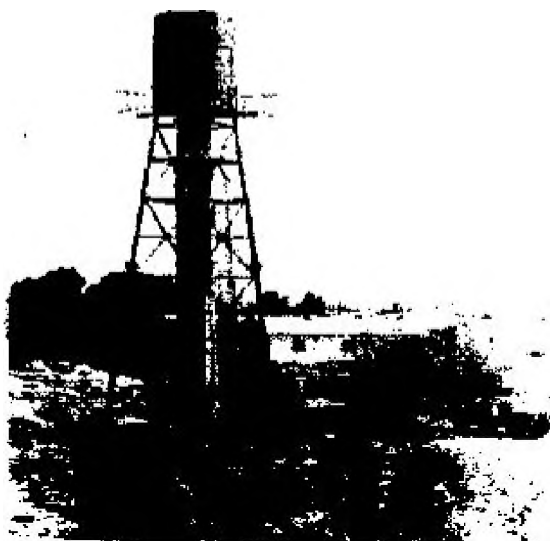


Рис. 75. Цельно-металлическая водонапорная башня в с. Мерке Джамбулской области

1.7.1. Водонапорные башни

К ним относятся напорно-регулирующие сооружения, у которых бак размещен выше поверхности земли на искусственной опоре (рис.75, рис.76), состоящие из трех основных частей (рис.77):

1. Опорная часть (ствол) водонапорной башни, которую возводят из железобетона, кирпича, стали. Конструкция ее может быть в виде сплошных цилиндрических стаканов или в виде сквозных рам и ферм.

При сквозной конструкции опорной части трубы, ведущие к баку, помещают в утепляющем кожухе.

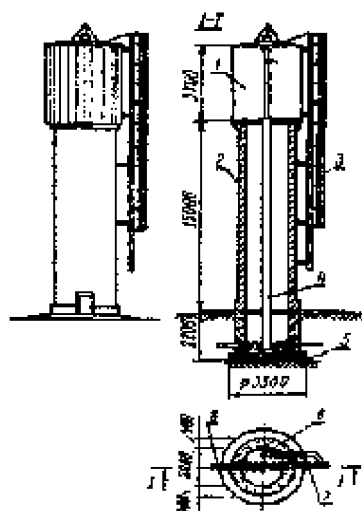


Рис. 76. Водонапорная кирпичная башня:

1 - стальной бак; 2 - кирпичный ствол; 3 - стальные лестницы; 4 - напорно-разводящий сток; 5 - железобетонный фундамент; 6 - переливная труба; 7 - сливная труба; S - напорный трубопровод

2. Бак водонапорной башни делают из стальных листов или железобетона, обычно цилиндрической формы. Дно чаще всего сферическое. Реже применяют баки шаровой, грушевидной, грибовидной и других форм. Соотношение размеров цилиндрических баков выбирают с учетом технических факторов. Оптимальное отношение высоты цилиндрической части баков к их диаметру находится в пределах 0,6-1.

3. Ш а т е р предохраняет бак от замерзания и других атмосферных влияний, а также от попадания загрязнений. Его устраивают из легких материалов со слабой теплопроводностью (пустотелых камней, пенобетона, дерева и др.) Применяют также железобетон. В условиях теплого климата устройству шатра необязательно. Возможность установки бесшатровых башен проверяют теплотехническим расчетом.

Водонапорная башня выполняет следующие функции:

а) обеспечение нормальной работы насосов станции второго подъема (т.к. водо-потребление характеризуется неравномерностью);

б) устранение гидравлических ударов в сети (этот удар гасится в башне и не доходит до насосов);

в) создание резервного запаса воды на случай кратковременной остановки насосов.

Определение объема бака производится на основе учета множества факторов: величины потребности, крупности населенного пункта и пр. Определяется по формуле

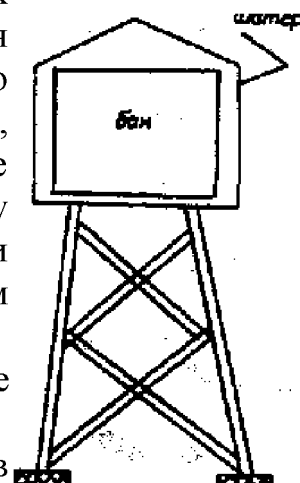


Рис. 77. Водонапорная башня

$$W = E_0 \cdot Q \text{ м}^3/\text{сут}$$

где E_0 - коэффициент принимается по таблицам на основании проектируемых данных и изменяется от 3 до 20%.

В ы с о т а в о д о н а п о р н о й башни (свободный напор у потребителя)

$$H_{\sigma} = H_{zo} + \sum h_{n.n.} + H_{св./пож.} \pm Z,$$

где $H_{зд}$ - высота самоговысокого здания в населенном пункте, м;

$\sum h_{n.n.}$ - сумма потерь напора в сети, которая складывается из потерь по длине трубопровода и местных потерь, м;

$H_{св./пож.}$ - необходимый свободный пожарный напор (не мене 5-6 м); $\pm Z$ - разница отметок местности (обычно 10-25 м).

1.7.2. Водонапорные насосные станции

Насосной станцией называется совокупность сооружений, машин и аппаратов, служащих для подъема воды.

Водопроводные насосные станции разделяют на:

- 1 -Станции I-го подъема; служат для подъема воды из водозабора.
- 2.Станции 2-го подъема; служат для подачи чистой воды из резервуара в водопроводную сеть или напорную башню.

В зависимости от глубины положения уровня воды в водоисточнике насосные станции располагают на поверхности земли или же для



Рис. 78. Машинный зал насосной станции водозабора на подземных водах

обеспечения допустимой высоты всасывания насосов - заглубляют. По этому признаку насосные станции разделяют на наземные и заглубленные.

При низком стоянии динамического уровня во избежание заглубления всей насосной станции применяют вертикальные центробежные насосы.

Насосные станции по надежности действия подразделяют на 3 категории: I категория - насосные станции, в которых не допускается перерыв в подаче воды; II категория - возможны кратковременные перерывы в подаче на время включения резервного электроснабжения; III категория - допускаются перерывы продолжительностью до 1 суток на

время ликвидации аварии. В зависимости от категории устанавливают огнестойкость зданий насосных станций, надежность обеспечения электроснабжения, число резервных насосных агрегатов (но не менее двух) (рис.78).

Суточную подачу насосной станции принимают равной максимальному суточному водопотреблению. Если насосная станция подает воду на очистные сооружения, то прибавляют еще расход воды на промывку фильтров, который составляет 8-10% полезного суточного расхода.

Здания насосной станции должны иметь повышенную огнестойкость. Их возводят из негорючих материалов - кирпича, камня, сборного железобетона.

Трубопроводы внутри насосной станции выполняют из стальных труб на сварке. При скорости течения воды во всасывающих трубах 0,7-1 м/с, нагнетательных 1-1,5 м/с диаметр труб должен быть около 250 мм. При больших диаметрах (300-800 мм) скорости принимают соответственно 1-1,5; 1,2-2 м/с.

Всасывающие трубы прокладывают по кратчайшему расстоянию с непрерывным подъемом около 0,005 и без перегибов, в которых мог бы скапливаться воздух.

Приемное отверстие всасывающей трубы для создания плавного входа воды делают с уширением в виде открытой воронки, диаметр которой берут в 1,5 раза больше диаметра трубы. Приемную воронку погружают под уровень воды на глубину 0,5 м, над дном колодца - 0,5 м.

1.8 Санитарная охрана подземных вод

1.8.1 Источники и виды загрязнения подземных вод

Европейской экономической комиссией ООН в Женеве (1961) было сформулировано и принято следующее определение: "Вода загрязнена, если ее состав или состояние изменились под влиянием деятельности человека и она стала в результате этого менее пригодной ... для целей, для которых она была бы пригодна в ее естественном состоянии".

По степени загрязнения выделяют следующие воды:

1) фоновые - показатели качества воды выше фоновых (природных) значений, но ниже предельных допустимых концентраций (ПДК);

2) загрязненные - показатели качества воды превышают ПДК в несколько раз;

3) сильнозагрязненные - показатели качества воды значительно превышают ПДК и приближаются к показателям раствора в источнике загрязнения.

Уровень загрязнения подземных вод обуславливается следующими основными факторами:

1) характером источника загрязнения

2) гидрогеологическими условиями участка загрязнения;
3) эффективностью мероприятий по ограничению развития загрязнения. Источники загрязнения подземных вод в зависимости от вида и происхождения загрязняющих веществ могут быть связаны с: а) промышленными сточными водами и отходами; б) сельскохозяйственными удобрениями, химикатами и стоками; в) хозяйственно-бытовыми сточными водами и отходами; г) солеными морскими, поверхностными и подземными водами.

В многочисленных литературных источниках отмечается, что во многих странах интенсивная эксплуатация подземных вод, а также поступление в эти воды загрязнений вызвало резкое ухудшение их качества. По видам и особенностям загрязняющих веществ выделяют химическое, биологическое, радиоактивное и тепловое загрязнения.

Химическое загрязнение подземных вод обусловлено многими факторами: промышленными сточными водами, утечками технологических растворов, растворением сырья и продуктов промышленности, загрязнением атмосферного воздуха, использованием удобрений и ядохимикатов в сельском хозяйстве и пр. Разнообразный состав сырья, продуктов, сточных вод, отходов современного промышленного производства определяет многообразие химических веществ, которые могут поступить в подземные воды. В загрязненных подземных водах обнаруживают тяжелые металлы, углеводороды, нефтепродукты, фенолы, цианиды, сульфаты, хлориды, фтор, марганец, мышьяк и многие другие вещества.

Биологическое загрязнение возникает при поступлении в подземные воды различных микроорганизмов - вирусов, бактерий, водорослей, микроорганизмов, простейших и др. Наиболее опасные последствия вызывают болезнетворные бактерии и вирусы, поступающие в подземные воды на участках фильтрации фекальных и хозяйственно-бытовых вод из дефектной канализационной сети, выгребных ям, скотных дворов, полей фильтрации и др.

К болезнетворным микроорганизмам относятся холера, сальмонелла, разнообразные вирусы (их более 700), вызывающие инфекционный гепатит, полиомиелит и другие болезни. Безопасность воды в эпидемиологическом отношении устанавливается ГОСТами, регламентирующими количество болезнетворных микроорганизмов в 1 мл воды.

Вместе с бактериальным загрязнением хозяйственно-бытовыми сточными водами и отходами в подземные воды поступают разнообразные органические вещества, продукты их распада и др. Приток в водоносный горизонт большого количества органических загрязнений из силостных ям, свалок, на которые складываются отходы пищевой промышленности и т.п., вызывает интенсивный рост микроорганизмов.

Радиоактивное загрязнение подземных вод является следствием поступления урана, радия, стронция, цезия, трития и некоторых

других элементов в атмосферу и на поверхность земли в результате ядерных взрывов или со сточными водами предприятий, добывающих и использующих радиоактивные вещества в отдельных отраслях промышленности, в научных, лечебных, производственных целях. Радиоактивное загрязнение угрожает в первую очередь грунтовым водам, в особенности при малой мощности сорбирующего почвенного слоя и мелкозернистых глинистых грунтов.

Тепловое (термальное) загрязнение проявляется в изменении их температуры под влиянием техногенных факторов, например при сбросе в пруды-охладители или скважины нагретых вод из систем кондиционирования от тепловых электростанций и других объектов.

По масштабу площадного развития выделяются локальные и региональные загрязнения подземных вод. Локальные вызываются отдельными (точечными) источниками и затрагивают сравнительно небольшие участки водоносного пласта; своевременными мероприятиями неблагоприятные последствия такого загрязнения могут быть ограничены и в отдельных случаях полностью ликвидированы. Региональные загрязнения вызываются действием многочисленных источников, обуславливающих в совокупности их площадной характер; ликвидация такого загрязнения очень трудна, а в ряде случаев практически невозможна.

1.8.2. Основные принципы охраны подземных вод от загрязнения

Охрану подземных вод следует рассматривать как комплекс мероприятий, имеющих целью предотвращение загрязнения, ликвидацию его последствий, сохранение и улучшение качества подземных вод для их эффективного использования в народном хозяйстве. Поскольку загрязнение подземных вод в основном связано с загрязнением поверхностных вод, атмосферы, атмосферных осадков и почв, т.е. окружающей среды в целом, задачи охраны подземных вод от загрязнения должны решаться одновременно с проблемой охраны окружающей среды.

Известно, что борьба с загрязнениями, уже попавшими в водоносный пласт, - очень сложная задача. При большом накоплении в пласте загрязняющих веществ и малой их десорбируемости, а также при низких фильтрационных свойствах пород время, необходимое для полного извлечения загрязнений из пород и подземных вод, может измеряться десятками и даже сотнями лет.

Большую роль при охране подземных вод должны сыграть законодательства и государственные стандарты, регулирующие нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ; рациональное использование подземных вод и земных недр; эксплуатацию новых водозаборов подземных вод; проведение поисковых и разведочных работ на воду, нефть, газ и другие полезные ископаемые.

Мероприятия, обеспечивающие рациональное использование и охрану водных объектов, являются обязанностью всех предприятий-

водопользователей. Использование резервуаров пресных подземных вод для сброса различных отходов запрещается. Сброс сточных вод допускается, если он не приводит к появлению в воде загрязняющих веществ свыше установленных норм и при условии очистки водопользователем сточных вод до необходимых пределов.

Вследствие большого разнообразия промышленных производств, состав загрязнителей все время усложняется. В 1944 г. нормировалось содержание 13 загрязняющих веществ, в 1960 г. - 70, в 1967 г. - 180, в 1973 - 250, а сейчас - более 600. Это число увеличивается с каждым годом. Весьма опасным считаются сточные воды химических, целлюлозно-бумажных, нефтеперерабатывающих и атомно-энергетических производств. Очень вредны соединения ртути и свинца, а из радиоактивных веществ - стронций-90.

Предотвращению загрязнения подземных вод содействуют мероприятия общего характера: 1) создание замкнутых систем промышленного водоснабжения и канализации (см. разд. 1.3.1); 2) внедрение производства с бессточной технологией; 3) совершенствование очистки сточных вод; 4) изоляция коммуникаций со сточными водами; 5) ликвидация или очистка газо-дымовых выбросов на предприятиях; 6) контролируемое использование ядохимикатов и удобрений на сельскохозяйственных территориях; 7) надежное захоронение особо вредных стоков; 8) создание водоохраных зон в районах развития грунтовых вод.

Проведение этих мероприятий в основном решит проблему сохранения качества подземных вод. Однако, поскольку для полного их осуществления требуется значительное время, сточные воды все еще будут поступать в реки и водоемы, сохраняться существующие и будут построены новые поверхностные хранилища для сточных вод и отходов не исключены случайные загрязнения подземных вод при аварийных разливах и утечках технологических и сточных вод из цехов, емкостей, трубопроводов и т.п. Все это следует иметь в виду при выборе оптимальных вариантов проектов развития народного хозяйства.

1.9. Транспортировка воды

В централизованных системах водоснабжения вода прежде чем попасть потребителю транспортируется на значительные расстояния. При этом рассредоточенность водопотребителя существенно сказывается на стоимости системы водоснабжения. На долю транспортирующих сооружений падает до 70 % затрат на водоснабжение. Существует три способа транспортировки воды: по трубам, по открытым каналам, передвижными транспортными средствами. Наиболее совершенный и распространенный способ - транспортирование воды по трубам.

Преимущества его - подача воды под напором непосредственно потребителям, минимальные потери, ровный температурный режим.

К транспортирующим и распределительным сооружениям в централизованных системах водоснабжения относятся: водоводы, разводящие водопроводные сети и внутренние водопроводы.

1. Водоводы - транзитные водопроводы, соединяющие отдельные элементы схемы водоснабжения (например, насосную станцию и водонапорную башню). Длина их бывает значительной. Например, протяженность Ишимского и Булаевского групповых водопроводов в Северном Казахстане достигает более 1700 км каждый. При водоснабжении поселков из скважин длина водоводов сводится к минимуму, иногда они совсем отсутствуют.

2. Разводящие (уличные) водопроводные сети представляют собой разветвленную систему трубопроводов, служащих для распределения воды по территории населенного пункта.

3. Внутренние водопроводные сети служат для подачи воды от уличной сети к зданиям и внутри них.

1.9.1. Расчет трубопроводов

Водопроводную сеть проектируют на основе плана архитектурной застройки населенного пункта. При этом важным является конфигурация поселка (т.е. расположение улиц, кварталов, общественных и производственных зданий); расположение наиболее крупных потребителей, к которым необходимо подводить водопроводные магистрали; рельеф местности, от которого зависит место установки водопроводной башни и главных водоводных магистралей, прокладываемых по повышенным отметкам; расположение источников водоснабжения, что определяет место подвода воды к сети; искусственные и естественные препятствия - водные преграды, дороги и прочие пересечения трубопроводов, которые желательно приурочивать к существующим мостам.

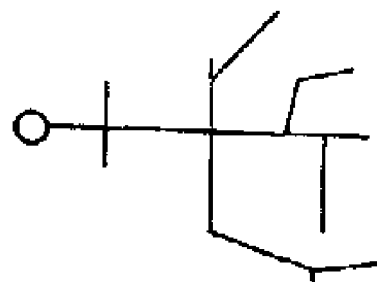


Рис. 79. Тупиковая водопроводная сеть

Разводящие водопроводные сети разделяют на тупиковые (ветвеобразные), кольцевые, комбинированные.

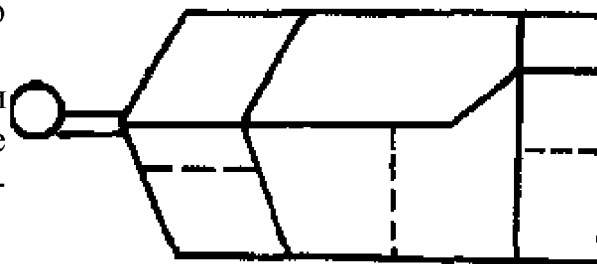


Рис. 80. Кольцевая водопроводная сеть

В тупиковой сети каждая ветвь питается водой только с одной стороны - от вышележащей магистрали (рис. 79). Поэтому тупиковые сети не могут

обеспечить достаточно надежную подачу воды. При повреждении какого-либо участка сети поступление воды во все нижележащие участки прекращается. В них чаще замерзает вода и сильнее проявляется разрушающее действие гидравлического удара. Однако, тупиковые сети дешевле кольцевых, их применяют в сельских населенных пунктах и при подводе воды к отдельно стоящим зданиям. На объектах, где не допускаются перебои в подаче воды, строить тупиковые сети нельзя.

Кольцевые сети. В них трубопроводы образуют один или несколько замкнутых контуров - колец (рис.80). Благодаря кольцеванию каждый участок получает питание от двух или нескольких линий, что повышает надежность. Кольцевые сети обеспечивают бесперебойную подачу воды даже при авариях на отдельных участках, в них не возникает сильных гидравлических ударов, вода в сети не замерзает, поскольку циркуляция не прекращается.

Хотя стоимость кольцевых сетей несколько выше, они больше распространены в водоснабжении. Они полностью отвечают требованиям противопожарного водоснабжения.

Комбинированные сети совмещают кольцевые и тупиковые сети.

Линии водопроводной сети разделяются на магистральные и распределительные. Магистральные линии являются основными артериями, разводящими воду по территории населенного пункта. Распределительные линии получают питание от магистральных.

Расчет трубопроводов включает: выбор скорости движения воды (v), определение диаметров труб (d), определение потерь напора в трубах ($h_{\text{пот.}}$)

1. Скорость движения во всасывающих трубопроводах принимается равной 0,5-1 м/с, в нагнетательных трубопроводах - 1-3 м/с.

2. Площадь (диаметр) трубопроводов определяют по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

3. Расчет потерь напора. Потери могут быть двух видов:

а) потери от трения воды о стенки труб;

Существует несколько способов определения потерь напора от трения воды о стенки труб:

$$h_{\text{пот}} = \lambda \frac{1}{d} \cdot \frac{V^2 2g}{c},$$

где λ - коэффициент потери напора (принимают по таблице Ф.А.Шевелева);

l - длина трубопровода;

d - диаметр трубопровода, м;

v - скорость течения воды, м/с;

Q - расход, м³/с;

g - ускорение силы тяжести, м/с²;

б) местные потери, т.е. потери, возникающие в отдельных местах (задвижки, колена, повороты и

Определение местных потерь напора производится по формуле

$$h_{м.п.} = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} = \xi \cdot \frac{Q^2}{19,62 \cdot F^2}, \text{ где } \frac{v^2}{2g} - \text{скорость напора}$$

Q - расход воды в трубе, м³/с;

F - площадь живого сечения трубы, м²;

ξ - коэффициент местного сопротивления. Определяется по справочнику.

Для всасывающих труб равен 8-10; для колена - 0,5, крана - 0,7; для задвижки - 2; для выхода - 1.

Расчет тупиковой сети складывается из следующих операций:

а) *Построение схемы сети*

Вся сеть разбивается на участки с длиной ℓ (рис.81). При этом исходят из положения, что в тупиковой сети питание ее происходит с одного конца, и вода может быть подана к каждой водозаборной точке лишь с одной стороны. В связи с этим, каждый, участок сети будет проводить по направлению от начальной точки питания к ее конечным точкам расход, равный сумме расходов, отдаваемых водоразборными точками, лежащими за данным участком по направлению движения воды.

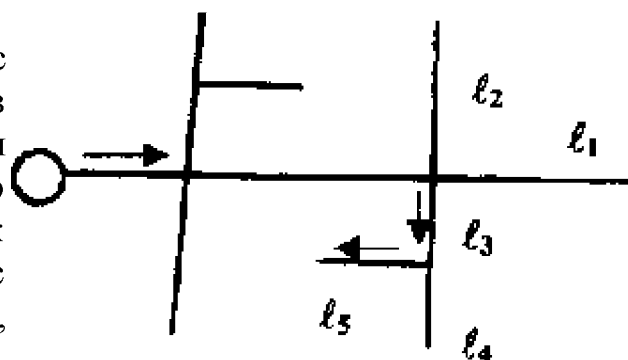


Рис. 81. Пример построения схемы водопроводной сети

б) *Определяются удельные расходы воды*

Учет действительных расходов воды даже для небольших городов или поселков, где число ответвлений может исчисляться сотнями, представляет задачу неосуществимую. Поэтому принимают упрощенную схему водозабора, допуская, что вода расходуется равномерно по длине сети и, следовательно, количество воды, отдаваемое каждым участком, пропорционально его длине.

$$\text{Удельный расход равен } q_{уд} = \frac{Q}{\sum l}$$

где Q - общий расход (отдача) воды сетью, л/с;

$\sum l$ - сумма длин линий, отдающих воду, м.

В сумму $\sum l$ входят длины только магистральных линий, причем в нее не следует включать длины магистралей, которые служат для

транспортирования, а не раздачи воды, например, линии, идущие по незастроенной территории.

Величина удельного расхода в данном населенном пункте неодинакова в различные моменты работы сети; она изменяется в соответствии с графиком водопотребления и следовательно будет различна для отдельных районов. Удельные расходы определяют для каждого района.

в) Определяется путевой расход

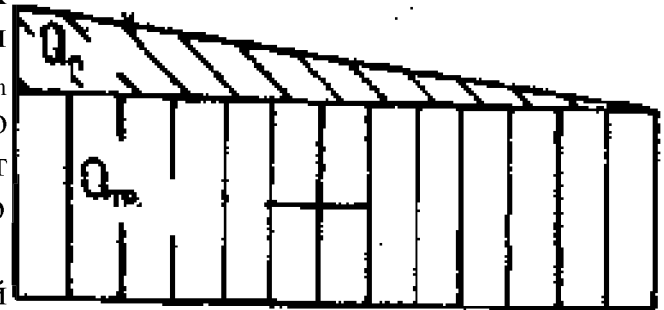
То есть расход, отдаваемый каждым участком $Q_n = q_{уд} \cdot l$. Очевидно, сумма всех путевых расходов должна равняться полному расходу, подаваемому в сеть.

г) Определяется транзитный расход

В начальную точку каждого участка сети подается расход, равный сумме путевого расхода данного участка Q_n и расхода $Q_{тр.}$, идущего транзитным путем через данный участок для питания далее лежащих участков. Через конечную точку данного участка будет проходить только транзитный расход, т.к. его путевой расход будет уже весь роздан - условие разветвления.

Следовательно, во всех промежуточных сечениях участка расход различен и будет находиться в пределах между $Q_n + Q_{тр.}$ и $Q_{тр.}$. Если предположить, что отдача воды потребителям идет равномерно по длине участка, то это изменение расхода может быть выражено

эпюрой



(рис.82).

д) Определяется расчетный расход, проходящий по данному участку $Q_p = Q_{тр.} + \alpha Q_n$

Рис.82. Эпюра водопотребления

где α - коэффициент, зависящий от соотношения величин транзитного и путевого расхода и от степени равномерности по длине фактического отбора воды из линии ($\alpha = 0,5$).

Таковы основные положения, связанные с решением различных вопросов водоснабжения.

ЧАСТЬ 2. ИРРИГАЦИЯ

По данным ЮНЕСКО, население нашей планеты быстро растет и за последние 15 лет возросло на 1/3. В то же время около 75% населения (кроме населения индустриально развитых стран) страдает от голода. Это вызвало постановку исследований потенциальной биологической продуктивности земного шара. И если для увеличения роста продуктивности сельского хозяйства в некоторых странах в первой половине XX века основное внимание уделялось химизации, то во второй половине века - ирригации. На сегодняшний день орошается шестая часть пахотных земель мира (225 млн. гектаров). При этом к орошению прибегают не только в странах с сухим климатом, где без ирригации земледелие практически невозможно, но и в странах с достаточным увлажнением (например, в Англии, Голландии и др.).

Ирригация (орошение) является составной частью мелиорации.

Основной задачей ирригации является получение высоких и устойчивых урожаев сельхозкультур в районах недостатка почвенной влаги путем искусственного увлажнения. Кроме того, что ирригация приобрела большое народно-хозяйственное значение в связи с острой потребностью в увеличении урожайности сельскохозяйственного производства, она призвана освободить сельское хозяйство от вредных воздействий стихийных сил природы и повысить плодородие почвы.

Посредством мелиорации решаются следующие основные хозяйственные задачи:

- увеличение объема сельскохозяйственной продукции за счет освоения и перевода в сельскохозяйственные угодья ранее не используемых земель (болот, кустарников, засушливых территорий и т.д.);

- увеличение объема сельскохозяйственного производства за счет более интенсивного использования имеющихся в хозяйстве земель путем ликвидации временной переувлажненности или засоленности, орошения, коренного улучшения лугов и т.д.;

- создание условий для рационального использования сельскохозяйственной техники и других средств производства путем укрупнения участков обработки, планировки полей и т.д.

Мелиорация в зависимости от задач, которые решаются при ее осуществлении, подразделяется на следующие основные виды:

- сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации, которые направлены на регулирование водного и связанных с ним воздушного, теплового, солевого и питательного режимов почвы или на упорядочение водного режима территории. В свою очередь этот вид включает осушительные, осушительно-увлажнительные и оросительные мелиорации, борьбу с водной и ветровой эрозией почв;

- культурнотехнические мелиорации, которые проводятся с целью создания условий для производительного использования сельскохозяйственной техники и окультуривания корнеобитаемого слоя почвы (расчистка

кустарников, корчевка пней, деревьев, срезка кочек, уборка камня, планировка поверхности, первичная обработка, мероприятия по сохранению и повышению плодородия почв);

агролесомелиорацию, включающую систему мероприятий, которые направлены на изменение почвенных, климатических и гидрогеологических условий биологическими методами путем выращивания тех или иных лесных насаждений;

агрохимические мелиорации, в задачу которых входит улучшение химизма корнеобитаемого слоя почвы путем известкования кислых и гипсования засоленных почв.

Мелиорация имеет большое социальное значение.

Необходимость мелиорации определяется природно-климатическими условиями, уровнем развития общественного производства, ростом населения и потребности общества в продуктах питания и промышленности в сырье. Характер мелиоративных мероприятий меняется в соответствии с потребностями общественного производства. Например, территория Белоруссии не отличается сильной засушливостью, поэтому до последнего времени на ней применялись в основном осушительные системы. Однако необходимость увеличения объема сельскохозяйственного производства (и прежде всего создание устойчивой кормовой базы и обеспечение городского населения дешевыми плодами и овощами) привела к тому, что в настоящее время в республике в больших масштабах строятся оросительные системы, а на переувлажненных землях - осушительно-увлажнительные и осушительно-оросительные. В засушливых районах орошение является основным условием ведения сельского хозяйства.

Орошение было известно человеку с глубокой древности. Остатки плотин и дамб обнаружены в различных частях земного шара на разных континентах. В письменных памятниках мы встречаем многочисленные упоминания о тех или иных сооружениях и о их строителях.

Так, около четырех тысяч лет тому назад процветали три крупных цивилизации: египтян в долине р. Нила, шумеров в Месопотамии и хараппы - в долине р. Инда. По сообщению Геродота египетский фараон Менес прославился строительством столицы Мемфиса и плотины на р. Нил. Следует подчеркнуть, что вся история человечества неразрывно связана с водными системами и ирригационными мероприятиями.

Территория СНГ, равная 22.3 млн. км², характеризуется разнообразием природных зон: от полярных областей до субтропиков. По дефициту влаги в пределах СНГ можно ориентировочно выделить две обширные зоны: засушливую, характеризующуюся постоянным дефицитом влаги, и полувлажную, страдающую от постоянного недостатка влаги. Эта зональность по географическим районам несколько нарушается местными условиями: влиянием океанов, морей, искусственных водоемов, гор, лесов и пр.

К засушливой зоне относится территория Центральной Азии, Казахстана, Закавказья. Внутри этой зоны имеются отдельные районы, которые можно отнести ко второй зоне (например. Черноморское побережье Кавказа, горные долины Казахстана и пр.), которые отличаются более благоприятным климатом.

Полузасушливая зона охватывает территорию юга Украины, Северного Кавказа, районов Средней и Нижней Волги и Урала, северных районов Казахстана, юго-западных районов Сибири, обширных пространств Прикаспийской низменности. В свою очередь, некоторые районы могут быть отсюда исключены и отнесены к первой зоне.

От засухи периодически страдают также центральные черноземные области. В зоне избыточного увлажнения (Белоруссия, Прибалтика, северо-запад России) также бывают засушливые периоды, резко снижающие урожайность сельхозкультур и продуктивность лугов и пастбищ.

Следовательно, основные сельскохозяйственные районы Казахстана и наших партнеров по СНГ в большей или меньшей степени подвержены действию засухи, борьба с которой является важнейшей экономической проблемой.

Искусственное увлажнение земель на территории СНГ проводилось с незапамятных времен. В Средней Азии (в древнем Хорезме) орошение применяли в IX в. до нашей эры, а первые упоминания о них на территории СНГ относятся к XI-XV вв. (Новгород, Москва). Кроме этого занимались и осушением земель. Значительное внимание осушению земель в России стали уделять только во второй половине XIX в. В 1873 г. была учреждена экспедиция по осушению болот. В 1853-1869 гг. на участке учебно-опытного хозяйства Белорусской сельскохозяйственной академии был сооружен закрытый гончарный дренаж, который является одним из первых и старейших в России.

Одновременно с зарождением и развитием культурного земледелия стали проводить и орошение земель. Свидетельством этому являются многочисленные остатки древних оросительных систем в Хакасии (Восточная Сибирь), в долине Амударьи и т.д. Ясно, что трудоемкий ручной труд был преобладающим. С приходом капитализма в сельское хозяйство России ирригационные мероприятия получают развитие на Северном Кавказе, в Поволжье, Барабинской степи и других районах. Российское правительство поддерживало мероприятия по орошению для расширения своих и княжеских владений и для освоения новых территорий. Известно, что в начале 80 гг. XIX века на Руси разразилась жесткая засуха, которая вызвала неурожаи и голод на значительной части страны. В этой связи внимание правительства к ирригации еще более усилилось. Были созданы специальные экспедиции по орошению. Позднее были организованы постоянные службы по развитию мелиоративных мероприятий.

Повторяемость засухи характеризуется такими данными: в XVIII веке - 34 засушливый год, в XIX - 40. В начале XX века засуха повторяется не-

сколько лет подряд: 1905, 1906, 1907 гг. В 1906, 1911, 1921 гг. она поразила огромные посевные площади и имела характер величайшего народного бедствия. Для борьбы с ним в хлопководческих районах началось сооружение крупных ирригационных систем (Мургабской, Голодностепной, Му-ганьской и др.). К этому времени относится и зарождение отечественной мелиоративной науки.

В XIX веке заметно усиливаются практические шаги в области ирригации. В 1913 г. мелиоративные площади на территории России составляли 7,2 млн.га, в том числе орошаемые 4 млн.га и осушаемые 3,2 млн.га. В 1918 г. на проведение ирригационных мероприятий в Туркестане были выделены значительные средства. Решались вопросы поставки необходимых материалов и оборудования, направления специалистов. В Постановлении правительства "О борьбе с засухой", принятом 29 апреля 1921 г., был намечен комплекс агрономических, гидромелиоративных, лесомелиоративных и хозяйственно-экономических мероприятий, обеспечивающих успех борьбы с засухой.

Этап 1928-1941 гг. отмечен строительством крупных оросительных систем, которые сооружались методом народных строек (Вахшская и Голодностепская оросительные системы, Большой Ферганский канал и др.). Так, Большой Ферганский канал протяженностью 275 км, шириной до 30 м и глубиной 4 м был построен в невиданно короткий срок - за 45 дней.

За годы Великой Отечественной войны площади орошаемых земель сократились, однако уже к 1950 г. их восстановление было закончено - 6,7 млн.га.

В 1980 г. мелиоративные сельскохозяйственные угодья составили 30 млн.га, из них 17,3 млн.га орошаемые. С мелиоративных земель колхозы и совхозы получили весь объем производства хлопка и риса, 38% зерна кукурузы, 75% овощей, 21% грубых и сочных кормов и большое количество другой продукции. Занимая в 1980 г. около 10% сельскохозяйственных угодий, мелиоративные земли дали 34% валовой продукции земледелия. Прибавка в общем приросте валовой среднегодовой продукции земледелия за счет мелиорированных земель достигла 70%. Продуктивность орошаемых угодий в 5,8, а осушенных в 1,5 раза выше, чем на немелиорированных землях. Проектами развития народного хозяйства СССР предполагалось к 2000 г. довести площади орошаемых земель до 30-32 млн.га, осушенных - до 19-20 млн.га. Однако состояние сельского хозяйства на сегодняшний день широко известно.

В СНГ площадь орошения составляет порядка 15 млн. га при общей площади пригодных и нуждающихся в орошении земель 140 млн. га, причем 80 % таких земель расположено в Республике Казахстан (данные 1990г.).

2.1. Влияние орошения на почвы и урожайность

Прибавка урожая от поливов - важнейший показатель эффективности орошения. Экономическая сущность орошения заключается в том, что

благодаря повышению плодородия почвы при орошении достигается непрерывное увеличение производства сельхозпродукции.

Об экономической эффективности сельскохозяйственного производства на орошаемых землях (как отмечалось выше) свидетельствует то, что на этих землях, составляющих всего 15 % общей мировой площади обрабатываемых земель, валовой сбор составляет более половины всей сельхозпродукции. Так, в колхозе «30 лет КазССР» Павлодарской области, расположенном в засушливой степи, имеется около 5 тыс. га орошаемых земель (причем подземными водами). Окупаемость массива при этом орошения 1-2 года:

Однако, хотя в целом орошение является важным фактором в интенсификации сельскохозяйственного производства, оно оказывает сильное влияние на характеристики свойств почв, причем оно может быть положительным и отрицательным, т.к. под влиянием орошения происходит следующее изменение свойств почв:

а) почвы под влиянием поливной воды имеют тенденцию к оплыванию и образованию корки, т.е. они из структурных почв переходят в бесструктурные. Это отрицательный фактор, поскольку почва, не имеющая комковатости, хуже для растений;

б) изменяется солевой режим почвы под влиянием испарения с поверхности грунтовых вод. При этом может происходить засоление земель;

в) изменяется механический состав почвы (по крупности отдельных частиц). С одной стороны, изменение состава может происходить за счет вноса в почву частиц, приносимых поливной водой. С другой стороны, изменение механического состава может происходить за счет выноса мелких частиц грунта в нижние горизонты при дренаже. В одних случаях это положительный фактор, в других — отрицательный;

г) изменяются температурные условия почвы, поскольку вода очень теплоемка: весенние поливы согревают почву, а летние - охлаждают. В связи с этим влаготеплоемкость и теплопроводность поливных почв возрастают. В целом, это положительный фактор;

д) изменяется питательный режим почв. Это происходит за счет привноса с поливной водой взвешенных наносов и перевода их в усвояемое для растений состояние. Кроме того, большое значение имеет динамика водно-воздушного режима почв. Для успешного развития культурных растений необходимо, чтобы в почве было оптимальное соотношение воды и воздуха. Изменение этого соотношения определяет водно-воздушный режим почвы. Водно-воздушный режим почвы оказывает большое влияние на тепловой и микробиологический режим ее, т.е. на все основные факторы плодородия почвы и в конечном итоге на урожай сельхозкультур. Он изменяется во времени, зависит от природных условий, климата, водно-физических свойств почвы, деятельности человека и определяется соотношением количества поступающей и расходуемой воды.

Влияние ирригации на окружающую среду, как уже отмечалось, может быть позитивным и негативным. Отрицательное и положительное воздействие чаще всего проявляется одновременно в приложении к различным объектам природы. Нельзя, например, создать на мелиорированных землях условия для выращивания сельскохозяйственных культур и одновременно сохранить болото в первобытном состоянии. Нужно сознавать, что технический прогресс, современное общество с постоянным приростом населения не сможет обойтись без все возрастающего использования природных ресурсов. Конечно, инженерно-хозяйственная деятельность должна происходить разумно, т.е. наряду с экономическими интересами при планировании оросительных мелиораций необходимо учитывать гигиенические, эстетические, научные и др. Основой научно-обоснованного осуществления ирригации является принцип комплексного и рационального использования водных, земельных и других природных ресурсов с учетом интересов различных отраслей народного хозяйства, требований охраны природы и улучшения окружающей среды при максимальном использовании материальных и технических возможностей, имеющихся на конкретный период.

2.2. Содержание исследований при организации орошения

При составлении проектов новых орошаемых массивов должны быть изучены следующие вопросы:

2.2.1. Пригодность почв под посевы сельхозкультур. Почвами с наиболее благоприятными характеристиками являются *черноземы*. Это степные почвы, формирующиеся в континентальном климате, жарким летом, с количеством осадков более 500 мм в год.

Кашиановые почвы - менее плодородны, но при искусственном орошении дают высокие урожаи. Развиты в зоне сухих степей с континентальным климатом, с количеством атмосферных осадков около 300 мм.

Бурые пустынностепные почвы формируются в условиях резко континентального климата с количеством осадков около 150 мм в год. Используются эти почвы главным образом под пастбища, но при орошении пригодны для производства сельхозкультур.

Сероземы распространены в условиях сухого и очень жаркого лета, но влажных зимы и весны. Эти почвы при искусственном орошении отличаются очень высокими и устойчивыми урожаями. На них возделывают хлопок. Возможно засоление.

Солончаки и солонцы в агрономическом отношении не пригодны для сельскохозяйственного использования. Для превращения их в плодородные земли необходимы большие мероприятия, в частности, промывка земель.

Каменистые почвы малоприспособлены для земледелия.

2.2.2. Факторы и показатели гидрогеологических условий
(по Д.М.Кац и др., 1981 г.)

При составлении проекта орошаемого массива должны быть изучены следующие факторы и показатели гидрогеологических условий:

- климатические условия;
- естественная дренированность земель;
- литологический состав, фильтрационные, емкостные и другие свойства пород зоны аэрации, ее водный и солевой режим;
- глубина залегания, минерализация, режим и баланс грунтовых вод и все необходимые параметры зоны насыщения;
- общие гидрогеохимические условия.

Климатические условия. Орошаемые земли могут находиться в следующих климатических зонах: тайги, леса, лесостепи, степи, полупустыни, пустыни и влажных субтропиков.

На основе соотношения среднегодовой суммы выпадающих атмосферных осадков с испаряемостью выделяются различные области увлажнения (табл.11).

Таблица 11

Шкала классификации климата по условиям влагообеспеченности
(по Д.И.Шашко, 1967)

Области и подобласти по типам годового увлажнения	Зоны увлажнения (и соответствующие им природные зоны в умеренном поясе в местах с хорошо выраженной широтной зональностью)	Значение показателя увлажнения в форме отношения			Вероятность различно увлажненных лет (в%)					
		P - Σd	P - f	F - P	сухих	засушливых	полузасушливых	полувлажных	влажных	избыточно влажных
Д. Область достаточного увлажнения (осадки превышают испаряемость или возможное испарение)	Ви. Избыточно влажная (тайга преимущественно на глеево-подзолистых почвах)	>0,60	>1,33	>0,75	0	1	5	10	20	64
	В. Влажная (тайга и лиственные леса на подзолистых и бурых лесных почвах)	0,60-4,45	1,33-1,00	3,75-1,00	0	5	12	21	32	30

Области и под- области по типам годового увлажнения	Зоны увлажнения (и соответствующ- ие им природ- ные зоны в уме- ренном поясе в местах с хорошо выраженной широтной зо- нальностью)	Значение показателя увлажнения в форме отношения			Вероятность различно увлажненных лет (в%)					
		P - Σd	P - f	F - P	сухих	засуш- - лив ых	полу- засуш- пивых	полу влаж ных	влаж ных	избы точно влаж яых
Н. Область (недостаточного {увлажнения [осадки меньше испаряемости]) Подобласти а) слабозасуш- пивая	Пв. Полувлажная (лесостепь) Из. Полузасуш- пивая (типичная степь на обыкновенных черноземах) 3. Засушливая (степь на южных черноземах)	0,45- 0,35	1,00- 0,77	1,00- 1,28	2	11	25	30	24	8
		0,35- 0,25	0,77- 0,55	1,28- 1,80	7	26	40	19	7	1
					18	50	25	6	1	0
б) засушливая	Зо. Очень засушливая (степь на гемно- каштановых почвах)	3,25- 3,2	0,55- 0,44	1,8- 2,25	41	47	11	I	0	0
		0,20- 0,15	0,44- 0,33	2,25- 3,00						
С. Область незначительного увлажнения 'испаряемость значительно превышает осадки, земле- делие возможно только при искусственном орошении за счет стока ме- стных вод)	Сн. Полусухая полупустыня на светло- каштановых почвах) С. Сухая (пустыня на бурых почвах) Со. Очень сухая (пустыня на серо-бурых почвах)	0,15- 0,10	0,33- 0,22	3,00- 4,50	75	24	1	0	0	0
					96	4	0	0	0	0
		0,10- 0,05	0,22- 0,12	>4,5	100	3	0	0	0	0
		<0,05	<0,12							

Примечание. Р-осадки за год; Σd - сумма среднесуточных значений дефицита влажности воздуха за год; f испаряемость за год, вычисленная по формуле $f=0,45\Sigma d$

Климатические зоны различаются не только почвенным и растительным покровом, но и формированием грунтовых вод.

Приведенные климатические зоны и области являются широтными. Однако орошение земель широко развивается и в районах с вертикальной ярусностью климата, почв, растительности и грунтовых вод. Эта поясность проявляется, в частности, в предгорных и горных районах Центральной Азии, Казахстана и Закавказья. Характерное проявление ее в этих регионах - наличие предгорной полупустынной зоны сероземов (сухие субтропики). По мере повышения местности над уровнем моря светлые сероземы сменяются типичными, а последние - темными.

Климатические условия, свойственные областям различного увлажнения, свидетельствуют о различии температуры воздуха, осадков и испаряемости. Это определяет существенные различия в условиях и интенсивности инфильтрационного питания грунтовых вод и их расхода в зону аэрации на пополнение ее влагозапасов, на физическое испарение с поверхности почвы и транспирацию растительностью.

В пустынных и полупустынных районах, где грунты практически не промерзают, возможна круглогодичная инфильтрация. Основная масса осадков (до 70-80%) выпадает в невегетационный период (ноябрь-март).

В степных районах инфильтрация прерывается в периоды промерзания грунтов. Осадки по сезонам года распределены сравнительно равномерно, с тенденцией уменьшения их в период вегетации. Для степных районов характерны значительные годовые колебания метеорологических факторов, в частности, чередование влажных и засушливых лет.

Климатические данные области достаточного увлажнения весьма отличаются от таковых в зонах недостаточного и незначительного увлажнения. Существенны различия в температуре воздуха, осадках.

Внутригодовое распределение осадков различное. Оно может быть сравнительно равномерным по сезонам года, но чаще летние осадки преобладают в теплое полугодие.

Наблюдаются годовые изменения метеорологических элементов, особенно атмосферных осадков. С изменчивостью метеорологических факторов связана периодически возникающая потребность в дополнительном увлажнении почв.

Различия климатических условий определяют разную интенсивность солевых аккумуляционных процессов в поверхностных и грунтовых водах и почвенном покрове (табл. 12). В связи с уменьшением осадков и увеличением испаряемости процессы соленакопления нарастают от лесной зоны к пустынной.

Таблица 12

Характеристика солевых аккумулятивных процессов в Евразии в связи с природными условиями
(по В.А.Ковде, В.В.Егорову)

Природные зоны	Остаточное засоление осадочных пород	Максим апыная минер г/дм³ ализация вод,			Максимальное количество легкорастворимых солей в верхних горизонтах солончаков, %	Наиболее распространенные соли	Засоление орошаемых ПОЧВ
		Озер					
		речных	грунтовых	соленых			
Пустыни	обычно	20-90	200-350	350-4000	25-75	NaCl, KNO ₃ , NaNO ₃ , MgCl ₂ , MgSO ₄ , CaSO ₄ , CaCl ₂	широко распространено
Полупустыни	часто	10-30	100-150	300-350	5-8	NaCl, Na ₂ SO ₄ , CaSO ₄ , MgSO ₄	встречается часто
Степи	редко	3-7	50-100	100-250	2-3	Na ₂ SO ₄ , NaCl, Na ₂ CO ₃ , Na HCO ₃	встречаются редко
Лесостепи	нет	0,5-1,0	1-3	10-100	0,5-1,0	Na HCO ₃ , Na ₂ CO ₃ , Na ₃ SO ₄ , NaSiO ₃	очень редко
Леса	нет	0,1-0,2	0-1	нет	нет	-	-

2.2.3.Рельеф местности имеет решающее значение для составления схемы оросительной сети. Особое внимание обращается на уклон местности (чтобы вода могла двигаться самотеком), изрезанность его, микро рельеф. Все эти компоненты обуславливают объем и направленность планировочных работ и сильно сказываются на стоимости орошаемого массива.

2.2.4.Наличие источников воды для орошения. Разные источники орошения (подземные воды, поверхностные воды) обуславливают схему оросительной сети, способов полива, агротехнические способы сельскохозяйственного производства.

2.2.5.Экономический фактор. Определяет народно-хозяйственную целесообразность строительства оросительных систем на основе анализа совокупности всех перечисленных факторов. Кроме того, намечается выбор сельхозкультур, обеспечение рабочей силы, вопросы энергетики, транспорта, эффективности всего сельскохозяйственного производства.

Остановимся более подробно на наиболее важных вопросах орошения.

2.3. Водно-воздушный режим почв и растений при орошении

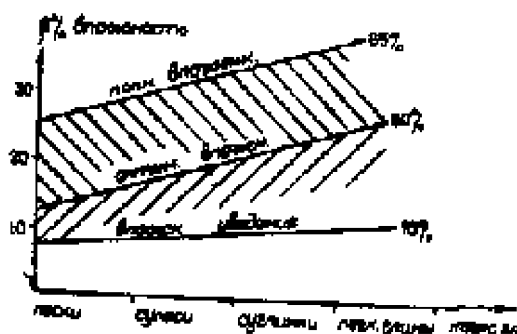
Растения могут нормально развиваться только в том случае, если их клетки постоянно насыщены водой. В то же время для нормальной фотосинтетической работы листья растений должны постоянно соприкасаться с атмосферой и неизбежно испарять значительное количество воды. В связи с этим в почве всегда должен находиться достаточный запас воды. Это основное требование растений к водно-воздушному режиму почвы, на котором оно произрастает. Однако, если бы влажность почвы всегда была близка к ее полной влагоемкости, т.е. если бы все поры почвы заполнить водой, то в почве не осталось бы места для воздуха, который также необходим для нормального развития растений. Это связано с тем, что необходимые для питания растений минеральные вещества откладываются в почве в результате работы аэробных бактерий, разлагающих в почве органическое вещество (удобрения, остатки растений и прочее). Эти бактерии могут жить и работать только в присутствии достаточного количества воздуха. При отсутствии же воздуха в почве быстро размножаются так называемые анаэробные бактерии, которые не разлагают, а наоборот, способствуют накоплению органического вещества в формах, недоступных для питания растений.

Кроме того, приток кислорода необходим для жизнедеятельности самих корней растений.

Таким образом, для нормального развития сельхозрастений в почве должно поддерживаться оптимальное соотношение воды и воздуха.

Существуют следующие пределы изменения влажности (рис.83):

1. *Полная влагоемкость* (верхний предел) Все поры почвы заполнены водой.
 2. *Влажность увядания* (нижний предел) при снижении влажности ниже этого предела вследствие недостатка влаги давление клеточного сока внутри растительных клеток падает, и листья растений увядают. Для различных сельхозкультур и различных почв допустимые пределы влажности почв меняются.



Зависимость между водно-физическими свойствами и водно-воздушным режимом очень велика. В одних и тех же условиях климата почвы, различающиеся по своим водно-физическим свойствам, будут характеризоваться совершенно различным водно-воздушным режимом. При этом важное значение имеет форма (состояние) почвенной воды.

2.3.1. Формы почвенной воды

Различают три основные формы почвенной воды:

1. *Сорбированная вода* (связанная, пленочная) движется в почве под влиянием сил непосредственного взаимодействия молекул воды с поверхностью почвенных частиц.

2. *Свободная вода* (жидкая, капиллярно-гравитационная) - движется в почве под влиянием сил тяжести (гравитационных) или капиллярных сил в зависимости от степени заполнения пор почвы водой.

3. *Парообразная вода* движется в порах почвы, не заполненных жидкой водой, или под влиянием различий в упругости водяных паров в различных частях пор или с потоком воздуха.

Растения потребляют почвенную влагу из всего корнеобитаемого слоя мельчайшими корневыми волосками. Однако корни в этом слое размещены неравномерно. Подавляющая масса их расположена в верхней половине корнеобитаемого слоя. Слой почвы, в котором находится основная масса корневой системы культурных растений, называется *активным слоем почвы*. В процессе вегетации мощность активного слоя увеличивается. У различных культур толщина активного слоя разная: у зерновых культур 0,8-1 м; у овощных - 0,4-0,6 м; у садов и виноградников 0,8-1,5 м.

С ростом активного слоя необходимо увеличивать количество воды на полив и уменьшать число поливов. Чем меньше активный слой, тем меньше требуется воды для его промачивания, но тем быстрее иссушается увлажненный слой и чаще надо его поливать.

2.3.2. Определение запасов воды в почве

Влагозаласы в почве и их изменение во времени оценивают в процессе эксплуатации мелиоративных систем путем периодического определения количества воды, которое содержится в активном слое почвы.

Существуют два способа:

1. $W = 10 \cdot H \cdot \beta b$ мм или
 $W = 10 \cdot H \cdot \beta b$ м³/га

где W - количество воды в почве; H - глубина активного слоя; α - средняя плотность; βb - влажность почвы в % (проц.веса сухой почвы).

2. $W = 0.1 H \cdot P \cdot \beta b$ мм или $W = H \cdot P \cdot \beta b$ м³/га,
где P - пористость в %; βb - влажность почвы в % пористости;

$$P = (1 - \alpha/d) \cdot 100\%$$

где d - плотность почвы;

0.1 - коэф.перевода см³/га в мм, т.к. 10 м³/га дают слой воды в 1 мм.

2.3.3. Регулирование водного режима при орошении

Сельскохозяйственные культуры для нормального развития в течение всего вегетационного периода требуют определенной оптимальной влажности почвы. При пониженной влажности растения увядают, при повышении - страдают от недостатка воздуха. Поэтому для поддержания оптимальной влажности почвы оросительная система должна непрерывно подавать воду в количестве, равном расходу почвенной влаги. Это возможно лишь при автоматизированных системах подпочвенного орошения или при орошении риса постоянным затоплением. При большинстве способов полива почву увлажняют периодически, поддерживая оптимальную влажность в допустимых пределах отклонения в сторону увеличения или уменьшения. Эти отклонения называют пределами увлажнения. Они зависят от ряда условий (свойств почвы, растений, их возраста и пр.). Поливы производят тогда, когда влажность почвы близка или достигла нижнего минимального предела увлажнения.

2.3.4. Резким орошения сельскохозяйственных культур

Под режимом орошения понимается совокупность числа, сроков и норм полива, обеспечивающих требуемый водно-воздушный режим почвы.

Для разработки режима орошения необходимо выяснить:

- 1.Общую потребность данной культуры в воде за вегетационный период.
- 2.Ход изменения потребления влаги данной культуры по фазам развития растений.
- 3.Количество и распределение атмосферных осадков в течение вегетационного периода.

4.Испарение влаги с поверхности почвы и его изменение во времени.

5.Данные о колебании уровня грунтовых вод и о поступлении влаги в корнеобитаемый слой почвы на глубине.

6.Мощность увлажняемого активного слоя почвы к началу вегетационного периода и по фазам развития данной культуры и величину предельной полевой влагоемкости.

7.Запас влаги в активном слое почвы к началу вегетационного периода.

8.Допускаемые нижние пределы запаса доступной для растений влаги в активном слое почвы в разные фазы развития растений.

9.Агротехнику, принятую для данной культуры.

10. Принятый способ полива.

После выяснения перечисленных данных режим орошения устанавливают следующим образом:

1.Определяют мощность активного слоя (Н) на каждую декаду периода вегетации данной культуры. Величина Н зависит от развития корневой системы и постоянно возрастает в течение вегетационного периода (Н для овощных культур - 0.4-0.6; полевых 0.3-0.9; многолетних трав - 0.4-1; садов 0.8-1.5.ч).

2.По данным изысканий определяют максимальную влажность активного слоя почвы в процентах по объему j_8 т.е., равную его предельной полевой влагоемкости, и назначается минимальная влажность активного слоя $j_3 \min$, которая при поверхностном орошении принимается равной для овощной 55-70%, для зерновых 50-60% (от полной влагоемкости). Затем вычисляется запас влаги по формулам (см.2.3.2).

3.По данным метеонаблюдений подекадно вычисляют приход влаги от осадков путем умножения среднего количества осадков, выпадающих за данную декаду на коэффициент поглощения 0.8-0.9. Этот подсчет обычно производят для средне засушливых и сильно засушливых лет, причем суточные осадки менее 5 мм при подсчете не учитываются.

Точно так же по материалам изысканий определяют возможные размеры питания влагой активного слоя за счет грунтовых вод. Она колеблется в широких пределах от 50 до 1800 м /га за вегетационный период, т.е. подекадно определяют расход влаги в активный слой из естественных источников.

4.Определяется оросительная норма, т.е. количество воды, подаваемое на орошение площади 1 га в течение всего вегетационного периода. Она равна сумме поливных норм, т.е. количеству воды, подаваемой за один полив на 1 га, и определяется двумя методами:

а) через транспирационный коэффициент:

$E = K_{тр} V_{сух}$, где $K_{тр}$ - транспирационный коэффициент - равен

отношению количества воды, транспонируемой растениями за вегетационный период к весу сухого вещества, накопленного ими за этот же период.

$K_{тр}$ = пшеница -235; кукуруза - 350; сахарная свекла - 400.

$V_{сух}$ - выход сухого вещества данной культуры в т/га,

тогда $E = m^3/га$;

б) через коэффициент водопотребления $E = E_y V_{прод}$, где E_y - коэффициент водопотребления, т.е. количество воды в m^3 потребное для создания центнера товарной продукции;

$V_{прод}$ - урожай продукта данной культуры в ц/га. Для ориентировочных расчетов принимают данные из табл.13

Таблица 13

Культура	Упрод., ц/га	E_y , м /ц	E , $m^3/га$
Зерновые	30	50-110	1500-3300
Рис	50	140-200	7000-10000
Сах.свекла	450	10-12	4500-54000

5.Общая потребность во влаге, вычисленная по расчетному урожаю и коэффициенту водопотребления, распределяется по декадам периода вегетации.

6.По полученным данным строится график, на котором по оси абсцисс откладывают подекадно календарные даты за период вегетации, а по оси ординат - величину запаса влаги в активном слое почвы в $m^3/га$. На этом графике наносят подекадно значения максимального (W_{max}), минимального (W_{min}) и фактического (W) запаса влаги в активном слое. Значение фактического запаса влаги к началу вегетации получают последовательным прибавлением разности между приходом и расходом влаги за данную декаду.

Для нормального развития сельскохозяйственных культур линия фактического запаса должна располагаться между линиями значений W_{max} и W_{min} . Когда линия фактического запаса приближается к W_{min} , назначается полив, причем норма полива должна быть равна разности значений W_{max} и W_{min} в день полива, которая определяется графически.

При этом вычисленная норма полива делится на коэффициент полезного действия $\eta = 0.9$, поскольку часть воды теряется на испарение и просачивание.

Если график режима полива не строится, то норма полива определяется по формуле

$$m = W_{max} - W_{min} = 10000 \eta P ((\beta_{max} - \beta_{min}) / 100) = 100 \eta P (\beta_{max} - \beta_{min}), m^3/га.$$

где H - глубина активного слоя почвы, м;

P - пористость почвы в процентах от объема.

Практически обычно принимают следующие поливные нормы:

при поверхностном орошении

для зерновых культур 600-750 м³/га;

для сахарной свеклы 600-800 м³/га;

для многолетних трав 500-750 м³/га;

для хлопчатника 500-950 м³/га.

при орошении дождеванием

для овощных культур в
центральных областях СНГ

- 100-300 м³/га;

для овощных пропашных,
зерновых в Южных районах

СНГ-3 00-400 м³/га.

2.4. Качество оросительной воды

вода, употребляемая при орошении, всегда содержит в себе взвешенные твердые частицы (наносы), растворенные соли и газы. Небольшие количества этих веществ не оказывают заметного влияния на орошаемую почву и сельскохозяйственные культуры. Если же содержание в оросительной воде наносов и растворенных солей превышает определенные пределы, то такая вода становится вредной для орошаемых культур или вовсе непригодной.

Существуют различные способы определения качества оросительной воды, пригодность которой оценивают по ирригационным показателям: температуре, минерализации, солевому и химическому составу, содержанию микроэлементов и загрязняющих веществ, санитарно - бактериологическим и гельминтологическим показателям.

2.4.1. Температура воды

Оптимальной температурой поливной воды считается плюс 16° С. -плюс 20° С. Если температура выше плюс 35° С, то такая вода опасна, т.к. может вызвать ожог растений. Подземные воды характеризуются низкой температурой, задерживающей рост растений. Поэтому при использовании таких вод строятся водоемы - накопители, где извлекаемые подземные воды прогреваются под воздействием солнца и теплого воздуха.

2.4.2. Минерализация воды

Является одним из важных ирригационных показателей, отражающих опасность засоления пород. В зависимости от норм полива и дренажности орошаемого массива ее допустимые величины могут изменяться в достаточно широких пределах.

Так, воды с минерализацией до 1,0 г/дм³ пригодны для орошения;

1,0 - 2,0 г/дм³ - опасны с точки зрения засоления земель;

2,0 - 3,0 г/дм³ - весьма опасны; использование их возможно только в порядке исключения на песчаных почвах при хорошей дренажности;

более 3,0 г/дм³ - вызывают засоление земель.

Предельной нормой допустимого общего содержания солей в воде считается 5,0 г/дм³.

При этом орошение водой с минерализацией выше 1,0 г/дм³ предпочтительнее поверхностными способами, т.к. при дождевании происходит интенсивное накопление солей в верхних горизонтах почвы, а откладывающиеся на листьях соли вызывают ожоги, особенно при поливах днем.

Уравнение для оценки предельной минерализации оросительных вод: (предложено Антиповым - Каратаевым)

$$\frac{Ca^{++} + Mg}{Na^{+}} 0,23C,$$

где С - общая минерализация оросительной воды, г/дм³ ; содержание ионов кальция, магния и натрия в воде, ммоль.

2.4.3. Солевой состав

При оценке качества воды большое значение имеют предполагаемые ассоциации анионов с катионами, так называемые гипотетические соли. Пересчет из ионной формы в солевую производится в соответствии с растворимостью солей по правилу Фрезениуса. В первую очередь комбинируются малорастворимые, а затем все более растворимые соли. Общая схема связывания ионов следующая.

Ионы Ca^{++} связываются последовательно с ионами HCO_3^- , SO_4^{--} , Cl в зависимости от его содержания. В такой же последовательности связываются ионы Mg^{++} и Na^{+} . При пересчете необходимо учитывать, что связываются только оставшиеся избытки ионов. Это можно пояснить на следующем примере. Если содержание Ca^{++} меньше содержания HCO_3^- , то следующей после $Ca(HCO_3)_2$ солью будет $Mg(HCO_3)_2$, а не $CaSO_4$. Содержание ионов в расчетах берется в ммоль или в %.

Наиболее вредными считаются соли натрия. Степень вредности этих солей приблизительно характеризуется следующим соотношением весовых величин:

$$Na_2CO_3 : NaCl : Na_2SO_4 = 1 : 3 : 10.$$

Для хорошо водопроницаемых почв принимаются следующие предельные нормы их содержания, г/дм³:

$$Na_2CO_3 - 1,0; NaCl - 2,0; Na_2SO_4 - 5,0$$

При совместном присутствии этих солей в поливной воде нормы снижаются. Для улучшения качества воды с высоким содержанием соды добавляют гипс, который переводит Na_2CO_3 в менее вредный сульфат натрия. Расчет необходимой нормы гипса (X_r) проводится следующим образом:

$$X_r = \frac{P \cdot M}{H} \text{ (г/дм}^3\text{)},$$

где Р - разность между натрием и кальцием в оросительной воде, г/дм³, определяется как

$$P = (Na^+ - Ca^{++}) 20,04$$

М - молекулярный вес гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, который равен 172,16 г; Н - количество Ca^{++} в 172,16 г гипса и составляет 40,08 г.

2.4.4. Химический состав

Наличие в оросительных водах карбонатов и бикарбонатов натрия, хлоридов и сульфатов натрия и магния способствует повышению осмотического давления растворов, нарушает водный режим, минеральное питание, фотосинтез растений.

Имеется ряд методов для определения предельно допустимых концентраций и химизма оросительных вод, учитывающих процессы засоления и осолонцевания почв.

Показатель опасности содового засоления почв по Итону и Вилькоксу

$$NaHCO_3 = (CO_3^- + HCO^-)(Ca^{++} + Mg^{++}),$$

где концентрация ионов в ммоль.

При полученных значениях менее 1,25 ммоль - вода не опасна; 1,25 - 2,5 ммоль - пригодна; более 2,5 ммоль - непригодна.

Показатель опасности осолонцевания почв

Me mod Ст еблера. Заключается в определении щелочного ирригационного коэффициента (К) для каждого типа вод по следующим формулам:

$$K = \frac{288}{5eCl^-} \text{ (тип воды I II при } eNa^+ < eCl^-, \text{ присутствует хлорид}$$

натрия);

$$K = \frac{288}{eNa^+ + 4eCl^-} \text{ (тип воды I II при } eCl^- < eNa^+ < eCl^- + eSO_4^{--},$$

присутствует хлорид и сульфат натрия);

$$K = \frac{288}{10eNa^+ - 5eCl^- - 9eSO_4^{--}}$$

где е означает, что соответствующий ион выражен в ммоль.

Величиной К определяется качество воды:

К > 18 - хорошее;

от 18 до 6 - удовлетворительное;

от 5,9 до 1,2 - неудовлетворительное

и при К < 1,2 - плохое.

Существует следующее определение ирригационного коэффициента, как высота столба воды в дюймах, при испарении которой происходит засоление почвы на глубину 1,2 м.

Метод А. М. Можейко и Т. К. Воротника. В соответствии с этим методом предлагается следующее отношение:

$$\frac{(Na^{+} + K^{+}) \cdot 100}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^{+} + K^{+}},$$

где концентрация ионов в ммоль,

В случае, если этот показатель: менее 66% - вода не опасна; 66 - 75% - опасна и выше 75% - весьма опасна по возможности осолониевания почв.

Метод М. Ф. Буданова. Опасность осолонцевания определяется по следующим отношениям:

- 1) $\frac{Na^{+}}{Ca^{++}} \leq 1,$
- 2) $\frac{Na^{+}}{Ca^{++} + Mg^{++}} \leq 0,7,$
- 3) $\frac{Na^{+} + K^{+} + Ca^{++} + Mg^{++}}{Ca^{++} + Mg^{++}},$

где концентрации в ммоль.

В первых двух отношениях осолонцевания почв не будет при соблюдении указанных критериев. В третьем отношении при значениях: менее 4 - вода пригодна для орошения почв любого механического состава; при 4 - 5 - для орошения легкосуглинистых почв, а при 5 - 6 - только на супесчаных почвах.

Метод натриевого адсорбционного отношения (SAR). В основу этого метода положена степень активности натрия к обменным реакциям при взаимодействии оросительной воды с почвой и определяется по формуле

$$SAR = \frac{1.414Na^{+}}{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}},$$

где концентрация ионов в ммоль.

В соответствии с этим методом разработана классификация оросительных вод, приведенная в табл.14.

Таблица 14

Классификация оросительных вод

Общая минерализация. г/дм ³	Опасность засоления почв	Опасность осолонцевания почв (SAR)			
		низкая	средняя	высокая	очень высокая
< 1	низкая	8-10	15-18	22-26	26
1-2	средняя	6-8	12-15	18-22	22

Общая минерализация, г/дм ³	Опасность засоления почв	Опасность осолонцевания почв (SAR)			
		низкая	средняя	высокая	очень высокая
2-3	высокая	4-6	9- 12	14-18	18
> 3	очень высокая	2-4	6-9	11-14	14

Также используется «выверенное» натриевое адсорбционное отношение (SAR*) с учетом влияния резервов кальция:

$$SAR = SAR(9.4-P),$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

где величины P_1 , P_2 , P_3 находятся по табл. 15.

При P больше 8,4 в почве создаются условия, благоприятные для растворения карбонатов при фильтрации поливной воды за счет смещения карбонатного равновесия; при P меньше 8,4 появляется тенденция к выпадению в осадок карбонатов.

Таблица 15

Определение P_1 , P_2 , P_3

$Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+$, ммоль	P_1	$Ca^{++} + Mg^{++}$, ммоль	P_2	$Ca^{++} + HCO_3^-$, ммоль	P_3
0,5	2,11	0,05	4,6	0,05	4,3
1,0	2,13	0,1	4,3	0,1	4,0
2,0	2,16	0,2	4,0	0,2	3,7
5,0	2,22	0,5	3,6	0,5	3,3
10,0	2,27	1,0	3,3	1,0	3,0
20,0	2,35	2,0	3,0	2,0	2,7
30,0	2,4	5,0	2,6	5,0	2,3
50,0	2,48	10,0	2,3	10,0	2,0
70,0	2,53	20,0	2,0	20,0	1,7

При SAR менее 6 осолонцевание не ожидается в случае, если оросительная вода имеет минерализацию не более 1 г/дм³; при SAR = 6-9 возможно накопление солей в почве; при SAR более 9 может произойти осолонцевание почв. Уменьшение SAR возможно путем внесения в оросительную воду кальция. Для предотвращения отрицательного воздействия оросительной воды на почвы она должна содержать не менее 20 мг/дм³ кальция.

Следует также иметь в виду, что содержание ионов магния по отношению к сумме ионов кальция и магния не должно превышать 50 %.

Значительную угрозу для растений представляют ионы хлора, при избыточных количествах которых листья растений «сгорают», что особенно проявляется при поливах дождеванием. На суглинистых и глинистых почвах в оросительной воде содержание хлор - иона должно быть не более 0,14 - 0,35 г/дм³, супесчаных и песчаных почвах до 0,7 - 1,0 г/дм³

2.4.5. Содержание микроэлементов

Оценка качества оросительной воды по микроэлементам может производиться по классификации Международной организации по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (ФАО), где в качестве нормативных показателей приняты предельно допустимые концентрации (ПДК) микроэлементов (табл.16).

В связи с этим возможно рассчитать ПДК микроэлементов с учетом допустимого содержания их в воде по формуле

$$ПДК_0 = \frac{ПДК_B \cdot B}{O},$$

где ПДК₀ — предельно допустимая концентрация микроэлементов в оросительной воде, мг/дм³; ПДК_В — предельно допустимая концентрация микроэлементов в воде хозяйственно-питьевого назначения, мг/дм³; В — средневзвешенная по севообороту величина водопотребления сельскохозяйственных культур, м.куб./га; О — средневзвешенная по севообороту величина оросительной нормы, м.куб/га.

Таблица 16

Классификация ФАО по ПДК

Ингредиенты	ПДК для оросительной воды, мг/дм ³
Си (медь)	0,2
Zn (цинк)	2,0
Mn (марганец)	0,2
Ni (никель)	0,2
Pb (свинец)	5,0
Cr (хром)	0,1
F (фтор)	1,0
Cd (кадмий)	0,01
As (мышьяк)	од
Co (кобальт)	0,05
Hg (ртуть)	нет
Fe (железо общее)	5,0
B (бор)	нет
Sr (стронций)	нет
Mo (молибден)	0.01
Al (алюминий)	5,0
Se (селен)	0,02
Ba (барий)	нет
Be (бериллий)	0.1
Li (литий)	2,5
V (ванадий)	0.1

*В классификации ФАО содержание бора оценивается по специальной шкале, учитывающей устойчивость к бору сельскохозяйственных растений.

Оценка качества оросительных вод по бору

Категория	Чувствительность растений к бору, мг/дм ³		
	сильная	средняя	слабая
Прекрасная	менее 0,33	менее 0,67	менее 1,00
Хорошая	0,33 - 0,67	0,67 - 1,33	1,00-2,00
Допустимая	0,67 - 1,00	1,33-2,00	2,00 - 3,00
Сомнительная	1,00 - 1,25	2,00 - 2,50	3,00 - 3,75
Непригодная	более 1,25	более 2,50	более 3,75

2.4.6. Основные требования к составу сточных вод

Зачастую для орошения используются очищенные хозяйственно-бытовые, производственные и смешанные сточные воды. Качественный состав этих вод должен соответствовать агромелиоративным, санитарно-гигиеническим и ветеринарным требованиям.

Количество и размеры взвешенных частиц и механических включений, содержащихся в сточных водах, должны соответствовать техническим требованиям насосов, трубопроводов и поливной техники. Так, для дождевальной техники эти требования следующие (табл. 18):

Таблица I 8

Взвешенные вещества поливной воды

Взвешенные вещества поливной воды	Марки дождевальных машин							
	среднеструйные					короткоструйные	дальнеструйные	
	«Волжанка»		ДФС -120	«Фрегат»		ДДА-100М	ДДН-70	ДДН-100С
	ДКШ	ДКН-80		ДМУ	ДМУ Ас			
Допустимый размер, мм	1	10	1,5	1	2,5	1	15	15
Допустимое количество, г/дм ³	5	20	5	5	10	5	20	20

При определении пригодности сточных вод по химическому составу необходимо учитывать природные условия участка, режим орошения и биологические особенности выращиваемых культур.

Содержание микроэлементов при использовании сточных вод должно соответствовать требованиям, изложенным выше.

Содержание основных питательных веществ (азот, фосфор, калий) следующее: азот общий, мг/дм³ - 50 - 120; фосфор - 10 - 30 мг/дм³; калий - 50 - 150 мг/дм³ (недостаток макроэлементов восполняется минеральными удобрениями, исходя из потребности культур).

Допустимая концентрация биогенных веществ и элементов в поливной

воде уточняется в каждом конкретном случае. Для азота, фосфора и калия допустимую концентрацию (C , мг/дм³) с учетом выноса их с урожаем выращиваемых культур определяют по формуле

$$C = \frac{B \cdot 1000}{M \cdot K},$$

где B - средневзвешенная по севообороту величина выноса элементов урожаем, кг/га (в условиях орошения); M - оросительная норма, м.куб/га; K - коэффициент усвоения (для азота 0,6 - 0,8; для фосфора и калия 0,8 - 1,0).

Вынос питательных веществ из почвы принимается по данным агрохимлабораторий. Ориентировочный вынос приведен в табл.19.

Таблица 19

Ориентировочный вынос азота, фосфора и калия с урожаем основных культур

Культура	Основная продукция	Вынос питательных веществ на 1 т в редукации, кг		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Зерновые	Зерно	25-30	11-14	22-29
Кукуруза	Зеленая масса	4	2	5
Подсолнечник	Зеленая масса	5	3	15
Свекла	Корнеплоды	6	2	8
Травы	Сено	26	7	15

Пригодность оросительной воды по загрязняющим веществам оценивается по шкалам, принятым странами СНГ (табл.20).

Таблица 20

ПДК загрязняющих веществ в поливных водах

Вещества	ПДК в поливной воде, мг/дм ³
NO ₃ (нитраты)	30-100
NO ₂ (нитриты)	0,5
NH ₄ (аммоний)	30-150
фенол	40 - 400
нефтепродукты	0,3-100
Вещества	ПДК в поливной воде, мг/дм ³
детергенты (СПАВ)	20-50
цианиды	1,5-1,0
роданиды (тио-цианаты)	2,0

2.4.7. Пригодность воды по санитарно-бактериологическим показателям

Качество сточных вод по санитарно-бактериологическим и гельминтологическим показателям определяется по табл.21

Таблица 21

Санитарно-бактериологические показатели

Показатели (индексы в 1 дм ³)	Допустимые пределы (не более)
Число ЛКП (лактоиоположительных кишечных палочек)	1000
Число бактерий Коли, (Коли - индекс) кишечных палочек	1000
Патогенные микроорганизмы (по эцидшжазаниям)	нет
Жизнеспособные яйца гельминтов	нет
Жизнеспособные цисты простейших (цисты дезинтерийной амебы, лямблий)	0,25

2.4.8. Наносы

Зачатую для орошения применяют воды естественных водоемов и водотоков. В них содержится большое количество наносов (табл.22). Решающее значение для орошения имеют размеры частиц наносов. Мельчайшие частицы ила (<0.005-0.001) являются ценным удобрением, а поэтому содержание их в воде полезно. Однако без примеси более крупных частиц этот мельчайший ил вмывается при орошении в поры почвы и закупоривает их, вследствие чего сильно ухудшаются физические свойства почвы.

Таблица 22

Реки	В половодье	В межень
Аму-Дарья	5 кг/м	0,4
Сыр-Дарья	1,4	0,27
Волга (низовье)	0,2 - 0,5	0,01 -0,05

В частности, это ведет к образованию плотного водонепроницаемого горизонта.

Более крупные частицы имеют небольшое удобрительное значение (0,15 - 0,005 мм), но они, отлагаясь в порах почвы, являются скелетным материалом, который в значительной мере предотвращает заиливание почвы мельчайшим илом, т.е. наличие крупных частиц в воде также полезно.

Еще более крупные частицы (> 0.15 мм), которые не представляют удобрительной ценности, легко осаждаются при уменьшении скоростей движения воды в каналах, вызывают их заиливание и поэтому их наличие в оросительной воде вредно.

2.4.9. Газы

В 1 м³ воды содержится около 20 см³ CO₂, 15-20 см³ N₂, 8-12 см³ O₂. Все эти газы имеют определенную ценность при орошении.

Как уже указывалось, одной из задач орошения является регулирование теплового режима почвы; оросительная вода должна согревать холодную почву и охлаждать сильно нагретую. Но и в этом последнем случае большая разница температур почвы и оросительной воды вредна для сельскохозяйственных культур, а поэтому при всех условиях орошать следует возможно более теплой водой.

2.5. Оросительная система и ее составные части

Оросительная система - это система оросительных каналов и гидросооружений, обеспечивающих забор воды из источника, транспортировку и распределение ее между отдельными орошаемыми массивами. Оросительные системы по конструкции разделяют на три основных типа: 1 - открытые (из открытых каналов и лотков); 2 - закрытые (из напорных или безнапорных трубопроводов, заложенных в земле); 3 - комбинированные, в которых основные крупные каналы (магистральные и распределительные) делают открытыми, а мелкие заменяют трубопроводами закрытого типа.

Открытые системы имеют много недостатков, но пока они распространены шире, чем другие.

Основными элементами оросительной системы являются (рис.84):

1. *Источник орошения.* Он должен полностью обеспечить водой орошаемый массив в течение всего вегетационного периода в нужном количестве и требуемого качества (река, озеро, подземные воды).

2. *Водозаборное (головное) сооружение,* с помощью которого поливную воду забирают из источника и подают в магистральный канал.

3. *Магистральный канал (МК)* и его ветви, транспортирующие воду от водозаборного сооружения до распределителей.

Он имеет холостую часть, откуда отходят

4. *Межхозяйственные распределители,* подающие воду из магистрального канала и его ветвей во внутрихозяйственные распределители, подающие воду на севооборотные участки.

Все вышеперечисленные элементы есть постоянная оросительная сеть, которая делается на все время эксплуатации.

5. *Временная оросительная сеть:* она распределяется внутри крупных поливных участков, обслуживаемых данным распределителем. Эта

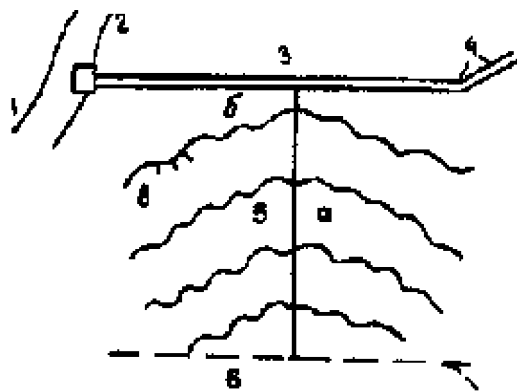


Рис.84. Схема оросительной сети

сеть делается временной, сезонной (с весны до осени). Временная сеть состоит из: а - временных оросительных каналов (расстояние между ними 70-200 м); б - выводных борозд (60-150 м); в - поливных борозд, они подают воду непосредственно растению.

6. Водосборно-сбросная и коллекторно-дренажная сеть

Служит для удаления с орошаемых площадей излишней поливной воды, образующейся при повреждении каналов, при авариях и сильных дождях. Эта сеть проводится по самым низким отметкам массива.

7. Гидросооружения на каналах предназначены для регулирования расходов и уровней подаваемой воды.

2.5.7. Расчет расхода каналов оросительной системы

Расчетные расходы воды в каналах при проектировании оросительных систем установлены следующие: *нормальный, минимальный и форсированный*.

Всю внутрихозяйственную сеть постоянных оросительных каналов рассчитывают на нормальный и минимальный расход брутто. Расход брутто ($Q_{бр}$) состоит из расхода нетто ($Q_{нт}$), который должен быть подан непосредственно на поле, и потерь воды из канала S :

$$Q_{бр} = Q_{нт} + S.$$

Магистральные каналы, кроме того, рассчитывают на пропуск форсированного расхода: форсированный расчетный расход - это расход брутто, увеличенный на коэффициент форсировки K_f :

$Q_f = Q_{бр} K_f$; K_f в зависимости от расхода канала равен при $Q < 1 \text{ м}^3/\text{с}$ - 1.2-1.3; при $Q 1-10 \text{ м}^3/\text{с}$ - 1.15-1.2; при $Q > 10 \text{ м}^3/\text{с}$ - 1.11-1.15.

Потери оросительных каналов учитываются КПД каналов. Это отношение количества воды, поданной на поля $Q_{нт}$ к количеству воды, поступающей в голову данного участка оросительной системы - $Q_{бр}$, определяется

$$\eta = \frac{Q_{нт} t}{Q_{бр} \cdot T} = \left(1 - \frac{\sum S}{Q_{бр}}\right) \frac{t}{T},$$

где $\sum S$ - сумма потерь воды в каждом канале ниже головы рассчитываемого канала;

t - продолжительность производства поливов расходом $Q_{нт}$;

T - продолжительность работы данного канала расходом $Q_{бр}$.

Фактические значения η изменяются от 0.5 до 0.9.

Определение расчетного расхода нетто; все каналы оросительной системы по режиму своей работы подразделяются на две группы: 1 - каналы, работающие непрерывно в течение всего оросительного периода; 2 - каналы, работающие прерывисто.

К первым (т.е. каналам, работающим непрерывно) относятся магистральные каналы, межхозяйственные и хозяйственные распределители..

Групповые и участковые распределители обычно работают поочередно.

Все временные оросители, несущие небольшие расходы и обслуживающие небольшие площади, работают прерывисто.

а) Расчетный расход - нетто Q_{HT} для каналов, работающих непрерывно, с одной стороны, должен быть равен максимальному расходу, определенному из укомплектованного графика поливов; с другой стороны, должен быть равен сумме расходов одновременно работающих каналов низшего порядка, питаемых данным каналом,

$$Q_{HT} = Q_{\max}^{xoz} = \sum Q_{HT}^y$$

где $Q_{\max}^{xoz}$ - максимальная ордината укомплектованного графика поливов всего участка;

$\sum Q_{HT}^y$ - сумма расчетных расходов-нетто одновременно работающих участковых распределителей;

б) расчетный расход - нетто участкового распределителя, работающего с перерывами,

$$Q_{HT}^y = \frac{a \cdot W_{уч} \cdot m}{864 \cdot t} = aN \frac{r}{t} Q_{HT}^{BP.O.},$$

где $W_{уч}$ - площадь, обслуживаемая данным участковым распределителем, га;

a - часть площади, подлежащая поливу за период времени t суток при норме полива t , м³/га;

$Q_{HT}^{BP.O.}$ - расчетный расход-нетто временных оросителей на данном участковом распределителе;

r - продолжительность работы временного оросителя в сутках.

Расчетный расход-нетто временного оросителя $Q_{HT}^{BP.O.} = \frac{m \cdot W_{BP.O.}}{86,4r}$ л/с,

где $W_{BP.O.}$ - площадь участка, поливаемого из данного временного оросителя.

Входящие в формулу величины a , m , t определяются по проектному режиму орошения и по укомплектованному графику поливов.

Используя величину КПД (η), расход-брутто распределительного канала равен $Q_{распр}^{брутто} = \frac{m \cdot w}{86,4 \cdot \eta}$ л/с.

в) Расход магистрального канала (работает постоянно) равен

$$Q_{МК}^{нетто} = q_0 \cdot F,$$

где q_0 - оросительный гидромодуль л/с;

F - общая поливная площадь, га.

$$Q_{\text{МК}}^{\text{брутто}} = \frac{q_0 \cdot F}{\eta_{\text{МК}} \cdot \eta_{\text{рас}}}.$$

Зная расход, можно определить сечение канала F по формулам $Q=F \cdot V$;

$$V = c\sqrt{RJ}$$

где c - коэффициент Шези; R - гидравлический радиус; J- уклон.

2.5.2. Расчет фильтрационных потерь

Потери воды из оросительных каналов происходят: 1 - на фильтрацию через дно и откосы каналов; 2 - на испарение с поверхности воды; 3 -на утечку при эксплуатации оросительной сети.

Потери на испарение не превышают 4-7 % от потерь на фильтрацию и при расчете каналов не учитываются.

Потери зависят от водонепроницаемости грунтов, по которым проходит канал, длины его и расхода воды, проходящей по этому каналу, и могут быть определены несколькими способами.

1. По таблицам:

Таблица 23

Расход канала в м ³ /с	Потери в % от расхода на 1 км
0,03	16
1	4
50	0,20
300	0,02

2. По формулам академика А.Н.Костикова;
 для легких грунтов $q=0.034 \cdot Q \cdot 0,5 \cdot I \cdot m^3/c$;
 для средних грунтов $q=0.019 \cdot Q \cdot 0,6 \cdot I \cdot m^3/c$; для тяжелых грунтов $q=0.007 \cdot Q \cdot 0,7 \cdot I \cdot m^3/c$, где q - удельные фильтрационные потери; Q - расход канала; I - длина канала.

3. По формуле В.В.Ведерникова (на 1 м длины канала для случая глубокого залегания подземных вод)

$$q = K(B_0 + A \cdot h_0),$$

где K - коэффициент фильтрации пород;
 B_0 - фактическая ширина канала по урезу воды (рис. 85);
 h_0 - высота воды в канале;
 A - коэффициент бокового растекания, определяемый по графику в зависимости от крутизны заложения стенок канала (m) и отношения $\frac{B}{h}$ (рис. 86).

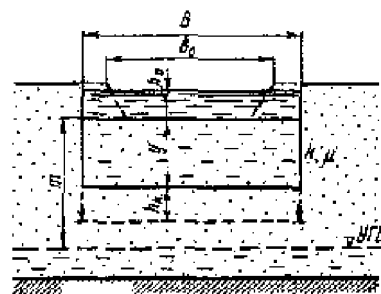


Рис.85. Расчетная схема вертикально нисходящей фильтрации из канала

$$m = \text{ctg} \beta$$

где β - угол наклона стенок канала.

4. По приближенной формуле Н.Н. Павловского (для случая глубокого залегания подземных вод) $q = K(B + 2h)$.

5. По формуле С.А. Гиршкана

$$q = 0.063 \cdot K_{\phi} \cdot \sqrt{Q}$$

6. По формуле Н.Н.Биндемана (для случая близкого залегания грунтовых вод)

$$q = \frac{2}{3} \alpha h_k \sqrt{\frac{2K\mu Hk}{T}}$$

где α - коэффициент, находимый из графика (рис.87);

h - мощность водоносного пласта; h_k - глубина воды в канале; K - коэффициент фильтрации; μ - недостаток насыщения пород; Hk - высота уровня воды в канале над поверхностью подземных вод; T - время смыкания фильтрационных и подземных вод.

Обычно большие фильтрационные потери в каналах наблюдаются в начале эксплуатации, пока он не успел закальматироваться. Впоследствии за счет кольматации пор потери уменьшаются.

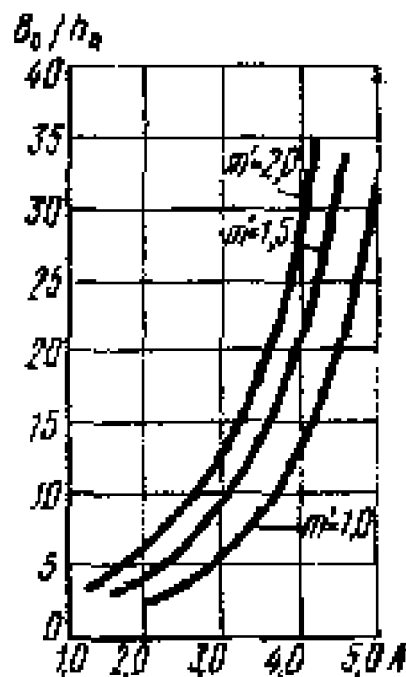


Рис.86. График для определения значения коэффициента бокового растекания

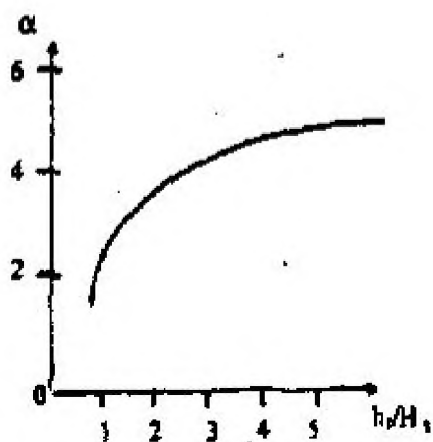


Рис. 87. График для определения коэффициента α

2.5.3. Меры борьбы с потерями оросительной воды могут быть подразделены на конструктивные, связанные с техникой строительства оросительных каналов, и эксплуатационные. К конструктивным мерам относятся:

1. При трассировке оросительных каналов по возможности избегают пересечения линии трассы участков с водопроницаемыми фунтами.

2. Принимается наиболее выгодное для уменьшения фильтрации соотношение между шириной канала по дну (b), его глубиной (h) и коэффициентом заложения откоса (m) по формуле

$$b = 2h(\delta\sqrt{1+m^2} - m),$$

где δ - коэффициент (1.1-1.4), зависящий от капиллярных свойств грунтов.

3. Постоянные оросительные каналы одевают антифильтрационной одеждой (бетон, асфальт, силикатные покрытия и пр.). Ко всем видам антифильтрационной одежды каналов предъявляют следующие требования: 1 - достаточная водонепроницаемость; 2 - достаточная прочность и долговечность, устойчивость против воздействия температурных изменений и против прорастания сорной растительности; 3 - возможность повышения расчетной скорости в канале.

Эксплуатационные меры борьбы с фильтрационными потерями предполагают:

1. *Рациона льны и водооборот*, при котором работает минимальное число каналов; 2. *Своевременный ремонт*ы очистки оросительной сети; 3. *Недопущение* изменений форсировки каналов и работы их при большом наполнении; 4. *Борьбу с бесполезными сбросами* путем четкого налаживания эксплуатации оросительной системы.

2.5.4. Лотковая и трубчатая оросительные сети уменьшают потери воды на фильтрацию, повышают КПД системы и производительность труда. Лотковую сеть применяют в сложных топографических и геологических условиях; на участках, где по трассам каналов залегают скальные, фильтрующие и просадочные грунты; на участках, проходящих в насыпи. Лотковую сеть собирают из отдельных железобетонных лотков - блоков разнообразного сечения с толщиной стенок 5-8 см и длиной 2-9 м. Глубина их от 30 до 180 см. Стыки лотков герметизируют.

Каналы-лотки применяют при расходах до 5 м³/с. Лотки прокладывают по наибольшему уклону местности для уменьшения их поперечного сечения.

Воду через трубчатую оросительную сеть подают или путем использования естественного напора, создаваемого уклоном местности, либо с помощью насосных станций. Трубчатые оросительные системы создают условия для применения автоматизации процесса полива.

2.5.5. Способы орошения. В зависимости от характера поступления поливной воды в почву все способы орошения можно разделить на три вида: 1, *Поверхностный способ* самотечного орошения, при котором поливная вода равномерно распределяется на поливном участке с помощью борозд, полос или отдельных, хорошо выровненных площадок (так называемых чеков). 2. *Орошение дождеванием*, при котором поливная вода с помощью специальных аппаратов выбрасывается в воздух, дробится на капли и в виде дождя падает на растения и почву - это наиболее прогрессивный способ орошения (рис.88).

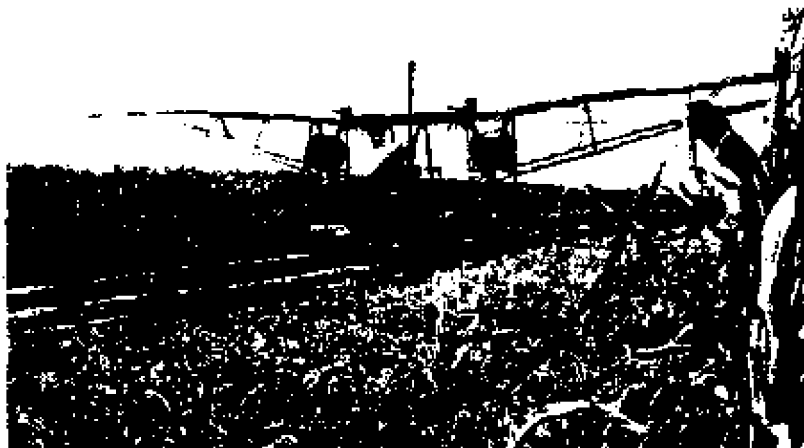


Рис. 88. Широкозахватная дождевальная машина DDA-100M. (Павлодарская обл., клх. "30 лет КазССР")

3. *Подпочвенное орошение*, при котором корнеобитаемый слой увлажняется водой, поступающей из специальных увлажнителей, проложенных на глубине 0.6-0.8 м от поверхности почвы.

Наиболее распространен поверхностный способ орошения, подпочвенное орошение пока применяется редко, поскольку находится в стадии совершенствования; дождевание с каждым годом все шире находит применение.

Каждому способу полива соответствует своя проводящая и регулирующая сеть и своя техника полива. Техника полива - это комплекс мероприятий и сооружений, с помощью которых проводят тот или иной способ полива.

При выборе способа полива учитываются: 1 - хозяйственные и природные требования; 2 - характер орошаемых культур; 3 - условия механизации и агротехники; 4 - рельеф, микрорельеф и уклон поля; 5 - глубина залегания подземных вод; 6 - свойства орошаемой почвы (влагоемкость, водопроницаемость, минерализация); 7 - источник воды для орошения.

2.6. Источники воды для орошения

В качестве источника орошения используются воды рек, озер и водохранилищ, подземные воды, сточные воды.

При использовании для орошения того или иного водисточника необходимо знать его следующие характеристики:

1) *режим источника* как сезонный, так и многолетний. При проведении изысканий выясняют полную характеристику источника, изменение уровней, расходов, мутность и минерализацию воды за ряд лет, а также высотное положение и его топографию. Эти данные позволяют установить возможную площадь орошения, потребность в регулировании режима источника, способ подачи воды и конструкцию водозаборного сооружения;

2) *суммарное количество воды*, даваемое источником за оросительный период и за год, его колебание по годам. Количество воды в источнике должно быть полностью достаточным для работы оросительной системы в течение всего орошаемого периода. Если в отдельные периоды расход воды в источнике меньше, чем требуется для поливов, то его режим необходимо согласовать с режимом орошения. Это также необходимо для наиболее полного использования источника.

Согласование режима орошения с режимом источника может быть достигнуто путем снижения расходования затрат воды на орошение (за счет уменьшения потерь воды на фильтрацию, применение закрытой трубчатой сети, поливов без сброса малыми поливными нормами, применение полива дождеванием, строгого выполнения плана водопользования), а также путем регулирования режима источника и дополнительного питания оросительной системы из водохранилищ.

Под регулированием режима источника понимают искусственное перераспределение его расходов во времени путем устройства специальных емкостей. В зависимости от продолжительности накопления воды и ее использования различают суточное, сезонное и многолетнее регулирование.

Суточное регулирование применяют при орошении подземными водами. Сущность его заключается в том, что в ночное время, когда поливы не проводят, воду из скважин подают в специальный резервуар, т.н. регулирующий бассейн. В дневное время воду на полив забирают одновременно из скважин и из бассейна. Суточное регулирование позволяет проводить поливы большой поливной струей, с высокой производительностью труда на поливе, полностью использовать всю воду источника для орошения, увеличивая тем самым его оросительную способность.

Сезонное регулирование предусматривает перераспределение стока и его потребление в течение одного года. В весенний период вода за счет снеготаяния (паводка) накапливается в водохранилищах, а в летний подается на орошение и другие нужды. Весь цикл проходит за один год.

При многолетнем регулировании воду накапливают в многоводные годы, а используют ее в маловодные, засушливые годы. Весь период длится несколько лет.

3) *Положение горизонтов воды* в источнике орошения по отношению к орошаемой территории, по высоте и дальности источника от орошаемой территории.

4) *Качество воды в источнике орошения* (наличие взвешенных наносов и растворенных солей)

Зная эти характеристики источников орошения, можно установить: 1) размеры площади, которую возможно оросить за счет данного источника; 2) необходимость регулирования режима источника орошения; 3) характер оросительной системы (самотечная или с механическим подъемом); 4) необходимость борьбы с наносами в оросительных каналах.

5) *Оросительная способность источника* показывает площадь, которую можно оросить забираемой из него водой. Она равна

$$w = \frac{Q}{q} \eta,$$

где w - площадь, которую можно полить из данного источника, га; Q - расход забираемой на орошение воды, л/с;

q - расчетная ордината укомплектованного графика гидромодуля, л/с: - проектный КПД системы.

Если источник - пруд, то оросительную способность его рассчитывают по формуле

$$w = \frac{V_{OP}}{M_{OP}}$$

где V_{OP} - объем воды в водохранилище, предназначенный для орошения, м³;

M_{OP} - средневзвешенная оросительная норма, м³/га.

2.6.1. Орошение подземными водами

Длительный опыт использования подземных вод для орошения существует во многих странах аридного пояса (Запад США, Индия, КНР и др.; см. табл. 24).

В США подземными водами орошается 9,8 млн.га, причем в западных штатах доля подземных водоисточников составляет 45-50%, а в северных и южных - 71-82%. В одной только Калифорнии пробурено 100 тысяч скважин, из которых за вегетационный период извлекается до 17-18 млрд.куб. м воды. Эксплуатация подземных вод в ряде районов значительно снизила уровень грунтовых вод, что позволило предотвратить вторичное засоление земель и улучшить их мелиоративное состояние.

Страна	Площадь орошаемых земель, тыс.га	
	Общая	Подземными водами
США	21489	9800
Мексика	3778	927
Алжир	300	200
Ливия	167	167
Индия	38969	10930
Пакистан	12400	1750
Иран	3000	1750
Турция	1724	23

Очень широко используются подземные воды в Индии, с помощью которых орошается до 10,9 млн.га земель. В Австралии, находящейся в таких же условиях как и Казахстан, для обводнения и орошения эксплуатируется около 800 м³/с, в Иране - 650 м³/с, в ФРГ - 200 м³/с, в Японии - 800 м³/с и т.д. Рентабельность использования подземных вод при этом весьма высока. Однако следует учитывать, что по принятому еще в СССР, а затем в суверенном Казахстане водному законодательству пресные подземные воды вследствие лучшей по сравнению с поверхностными водами защищенностью от загрязнения и меньшей подверженностью их ресурсов и качества сезонным и многолетним колебаниям должны прежде всего использоваться для питьевых и хозяйственно-бытовых целей. В связи с этим эксплуатировать подземные воды питьевого качества для целей орошения разрешается только в тех случаях, когда ресурсы подземных вод превышают не только существующую, но и далекую перспективную потребность в воде для хозяйственно-питьевых целей (Методические указания по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям питьевых и технических вод, 1997, ГКЗ РК). В научной литературе эти положения интерпретируются и развиваются.

Так, например, узбекские ученые - гидрогеологи С.Ш.Мирзаев и Х.И.Валиев выдвигают следующие положения:

1.Если потребности водоснабжения и обводнения пастбищ на перспективу составляют 75% и более имеющихся запасов подземных вод, то их месторождение относят к категории неперспективных для эксплуатации на орошение и "бронированию" для водоснабжения.

2.Если потребность водоснабжения и обводнения пастбищ составляет на перспективу менее 75% их запасов, то месторождение подземных вод считается перспективным.

3.Минерализация подземных вод не должна превышать 5 г/дм³. При использовании подземных вод с более высокой минерализацией необходимо их разбавление поверхностными водами.

4.Месторождения подземных вод, запасы которых не позволяют отобрать для орошения сосредоточенным водозабором более 0,1-0,2 м³/с воды

независимо от минерализации, относятся к неперспективным для эксплуатации в целях орошения.

В ряде случаев использование подземных вод в целях оросительных мелиораций предпочтительнее поверхностных. Одним из важнейших обстоятельств является то, что в ряде районов с неглубоким от поверхности земли залеганием уровня подземных вод их интенсивная эксплуатация может заметно улучшить гидрогеолого-мелиоративные условия орошаемых и прилегающих к ним территорий благодаря снижению уровня и уменьшению расходования грунтовых вод на внутригрунтовое испарение. Это не только создает условия для прекращения естественного засоления земель, которому характерен затрудненный отток подземных вод, но позволяет также предупредить вторичное засоление, связанное с орошением и подъемом уровня подземных вод, вызванное им. Снижение уровня при этом будет особенно заметно при эксплуатационном водоотборе из грунтовых водоносных горизонтов. Однако и при эксплуатации напорных вод, подпитывающих в естественных условиях грунтовые, дренарующий эффект может быть достаточно хорошо выражен.

Не менее важной причиной предпочтительности использования подземных вод для орошения по сравнению с поверхностными водами является значительное расширение площади орошаемых земель за счет того, что при этом заметно уменьшается сеть горизонтального дренажа, занимающего значительные площади плодородных земель. Необходимо учесть и тот значительный экономический эффект, который связан как с тем, что отпадает необходимость в строительстве и содержании коллекторно-дренажной сети, так и с повышением водообеспеченности оросительных систем без строительства весьма дорогостоящих наземных водохранилищ.

Особенно остро проблема водообеспечения ощущается в аридных засушливых зонах, к которым относится и Казахстан. Редкие реки, имеющие воду главным образом только в короткий период весеннего половодья, небольшое количество атмосферных осадков создали впечатление безводности этой территории. Именно в этих условиях подземные воды приобретают особое значение, в том числе, и для орошения.

Орошение подземными водами предусматривает применение различных способов и техники полива, которые были описаны выше. Тем не менее, использование подземной влаги для ирригации имеет некоторые особенности, которые следует учитывать при организации орошения земель. Вопросы получения воды из подземных источников достаточно подробно рассмотрены в I части настоящего учебника и полностью отвечают тем требованиям, которые предъявляет к ним ирригация. Тем не менее, следует подчеркнуть, что трубчатые колодцы, сооружаемые для орошения земель, должны иметь диаметр (14-16 дюймов), позволяющий использовать мощные погружные насосы типа ЭЦВ или АТН. Такое насосное оборудование дает возможность в свою очередь производить орошение земель с помощью широкозахватной дождевальнoй техники типа «Фрегат», «Волжанка» и др.

(рис. 88). При этом экономическая эффективность орошения резко возрастает, а затраты на организацию орошения за счет подземных вод достаточно быстро окупаются. Кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии Каз-НТУ накоплен богатый опыт в области использования подземных вод для орошения, который обобщен в ряде книг (С.М. Мухамеджанов, В.Н. Анто-ненко. Сельскохозяйственное использование подземных вод; С.М.Мухамеджанов и др. «Фрегаты» на артезианских водах).

Существует и другая литература по данному вопросу, которую мы рекомендуем студентам для самостоятельного изучения.

Кроме названных, перечислим следующие преимущества использования подземных вод:

1. При использовании обычных оросительных систем сокращается длина холостой части каналов, т.к. вода зачастую может быть получена не посредственно на месте потребления (скважины расположены на орошаемом массиве). За счет этого удешевляется строительство оросительных систем, уменьшаются потери на фильтрацию воды из каналов, улучшается маневренность использования воды во времени.

2. Вследствие общего снижения уровня подземных вод, забираемых для орошения, уменьшается опасность заболачивания орошаемой территории, т.к. скважина работает как вертикальный дренаж.

3. Уменьшается или вовсе предотвращается опасность заиливания оросительных каналов, т.к. подземные воды не содержат взвешенных наносов.

4. Использование подземных вод, особенно при расчлененном рельефе, упрощает оросительную сеть и позволяет орошать небольшие участки,

5. Количество используемой воды стабильно в многолетнем и годовом разрезах, поэтому гарантирует планируемый урожай сельскохозяйственных культур.

6. Качество (химический состав, температура) подземных вод одно родно в течение года и многолетий.

7. Подземная вода может расходоваться экономно, если скважины будут на крановом режиме и возможно управление использованием.

Рациональный путь использования подземных вод заключается в технологически правильном выборе водокапжных сооружений, более совершенном их оборудовании и режиме эксплуатации. Это значит, что скважины должны быть пройдены диаметром, как было отмечено, не менее 14-16 дюймов, оборудованы гравийно-галечными фильтрами, надежными погруженными насосами, задвижками, хорошими оголовками.

В межвегетационный период, когда потребности в воде отсутствуют, скважины должны переключаться на ограниченный крановый режим, обеспечивающий только потребности питья, небольших хозяйственных нужд, а самоизливающиеся скважины должны работать на создание запаса воды в искусственных водоемах, из которых они потом могут использоваться для работы групповых дождевальных машин.

Артезианское орошение в пустынях позволяет не только озеленить пастбищные центры вновь создаваемых пустынных колхозов, совхозов, вырастить овощи, бахчевые для животноводов, но и решить проблему их водообеспечения. Примером такого водоиспользования может служить опытный участок Казахского НИИ водного хозяйства, о котором упоминалось в I части настоящего учебника.

В то же время при орошении подземными водами следует учитывать, что подземные воды, как правило, имеют низкую температуру ($7-10^{\circ}\text{C}$) и поэтому перед поливом они должны выдерживаться в открытых бассейнах.

2.6.1.1, Особенности оросительной сети, питающейся за счет подземных вод, заключаются в следующем:

1. Трубчатые колодцы будут располагаться в пониженных местах.
2. Дебиты их ограничены.
3. Колодцы или групповые водозаборы могут находиться друг от друга не более двойного радиуса влияния.

Этим условиям могут удовлетворять либо разрозненные участки оазисного орошения с одиночными трубчатыми колодцами или водозаборами, либо орошаемые массивы с целой сетью колодцев. В первом случае (рис.89) колодец или водозабор 1 сооружают в пониженном месте участка и вода по водопроводу 2 подается на командную высоту, где строят запасной резервуар или водосборный колодец 3.

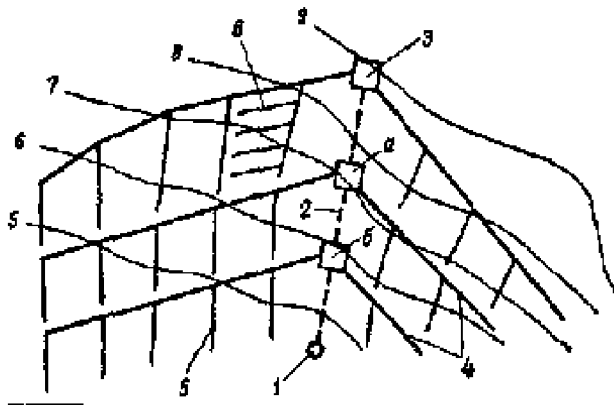


Рис.89. Схема оросительной сети участка гарантированного урожая:

- 1- скважина;
- 2- трубопровод;
- 3- приемный колодец;
- 4- временные оросители;
- 5- выводные борозды;
- 6- поливные борозды;
- 5-9 — горизонтали

Водосборные колодцы а и б строят ниже на водоводе. Из них вода распределяется самотеком во временные оросители, а из оросителей - по бороздам или разбирается с помощью трубопроводов на орошение дождеванием (рис.91).

Вода из напорных трубопроводов может подаваться в широкозахватные дождевальные агрегаты. При недостаточном дебите на повышенных отметках строят запасной резервуар либо бассейн суточного регулирования. Напорные трубопроводы располагают по границам поливных участков, которые в зерновом хозяйстве занимают 30-40 га и более, в хлопковом - 20-40 га и более и лишь в редких случаях 10-20 га. На равнинных участках с вы-

соким уровнем грунтовых вод колодцы распределяются в виде равномерной сетки в 200-300 м друг от друга (рис. 90).

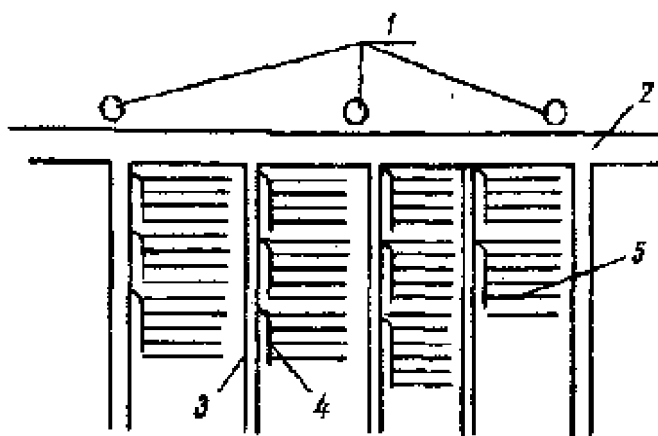


Рис.90, Схема оросительной сети, питающейся из многих колодцев:

1 - колодцы; 2 - распределительный канал; 3 - временные оросители; 4 - выводные борозды; 5 - борозды

Вдоль линии колодцев проводят распределительный канал, а от него временные оросители с выводными бороздами и сетью поливных борозд.

При использовании дождевальных машин типа «Фрегат», «Днепр» непосредственно от скважины ее дебит должен составлять не менее 80 л/с. При этом площадь орошения составляет до 70 га (рис.91).

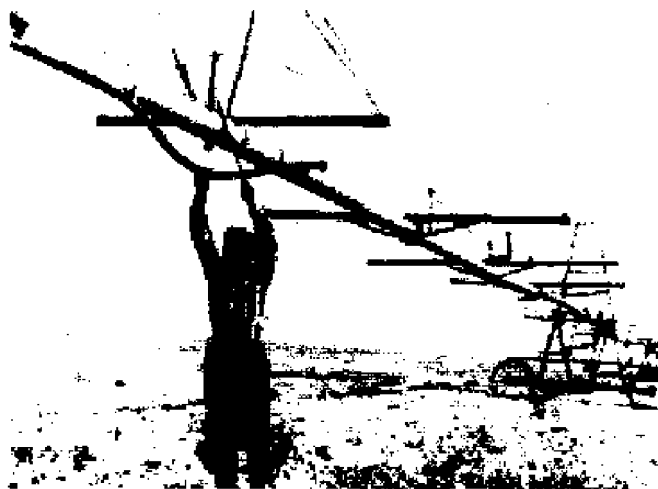


Рис. 91. Широкозахватная дождевальная машина «Фрегат» на подземных водах. Наладка агрегата. Успенский район Павлодарской области

Кроме того, решение в каждом отдельном случае вопроса о возможном использовании подземных вод для орошения базируется на результатах детальных гидрогеологических исследований, методика проведения которых изучается в специальных курсах.

2.6.2. Орошение сточными водами

Состав сточных вод городов и населенных пунктов позволяет их использовать для орошения, поскольку они содержат основные элементы питания растений (азот, фосфор, калий, кальций и другие). Химический и механический состав сточных вод зависит от характера производства, норм

водопотребления, количества атмосферных осадков, попадающих в канализацию и пр.

Сточные воды содержат в 1 м³: азота 30 - 80 г, калия 6-25 г, извести 20-100 г. Эти вещества полезны для растений.

Однако в сточной воде содержатся и болезнетворные бактерии, поэтому, используя воду для орошения, необходимо строго соблюдать санитарные правила, требующие специальной очистки вод. Опыт использования сточных вод свидетельствует, что они весьма способствуют увеличению урожайности сельскохозяйственных культур. При этом необходимо соблюдать следующие условия:

1. Нельзя поливать сточными водами овощи, употребляемые в пищу в свежем виде.
2. Полив необходимо осуществлять лишь по бороздам и полосам.
3. Во избежание загрязнения открытых источников полив со сбросами недопустим.

2.7. Гидрогеологе - мелиоративные процессы на орошаемых землях

Вопрос, вынесенный в заголовок данного раздела, детально изучается в дисциплине «Мелиоративная гидрогеология». В настоящем учебнике мы ограничимся лишь кратким его рассмотрением.

Как правило, под гидрогеолого-мелиоративными процессами понимают явления негативного характера, возникающие под влиянием орошения и требующими определенных мер борьбы с ними. Опыт свидетельствует, что природные условия некоторых регионов в какой-то мере сдерживают получение ожидаемого эффекта от орошения. В некоторой степени это естественно, поскольку мировой практикой ирригации выяснено, что орошение земель засушливых зон является исключительно сложной проблемой, поскольку эти территории зачастую приурочены к бессточным низменностям, где имело место засоление в прежние геологические эпохи. Поступление же больших количеств воды при орошении нарушает сложившийся водно-солевой баланс, что обуславливает повышение уровня грунтовых вод, заболачивание и вторичное засоление.

На сегодняшний день вторичное засоление выводит из сельскохозяйственного оборота значительные площади на орошаемых землях Пакистана, Ирака, Сирии, Китая, Египта и других стран.

Вторичное засоление - это бич орошаемого земледелия. Оно не только приносит огромный материальный ущерб, но и вызывает необратимые экологические последствия, портит природу земного шара. В связи с этим вопросы грамотного выбора территории под орошение, прогнозирования и предотвращения вторичного засоления и разумного использования почв при орошении выходят за границы чисто исследовательских интересов,

приобретая в значительной мере государственное и даже международное значение.

Надо сказать, что эти вопросы с особой остротой возникли в Казахстане, где ранее опыт широкого орошения на базе подземных вод был весьма скромным. Здесь на впервые построенных мелиоративно-оросительных системах возникло некоторое ухудшение мелиоративной обстановки. Это обстоятельство вызвало необходимость в реконструкции уже сооруженных оросительных систем и более детальной проработки новых проектов. Возникла необходимость в более глубоких научных исследованиях с тщательным анализом естественных (исходных) условий, воздействия орошения в первые годы эксплуатации ирригационных систем и прогнозом дальнейших изменений мелиоративной обстановки с применением современных методов, таких, как например моделирование.

Как отмечалось выше, качество проекта орошения в значительной мере определяется полнотой и глубиной проведенных гидрогеолого-мелиоративных изысканий. Слабая изученность района и объекта орошения нередко становится причиной просчетов в проектировании и оборачивается в последующем большими затратами на реконструкцию ирригационной сети и реализацию дополнительных мер по оздоровлению мелиоративной обстановки. В этой связи весьма важно совершенствовать методы и повышать уровень проведения гидрогеологических и почвенно-мелиоративных исследований.

2.7.1. Причины засоления и заболачивания земель

Под засолением почвы понимается избыточное скопление растворенных или поглощенных солей в корнеобитаемом слое почвы, губительно действующих на развитие сельскохозяйственных растений. Первичное засоление определяется природными гидрогеологическими процессами и условиями. В засушливых районах грунтовые воды содержат значительное количество солей. Эти воды поднимаются по капиллярам в верхние слои почвы, где вода испаряется, а соли остаются в почве и на ее поверхности. В районах, где суммарное испарение превышает осадки, процессы засоления почвогрунтов наиболее развиты. Солевые свойства почв вне зон орошения зависят, в частности, от климата. Процессы засоления возрастают от крайнего севера к югу, то есть от зоны избыточного увлажнения без засоленных земель к зоне недостаточного увлажнения, где они в основном сосредоточены. Почвы засоляются тем интенсивнее, чем больше испарение, выше минерализация и, меньше глубина залегания грунтовых вод.

Засоление почвы, вызванное испарением близко расположенных грунтовых вод или поливами сильно минерализованной водой, называется вторичным. Причина вторичного засоления - чаще всего неправильное орошение, когда поливают большими поливными нормами, которые не только увлажняют активный слой почвы, но и пополняют грун-

товые воды, вызывая подъем их уровня. Это приводит не только к засолению, но и к заболачиванию орошаемых земель.

Глубину грунтовых вод, при которой начинается слабое засоление нижнего горизонта активного слоя почвы, называют критической глубиной залегания уровня грунтовых вод ($H_{кр}$). В условиях орошения ее определяют по формуле $H_{кр} = h_k + H_a$,

где h_k - высота капиллярного поднятия грунтовых вод, м;

H_a - глубина активного слоя почвы, м.

Критическая глубина залегания грунтовых вод зависит прежде всего от капиллярных свойств почвы - от максимальной высоты капиллярного поднятия, которое определяется механическим составом почвы. Чем тяжелее механический состав, тем капиллярное поднятие больше, поэтому уровень грунтовых вод должен находиться глубже. Глубину залегания грунтовых вод для различных грунтов, при которой происходит тот или иной вид засоления, необходимо знать во всех случаях освоения засоленных почв. Для легких почв эта глубина, выше которой не рекомендуется поднимать уровень грунтовых вод, равна 2,5-3 м от поверхности земли и 4-5 м для тяжелых почв. При большой глубине залегания грунтовых вод вода по капиллярам не доходит до поверхности почвы и засоление не происходит.

Процессу вторичного засоления способствует неровность полей, бесструктурность почвы, пустующие земельные площади, длительное затопление (например, при затоплении чеков, при рисосеянии) и другие факторы. На невыровненных орошаемых участках в понижениях застаивается вода, а повышенные места не покрываются водой, что вызывает неоднородные условия увлажнения и распределения солей на орошаемой площади. При этом пониженные места будут промываться от солей, а просыхающие бугры - засоляться за счет капиллярного поднятия в них воды. В бесструктурных почвах при уровне грунтовых вод на глубине 1.5-2 м процесс засоления ускоряется. В этих почвах отсутствуют крупные поры, нарушающие капиллярную связь с нижележащими слоями, поэтому минерализованная грунтовая вода в них, быстро поднимаясь до поверхности и испаряясь, засоляет почву. Причиной засоления почв может быть и оросительная вода, содержащая легкорастворимые соли, поступающие вместе с ней при инфильтрации (просачивании) в почву. При близком стоянии уровня грунтовых вод и слабом их оттоке содержание растворимых солей в оросительной воде более 1 г/дм³ недопустимо.

Засоление орошаемых земель - бич орошаемого земледелия.

Площадь ежегодно засоляемых и теряющих свое плодородие орошаемых земель огромна.

2.7.2. Меры, предупреждающие засоление и заболачивание земель

Основные мероприятия по предотвращению засоления орошаемых земель должны быть направлены на устранение причин, вызывающих это явление. Для этих целей используют целый комплекс мероприятий, которые можно разделить на агротехнические и мелиоративно-эксплуатационные.

К агротехническим мероприятиям относятся: строгое выполнение режима орошения сельскохозяйственных культур, применение специальных мелиоративных севооборотов с включением многолетних трав, обеспечивающих создание прочной корневой структуры; внесение в почву органических удобрений; применение правильной системы обработки почвы, уменьшающей испарение воды и улучшающей водно-воздушный и солевой режимы (глубокая зябевая пахота, послеполивная культивация и др.); планировка и выравнивание поверхности почвы; гипсование солонцеватых почв; создание полезащитных лесных полос, которые уменьшают испарение с поверхности почвы и, потребляя много воды, способствуют понижению уровня грунтовых вод.

Мелиоративно-эксплуатационными мероприятиями являются: применение рациональной техники полива, не допускающей излишних оросительных вод на орошаемую площадь (строгая выдача поливных норм, полив без сброса); своевременный ремонт каналов и сооружений; борьба с потерями воды на фильтрацию и повышение КПД системы; своевременное опорожнение каналов оросительной сети; строгое нормирование подачи воды во все каналы системы в соответствии с графиком водоподачи, недопущение затопления орошаемых площадей паводковыми водами, протекающими с прилегающего водосбора (обвалование, устройство нагорных и ловчих каналов и дрен).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материал, приведенный в настоящей книге, показывает, что водоснабжение и ирригация - сложные комплексные науки, охватывающие обширный круг вопросов, и позволяющие решать серьезные проблемы, возникающие в различных отраслях хозяйствования.

Дисциплина "Водоснабжение и ирригация» носит прикладной характер, что ничуть не умаляет ее важности и не упрощает подход к ее изучению, а наоборот, сумма знаний, определяющая ее содержание, носит характер весьма обширный и формирует специалиста с широким кругозором.

Следует подчеркнуть, что грамотное решение вопросов водоснабжения и ирригации является чрезвычайно актуальным в свете экологических осложнений, характеризующих различные регионы Казахстана. Сегодня ясно, что игнорирование принципов, лежащих в основе дисциплины, привело общество к Аральскому и другим кризисам. Это положение может считаться определяющим при формировании концепции дальнейшего развития дисциплины.

Другими словами, только экологическое мышление специалистов нового поколения позволит им решать вопросы водоснабжения и ирригации на основе приоритетного принципа охраны водных ресурсов и геологической среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М: Стройиздат, 1982.
2. Анатольевский П.П. Водозаборы подземных вод. М.: Стройиздат, 1992.
3. Антоненко В.Н., Калитов Д.К. Водоснабжение и ирригация: Учеб. пособие. -Алматы: КазНТУ, 1999.
4. Башкатов Д.Н., Панков А.В., Коломиец А.М. Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин. М: Недра, 1992.
5. Белицкий А.С. и др. Проектирование разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения. 3-е изд. М.: Недра, 1974.
6. ГОСТ. Сборник «Вода питьевая». М.: Изд-во стандартов, 1984.
7. Готтенберг Ю.П. Гидрогеология и динамика подземных вод с основами гидравлики. М.: Недра, 1980.
8. Зарубаев Н.В. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. - Л.: Стройиздат, 1976.
9. КацД.М. и др. Мелиоративная гидрогеология. М.: МГУ, 1981.
10. Концевовский С.5L, Минкин Е.Л. Гидрогеологические расчеты при использовании подземных вод для орошения. М.: Недра, 1989.
11. Леонов С.Б. и др. Очистка природных и сточных вод минеральными цеолитами. Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1994.
12. Мирзаев Г.Г. и др. Экология горного производства. М.: Недра, 1991.
13. Мухамеджаиов С.М. и др. Фрегаты на артезианских водах. Алма-Ата: Кайнар, 1975.
14. Мухамеджанов С.М., Антоненко В.Н. Сельскохозяйственное использование подземных вод. Алма-Ата: Кайнар, 1974.
15. Николин В.И. и др. Охрана окружающей среды в горной промышленности. Донецк: Высшая школа, 1987.
16. Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М: Недра, 1987.
17. Плотников Н.И. и др. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. М.: Недра, 1978.
18. Проектирование водозаборов подземных вод /Под ред. Ф.М. Бочевера М.: Стройиздат, 1976.
19. Прозоров И.В. и др. Гидравлика, водоснабжение и канализация: Учеб. пособие. М: Высшая школа, 1990.
20. Рыбаков Е.С Проектирование и расчет оросительных каналов в земляном русле. М, 1990.
21. Сатпаев А.Г. Оценка качества оросительных вод. Методические указания к лабораторному занятию по мелиоративной гидрогеологии. Алматы: КазНТУ. 1996.
22. СНиП, П 31-74. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения, 1975.
23. Солонин В.Н. Краткий справочник по проектированию и бурению скважин на воду. М.: Недра, 1977.
24. Суреньянц С.Я. Эксплуатация водных скважин. М.: Недра, 1987

25. Танатаров Т.Т. Бурение скважин на воду. РИК МОиН РК. Алматы, 1997.
26. Хруппа И.Ф. и др. Гидросооружение и сельскохозяйственные мелиорации. М.: Колос, 1977.
27. Шестаков Ф.В., Антоненко В.Н. О конденсационных родниках // Вестн. КазНТУ. 1995. №3.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
ЧАСТЫ. ВОДОСНАБЖЕНИЕ.....	5
1.1. История развития водоснабжения	5
1.2. Водные ресурсы и распределение их на Земле.....	7
1.3. Классификация водоснабжения.....	12
1.3.1. Классификация систем водоснабжения по назначению.....	12
1.3.2. Классификация систем водоснабжения по сроку действия	22
1.3.3. Классификация систем водоснабжения по типу оборудования.....	22
1.3.4. Классификация систем водоснабжения по высотному положению источника водоснабжения относительно потребителя.....	23
1.4. Добывание воды	23
1.4.1. Использование поверхностных вод	23
1.4.1.1. Береговые водозаборы.....	25
1.4.1.2. Водозабор островного типа (КРИВ).....	27
1.4.1.3. Ковшевые водозаборы.....	27
1.4.1.4. Водозаборы на горных реках	28
1.4.1.5. Водозаборные сооружения на реках с недостаточной глубиной	30
1.4.1.6. Особенности приема воды из водохранилищ и озер.....	31
1.4.2. Использование подземных вод для водоснабжения	33
1.4.2.1. Горизонтальные водозаборы	35
1.4.2.1.1. Гидрогеологический расчет горизонтального водозабора.....	38
1.4.2.1.2. Гидравлический расчет водозабора	39
1.4.2.2. Шахтные колодцы.....	40
1.4.2.2.1. Фильтры шахтных колодцев	42
1.4.2.2.2. Гидрогеологический расчет шахтных колодцев.....	46
1.4.2.3. Трубчатые колодцы	47
1.4.2.3.1. Фильтры трубчатых колодцев.....	51
1.4.2.3.1.1. Фильтры для гравелистых, крупно- и среднезернистых песков (тонкостенные)	54
1.4.2.3.1.2. Фильтры для мелкозернистых глинистых песков (толстостенные)	56
1.4.2.3.1.3. Коррозия металлических частей фильтров и труб.....	58
1.4.2.3.1.4. Бесфильтровые скважины.....	59
1.4.2.3.2. Гидрогеологический расчет трубчатого колодца	64
1.4.2.3.3. Опробование скважин и водоподъемное оборудование для проведения откачек.....	69
1.4.2.4. Водосборы и насосы	73
1.4.2.5. Особые виды каптажей подземных вод	88
1.4.2.5.1. Каптаж родников	88
1.4.2.5.2. Каптаж линз пресной воды.....	91
1.4.2.5.3. Многозабойные скважины.....	92
1.4.2.5.4. Ярусные водозаборы.....	92

1.4.2.5.5. Лучевые водозаборы	93
1.4.2.5.6. Магазинирование подземных вод	96
1.5. Методы улучшения качества воды	98
1.5.1. Механические способы очистки воды	98
1.5.2. Физические способы очистки воды	99
1.5.3. Химические способы очистки воды	100
1.5.4. Обеззараживание воды	101
1.6. Станции для очистки и обеззараживания воды	101
1.6.1. Новые технологии очистки и обработки воды для различных целей	306
1.7. Система водопровода	110
1.7.1. Водонапорные башни	111
1.7.2. Водонапорные насосные станции	113
1.8. Санитарная охрана подземных вод	114
1.8.1. Основные принципы охраны подземных вод от загрязнения ..	114
1.8.2. Зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения и их гидрогеологическое обоснование	116
1.9. Транспортировка воды	117
1.9.1. Расчет трубопроводов	118
 ЧАСТЬ 2. ИРРИГАЦИЯ	122
2.1. Влияние орошения на почвы и урожайность	125
2.2. Содержание исследований при организации орошения	127
2.2.1. Пригодность почв под посевы сельхозкультур	127
2.2.2. Факторы и показатели гидрогеологических условий	127
2.2.3. Рельеф местности	132
2.2.4. Наличие источников воды для орошения	132
2.2.5. Экономический фактор	132
2.3. Во дно-воздушный режим почв и растений при орошении	132
2.3.1. Формы почвенной воды	133
2.3.2. Определение запасов воды в почве	133
2.3.3. Регулирование водного режима при орошении	134
2.3.4. Режим орошения сельскохозяйственных культур	134
2.4. Качество оросительной воды	137
2.4.1. Температура воды	137
2.4.2. Минерализация воды	137
2.4.3. Солевой состав	138
2.4.4. Химический состав	139
2.4.5. Содержание микроэлементов	142
2.4.6. Основные требования к составу сточных вод	143
2.4.7. Пригодность воды по санитарно-бактериологическим показателям	145

2.4.8. Насосы.....	145	s
2.4.9. Газы.....	146	
2.5. Оросительная система и ее составные части.....	146	
2.5.1. Расчет расхода каналов оросительной системы.....	147	
2.5.2. Расчет фильтрационных потерь.....	149	
2.5.3. Меры борьбы с потерями оросительной воды.....	151	
2.5.4. Лотковая и трубчатая оросительные сети.....	151	
2.5.5. Способы орошения.....	152	
2.6. Источники воды для орошения.....	152	
2.6.1. Орошение подземными водами.....	154	
2.6.2. Орошение сточными водами.....	157	
2.7. Гидрогеолого-мелиоративные процессы на орошаемых землях.....	160	
2.7.1. Причины засоления и заболачивания земель.....	161	
2.7.2. Меры, предупреждающие засоление и заболачивание земель.....	163	
Заключение.....	164	
Библиографический список.....	165	