



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

А. М. Шейко

**РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

*Пособие к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Водозаборные сооружения»*

**Минск
БНТУ
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

А. М. Шейко

РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Пособие к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Водозаборные сооружения»
для студентов заочной формы обучения специальности
1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение
и охрана водных ресурсов»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2014

УДК 628.11+628.112(075.8)

ББК 38.774я7

ШЗ9

Рецензенты:

В. В. Иващечкин, заведующий кафедрой «Гидротехническое и энергетическое строительство» БНТУ, д-р техн. наук, доцент;
кафедра «Гидравлика и гидравлические машины», БГАТУ, заведующий кафедрой *А. М. Кравцов*, канд. техн. наук, доцент

Шейко, А. М.

ШЗ9 Расчет водозаборных сооружений из поверхностных источников : пособие по выполнению курсового проекта по дисциплине «Водозаборные сооружения» для студентов заочной формы обучения специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение водоотведение и охрана водных ресурсов» / А. М. Шейко. – Минск : БНТУ, 2014. – 47 с.

ISBN 978-985-550-469-7.

В пособии по дисциплине «Водозаборные сооружения» приводятся сведения по проектированию водозаборов из поверхностных и подземных источников. Даны рекомендации по выбору места расположения водозаборных сооружений, типа и схем водозаборов. Изложена методика определения основных расчетных параметров элементов водозаборных сооружений для их конструирования и выбора основного и вспомогательного технологического оборудования в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами и технической литературой. Приведены рекомендации по эксплуатации водозаборных сооружений.

УДК 628.11+628.112(075.8)

ББК 38.774я7

ISBN 978-985-550-469-7

© Шейко А. М., 2014

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

Содержание

Введение.....	5
1. Состав и объем проекта.....	5
2. Водозаборы из поверхностных источников.....	6
2.1. Выбор места, типа и схемы расположения водозаборных сооружений.....	6
2.2. Гидравлические и технологические расчеты.....	9
2.2.1. Затопленные водоприемники и водоводы.....	9
2.2.2. Определение потерь напора на решетках.....	13
2.2.3. Отметки уровней воды в береговом колодце.....	14
2.2.4. Определение отметки оси насосов.....	15
2.3. Насосная станция I подъема.....	16
2.3.1. Высасывающие и напорные линии насосных станций.....	16
2.3.2. Определение размеров в плане и в вертикальной плоскости.....	18
2.3.3. Оборудование насосных станций.....	19
2.3.4. Определение полного напора и подбор насосов... ..	20
2.3.5. Дренажные насосы.....	22
2.4. Эксплуатация водозаборных сооружений.....	22
2.5. Зоны санитарной охраны поверхностных источников водоснабжения.....	23
3. Водозаборы из подземных источников.....	24
3.1. Состав и схемы скважинных водозаборов.....	25
3.1.1. Состав сооружений скважинного водозабора.....	25
3.1.2. Схемы скважинных водозаборов.....	25
3.2. Основные элементы водозаборных скважин и их расчет... ..	26
3.2.1. Конструкция водозаборной скважины и ее обвязка... ..	27
3.2.2. Фильтры водозаборных скважин.....	28
3.2.3. Подбор и расчет фильтров.....	31
3.3. Гидрогеологические и гидравлические расчеты скважинных водозаборов.....	33
3.3.1. Определение дебита водозаборных скважин.....	34
3.3.2. Расчет группы взаимодействующих скважин.....	35
3.3.3. Подбор водоподъемного оборудования.....	40
3.4. Эксплуатация водозаборов подземных вод.....	41

3.5. Зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения.....	42
3.5.1. Границы первого пояса.....	42
3.5.2. Границы второго и третьего поясов.....	43
Список использованных источников.....	44
Приложения.....	45
Приложение А.....	45
Приложение Б.....	47

Введение

Водозаборные сооружения являются первым элементом системы водоснабжения населенного пункта, поэтому от правильного проектирования, строительства и эксплуатации этих сооружений будет зависеть надежность подачи конечному потребителю воды определенного качества.

Целью пособия является углубление и обобщение полученных студентами знаний при выполнении курсового проекта по водозаборным сооружениям из поверхностных и подземных источников, приобретение практических навыков проектирования водозаборных сооружений и самостоятельное использование специальных нормативных и справочных источников.

Курсовой проект выполняется в соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым студенту.

1. СОСТАВ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

Курсовой проект должен состоять из расчетно-пояснительной записки и чертежа.

В расчетно-пояснительной записке должны быть представлены следующие материалы:

1. *По водозаборам из поверхностных источников:*

- выбор места, типа и схемы расположения водозаборов;
- гидравлические и технологические расчеты;
- насосная станция I подъема. Описание основного и вспомогательного оборудования;
- эксплуатация водозаборных сооружений. Мероприятия по рыбозащите, борьбе с шугой, донным льдом, наносами;
- зоны санитарной охраны водозабора поверхностных вод.

2. *По водозаборам из подземных источников:*

- состав сооружений и схемы скважинных водозаборов;
- основные элементы водозаборных скважин и их расчет. Проектирование здания насосной станции первого подъема. Расчет и подбор фильтров скважин;
- гидрогеологические и гидравлические расчеты скважинных водозаборов. Расчет дебита водозаборных скважин в напорных и

безнапорных условиях. Расчет напора насосов и подбор водоподъемного оборудования;

- эксплуатация водозаборов подземных вод;
- зоны санитарной охраны водозабора подземных вод;
- список использованных источников.

В графическую часть входят:

- план и разрез водозаборного сооружения в выбранном створе реки (М 1 : 50, 1 : 100);
- чертеж одного из элементов (сетка, решетка, оголовки);
- план подземного водозабора;
- технический разрез скважины и здания насосной станции;
- деталь фильтра водозаборной скважины;
- спецификация (по СТБ 2255–2012).

2. ВОДОЗАБОРЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

2.1. Выбор места, типа и схемы расположения водозаборных сооружений

В общем случае водозабор из поверхностных вод состоит [1] из водоприемника, водоводов (самотечных или сифонных), водоприемного колодца, насосной станции, оборудования и арматуры.

В водозаборных сооружениях I и II категории по надежности подачи воды следует предусматривать секционирование водоприемной части. Минимальное количество секций равно двум.

Водозаборные сооружения на реках следует располагать на вгнутом берегу, в зоне наибольших глубин русла. При этом необходимо предусматривать мероприятия по сохранению берегового откоса и его укреплению.

Место забора воды для питьевого водоснабжения следует принимать выше по течению водотока:

- от выпусков в водоток сточных вод;
- населенных пунктов, расположенных на берегу кладбищ и скотомогильников;
- стоянок судов;
- животноводческих комплексов и ферм.

Из применяемых в настоящее время типов водозаборных сооружений наибольшее распространение получили русловые и береговые. В свою очередь русловые (рис. 2.1) и береговые водозаборные сооружения делятся на два типа: раздельной и совмещенной компоновки [2].

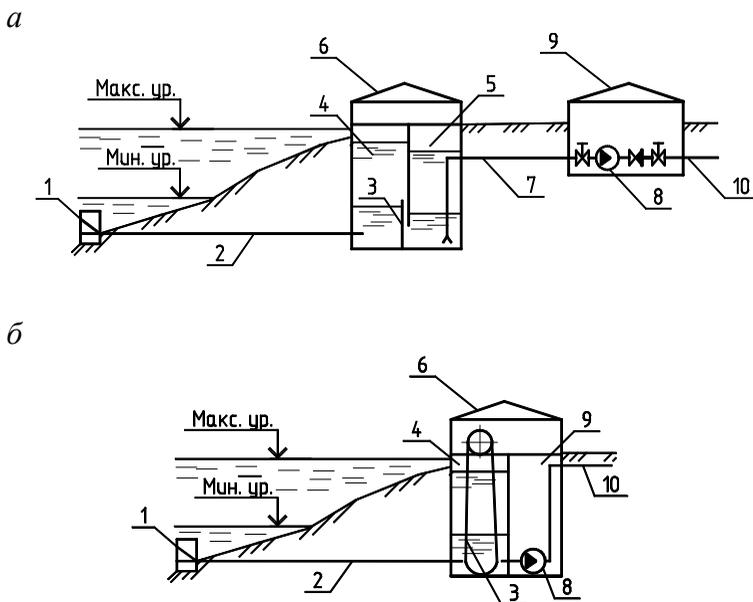


Рис. 2.1. Схема руслового водозабора:
 а – раздельной компоновки; б – совмещенной компоновки;
 1 – водоприемник; 2 – самотечный или сифонный водовод; 3 – сороудерживающая сетка; 4 – водоприемное отделение; 5 – всасывающее отделение; 6 – водоприемный колодец; 7 – всасывающий трубопровод; 8 – насос; 9 – насосная станция первого подъема; 10 – напорные водоводы

Устройство русловых водозаборных сооружений обуславливается необходимостью выноса водоприемного оголовка в русло водоемного источника на определенное расстояние от водоприемного колодца и насосной станции.

Поступление воды от оголовка в водоприемный колодец осуществляется самотечными или сифонными водоводами, которых должно быть не менее двух.

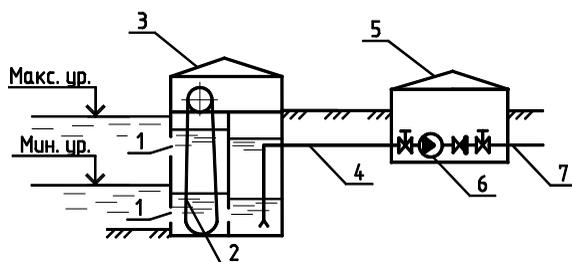
При необходимости обеспечения предварительной грубой очистки воды после оголовка перед насосами в водоприемном колодце размещают водоочистные сетки. Водоприемные колодцы с водоочистными сетками называют водоприемно-сеточными колодцами.

При применении на оголовках в качестве рыбозащитных мероприятий фильтрующих элементов или при устройстве оголовков фильтрующего типа установка водоочистных сеток не предусматривается [2].

Наиболее ответственными элементами в технологической схеме водозаборных сооружений являются водоприемники.

При благоприятных местных условиях (достаточно крутом береговом откосе) более надежными, экономичными и удобными в эксплуатации являются водозаборы берегового типа с совмещенной или отдельной компоновкой (рис. 2.2).

а



б

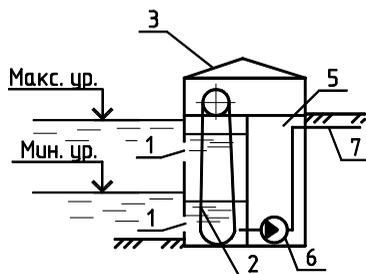


Рис. 2.2. Схема берегового водозабора:

а – отдельной компоновки; *б* – совмещенной компоновки;

1 – водоприемные окна; 2 – сороудерживающая сетка; 3 – водоприемный колодец; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – насосная станция первого подъема; 6 – насос; 7 – напорные водоводы

При раздельной компоновке насосную станцию первого подъема устраивают отдельно от берегового водоприемного колодца и подача воды к насосам осуществляется через всасывающие водоводы.

Вода из реки поступает во входные окна водоприемника, которые располагаются в передней стенке водоприемного колодца, как правило, в несколько ярусов по высоте. Ярусное расположение водоприемных отверстий обеспечивает забор воды лучшего качества в зависимости от уровневого режима водотока.

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

Внутри водоприемного колодца находятся сороудерживающие сетки (съёмные или вращающиеся). Сетки разделяют колодец на два отделения: водоприемное – перед сеткой – и всасывающее – за ней.

Водоприемный колодец выполняют в основном из железобетона, прямоугольным или круглым в плане, овальной формы, в зависимости от места его расположения на берегу и способа возведения.

Для обеспечения бесперебойной работы водоприемный колодец должен быть разделен продольными перегородками на несколько (не менее двух) параллельно работающих секций.

Размеры берегового водоприемного колодца в плане определяются габаритами водоприемных отверстий и сеток, количеством и диаметром всасывающих водоводов.

2.2. Гидравлические и технологические расчеты

2.2.1. Затопленные водоприемники и водоводы

Конструктивное оформление водоприемников должно отвечать гидравлическим условиям потока. Низ водоприемных отверстий должен быть расположен выше дна водоема или водотока не менее чем на 0,5 м, а верх водоприемника размещают на отметке не менее чем на 0,2 м ниже минимальной отметки нижней поверхности льда. Водоприемники должны быть защищены от подмыва обтекающим потоком [2].

На реках с легкими и средними природными условиями применяют железобетонные раструбные оголовки с боковым приемом воды (рис. 2.3) при производительности водозаборов до $1 \text{ м}^3/\text{с}$.

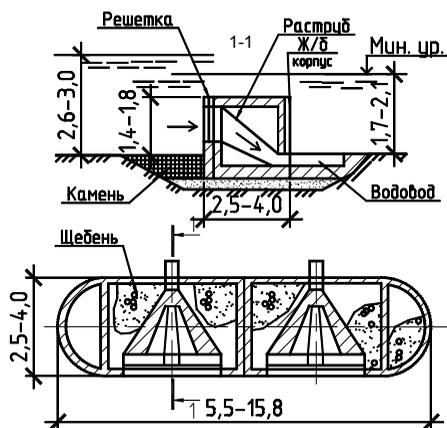


Рис. 2.3. Железобетонный раструбный оголовок

Основные конструкции водоприемников представлены в [3].

Гидравлический расчет водоприемников выполняют для определения:

- размеров водоприемных отверстий, диаметров самотечных или сифонных водоводов и других конструктивных элементов;
- потерь напора в водоприемнике и системе водоводов;
- наивысшей отметки оси насосов.

Гидравлические расчеты производят для нормальных и особых условий эксплуатации. Под *нормальными условиями эксплуатации* подразумевают одновременную работу всех секций водозаборного сооружения, кроме резервных.

При *особых условиях эксплуатации*, при минимально возможном уровне воды в источнике, для водозаборных сооружений I категории, когда выключена одна из секций, по другой секции проходит весь расчетный расход забираемой воды, для II и III категорий: 30 % проходит по первой секции и 70 % – по второй.

Размеры элементов водозаборного сооружения определяют применительно к нормальным условиям работы, а *расчеты потерь давления и отметки оси насосов* – применительно к особым условиям.

Размеры водоприемных окон или щелей определяют скорости втекания воды в водоприемные отверстия (в свету) с учетом требований рыбозащиты.

Допустимые скорости втекания воды в водоприемные окна $v_{\text{окн}}$, без учета требований рыбозащиты, принимают для средних и тяжелых условий забора воды соответственно [2]:

- в береговые незатопляемые водоприемники – от 0,6 до 0,2 м/с;
- затопляемые водоприемники – от 0,3 до 0,1 м/с.

С учетом требований рыбозащиты в водотоках со скоростью течения более 0,4 м/с допустимую скорость втекания $v_{\text{окн}}$ принимают равной 0,25 м/с, в остальных случаях – 0,1 м/с.

Площадь водоприемных отверстий Ω вычисляют при одновременной работе всех секций водозаборного сооружения (кроме резервных) по следующей формуле:

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{Q_{\text{рс}}}{v_{\text{окн}}} K, \text{ м}^2,$$

где $Q_{\text{рс}}$ – расчетный расход одной секции:

$$Q_{\text{рс}} = \frac{\alpha \cdot Q}{T_1 \cdot n \cdot 3600}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где α – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды водозабора: $\alpha = 1,09-1,1$;

Q – полный расход водозаборного сооружения (указан в задании), $\text{м}^3/\text{сут}$;

T_1 – продолжительность работы насосной станции первого подъема при круглосуточной работе: $T_1 = 24$ ч;

n – число секции водозабора ($n \geq 2$);

K – коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток или сеток; принимают: для решеток $K = \frac{a+c}{a}$, для се-

ток $K = \left(\frac{a+c}{a} \right)^2$, здесь a – расстояние между стержнями в свету, см; c – толщина стержней, см.

Для сеток размер ячейки в свету для плоских съемных сеток принимается 2; 3,5; 4,5 мм, для вращающихся – 2–3 мм; толщина проволоки принимается равной 1; 1,2 мм. Расстояния в свету между стержнями решетки следует принимать от 20 до 70 мм. Толщина стержней может составлять 6–12 мм.

В водоприемниках с фильтрующими кассетами или фильтром площадь водоприемных отверстий Ω , м², вычисляют при

$$K = \frac{1}{n_{\phi}},$$

где n_{ϕ} – пористость фильтра; для гравийно-щебеночных фильтров принимают в пределах от 0,3 до 0,5, керамзитовых – от 0,30 до 0,45, полиэтиленовых – от 0,4 до 0,5. Решетка и сетка подбираются исходя из стандартных размеров водоприемных окон и проверяется скорость движения воды с новыми размерами окон [2].

Решетка представляет собой металлическую раму с металлическими стержнями из полосовой или круглой стали (рис. 2.4). Рекомендуется принимать размеры сородерживающих решеток в зависимости от размеров водоприемных отверстий согласно табл. А1 прил. А.

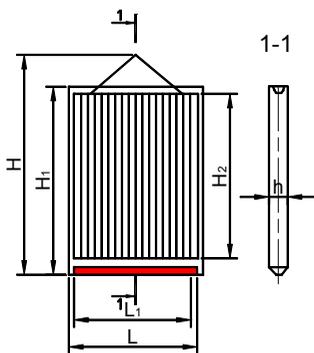


Рис. 2.4. Сородерживающая решетка

2.2.2. Определение потерь напора на решетках

Потери давления в решетках $h_{\text{реш}}$ вычисляют по формуле

$$h_{\text{реш}} = \xi_{\text{реш}} \frac{v_{\text{ок}}^2}{2g},$$

где $v_{\text{ок}}$ – скорость воды в решетке, м/с; определяется из условия работы водозабора в особых условиях.

Коэффициент сопротивления в решетках $\xi_{\text{реш}}$ вычисляют по формуле

$$\xi_{\text{реш}} = K \left(\frac{c}{c+a} \right)^{1,6} \cdot \left(2,3 \frac{l_c}{a} + 8 + 2,4 \frac{a}{l_c} \right) \sin \alpha,$$

где K – коэффициент; принимают равным для стержней: прямоугольного сечения – 0,504; то же с закругленными входными краями – 0,318;

l_c – ширина стержней, мм;

α – угол наклона решетки к горизонту, градус.

Для решетки со стержнями круглого сечения с диаметром d_c коэффициент сопротивления $\xi_{\text{реш}}$ вычисляют по формуле

$$\xi_{\text{реш}} = 1,79 \left(\frac{d_c}{a} \right)^{1/3} \sin \alpha.$$

Сетки служат для предварительной механической очистки воды от взвесей, прошедших через решетки сооружения. Сетки по конструкции бывают плоские и вращающиеся. Вращающиеся сетки следует применять в средних и тяжелых условиях загрязненности источника, а также при производительности водозабора более 1 м³/с. Основные размеры плоских сеток приведены в табл. А2 прил. А.

Сетки вращающиеся представляют собой каркас, на котором закреплены два барабана – верхний приводной и нижний ведомый. На барабаны натянута лента, состоящая из отдельных, соединенных между собой шарнирно звеньев – плоских сеток. Размеры этих звеньев по высоте равны 250–600 мм. Ширина их стандартизирована в зависимости от требуемой рабочей площади сетки (1500, 2000 и 3000 мм). Производительность сеток составляет от 1 до 8 м³/с. Промывка сетки производится непрерывно или автоматически по достижении соответствующей степени загрязнения.

Потери напора на сетках для особых условий работы водозабора принимаются равными 0,15–0,2 м [3].

Расчет диаметров водоводов D следует производить по значениям допустимых скоростей в условиях нормального режима работы водозаборного сооружения по формуле

$$D = \sqrt{\frac{Q_{pc}}{0,785v_{доп}}}, \text{ м,}$$

где $v_{доп}$ – допустимая скорость в трубопроводе, м/с.

Допустимую скорость в самотечных водоводах следует принимать по табл. 2.1 [1].

Таблица 2.1

Допустимая скорость движения воды в самотечных водоводах

Диаметр водоводов, мм	Скорость движения воды, м/с, в водозаборах категории	
	I	II, III
От 300 до 500	0,7–1,0	1,0–1,5
От 800 до 800	1,0–1,4	1,5–1,9
Свыше 800	1,5	2,0

2.2.3. Отметки уровней воды в береговом колодце

Расчетные отметки воды определяют в зависимости от уровня воды в источнике и потерь напора при разных режимах работы самотечных труб при минимальном и максимальном уровнях вод. По-

тери напора во всех элементах водозабора до рассматриваемого участка определяются согласно [4, прил. А] при особых условиях эксплуатации водозабора. При этом расчетный расход для водозабора I категории принимается $Q_p = Q$ (приведен в задании), для водозаборов II и III категорий $Q_p = 0,7Q$.

В приемном отделении берегового колодца отметка уровня воды $Z_{пр}$ при минимальном уровне $Z_{мин}$

$$Z_{пр} = Z_{мин} - \sum h_{пот} ,$$

где $\sum h_{пот}$ – суммарные потери от входа воды в водозаборное сооружение до приемной камеры. В общем случае эти потери складываются из потерь напора на входе в сооружение, на решетках, потерь в самоотечных водоводах и потерь напора на выходе из сооружения.

Во всасывающем отделении берегового колодца уровень воды (максимальный и минимальный) $Z_{вс}$ будет меньше на величину потерь напора на сетке (рис. 2.5).

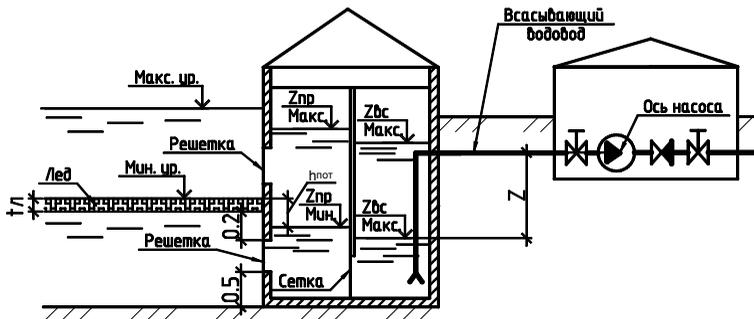


Рис. 2.5. Схема водозабора к определению отметок уровней воды

2.2.4. Определение отметки оси насосов

При определении отметки оси насоса расчетный расход принимается из условия работы водозабора в особых условиях эксплуатации (расход для водозабора I категории $Q_p = Q$, для водозаборов II и III категорий $Q_p = 0,7Q$).

Отметка оси насоса при положительной высоте всасывания определяется из условия недопущения образования кавитации путем нахождения геометрической высоты всасывания Z (см. рис. 2.5) по формуле [5]

$$Z = h_{\text{атм}} - \Delta h_{\text{доп}} - h_{\text{пж}} - \sum h_{\text{пот}}^1,$$

где $h_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, м вод. ст.;

$\Delta h_{\text{доп}}$ – допускаемый кавитационный запас (NPSHr), который приводится в характеристике насоса в зависимости от его подачи;

$h_{\text{пж}}$ – давление паров жидкости, зависящее от температуры жидкости [5]; для температуры воды 20°C $h_{\text{пж}} = 0,23$ м;

$\sum h_{\text{пот}}^1$ – потери напора от входа во всасывающий водовод до насоса (см. рис. 2.5).

Допускаемый кавитационный запас $\Delta h_{\text{доп}}$ – это абсолютное минимальное давление, которое необходимо обеспечить на входе в насос с целью исключения кавитации.

При расположении насоса под заливом превышение минимального уровня воды в камере над осью насоса во избежание попадания воздуха в насос должно быть не менее 1 м.

2.3. Насосная станция I подъема

При проектировании новых насосных станций следует учитывать возможности [5]:

- обеспечения подачи воды на объект в ближайшие 10–15 лет;
- максимального использования существующего оборудования и зданий;
- минимального заглубления машинного зала;
- установки более мощного оборудования при перспективном развитии.

2.3.1. Всасывающие и напорные линии насосных станций

Всасывающие и напорные трубопроводы необходимо располагать внутри помещений насосных станций таким образом, чтобы они были доступны для монтажа, осмотра и ремонта.

Расстояние по вертикали от низа всасывающих и напорных трубопроводов до пола машинного помещения в незаглубленных и заглубленных насосных станциях должно быть не менее 300 мм при диаметре трубопроводов до 300 мм и 400 мм при диаметре трубопроводов более 300 мм.

При прокладке трубопроводов над полом необходимо предусматривать переходные мостики с перилами, лестницы или тумбы для обслуживания оборудования.

Всасывающий и напорный трубопроводы каждого насоса должны быть оснащены приборами для замера давления.

Всасывающие трубопроводы как внутри насосной станции, так и за ее пределами следует выполнять из стальных труб на сварке с применением фланцевых соединений для присоединения арматуры.

Входное отверстие всасывающей трубы во избежание попадания воздуха во всасывающую трубу необходимо заглублять на 0,5–1,0 м ниже минимального уровня воды в резервуаре.

Всасывающие линии необходимо укладывать с уклоном не менее 5 ‰ с подъемом к насосу. В местах изменения диаметра трубопровода следует применять эксцентрические переходы.

На всасывающем трубопроводе каждого насоса необходимо устанавливать запорную арматуру.

Скорость движения воды во всасывающем и напорных трубопроводах трубопроводе следует принимать по табл. 2.2 [4].

Таблица 2.2

Скорости движения воды в трубопроводах

Диаметр водоводов, мм	Скорость движения воды в трубопроводах насосных станций, м/с	
	Всасывающие трубопроводы	Напорные трубопроводы
До 250	0,6–1,0	0,8–2,0
Св. 250 до 800 включ.	0,8–1,5	1,0–3,0
Свыше 800	1,2–2,0	1,5–4,0

Расположение всасывающей трубы в приемной камере следует выполнять в соответствии с рис. 2.6, при этом для уменьшения местных потерь при входе потока во всасывающую трубу диаметр входного сечения $D_{\text{вх}}$ по сравнению с диаметром трубы $d_{\text{тр}}$ следует увеличивать в 1,25–1,30 раза.

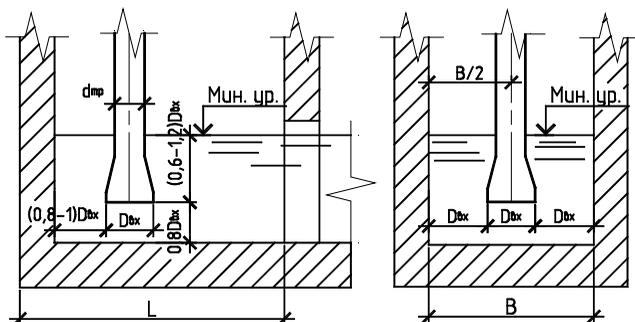


Рис. 2.6. Расположение всасывающей трубы в камере

Ширина водоприемной камеры обычно принимается $B = 3D_{\text{вх}}$, а длина камеры L определяется из условия, что отношение объема воды в приемной камере $V_{\text{в}}$ к средней подаче насоса $Q_{\text{ср}}$ должно быть от 15 до 20.

При наличии в водоприемной камере двух и более всасывающих труб расстояние между ними должно быть от $1,5D_{\text{вх}}$ до $2D_{\text{вх}}$.

Напорные трубопроводы внутри насосной станции следует принимать из стальных труб на сварных и фланцевых соединениях.

Напорные трубопроводы от насосов необходимо оборудовать обратным клапаном непосредственно на выходе, а затем задвижкой или затвором.

Количество напорных линий, идущих от насосных станций I и II категории, должно быть не менее двух.

2.3.2. Определение размеров в плане и в вертикальной плоскости

При определении площади машинного зала следует учитывать расстояние между насосами и электродвигателями, между насосами

и стеной и проходы вокруг оборудования. Ширину проходов следует принимать не менее:

- между насосами и (или) электродвигателями – 1 м;
- между насосами или электродвигателями и стеной в заглубленных помещениях – 0,7 м, в прочих – 1 м;
- между неподвижными выступающими частями оборудования – 0,7 м.

Высота машинного зала определяется грузоподъемным устройством для монтажа и демонтажа насосного оборудования, габаритными размерами насосов.

Высота установки грузоподъемного устройства над монтажной площадкой должна быть не менее 3,5 м.

Для доставки, монтажа и ремонта насосного оборудования в машинном зале необходимо предусматривать монтажную площадку на уровне поверхности земли в торце здания.

Размеры фундамента под насосом принимают не менее чем на 15 см больше ширины и длины плиты или рамы, на которой смонтированы насос и приводной электродвигатель. Высоту фундамента над уровнем пола следует принимать не менее 0,10 м.

Для доставки оборудования на монтажную площадку предусматривают ворота, ширина которых должна быть на 0,25–0,30 м больше ширины наибольшего насоса, а высота принимается не менее 2,5–3,0 м.

2.3.3. Оборудование насосных станций

Насосные станции включают частично или полностью содержат следующие группы оборудования [5]:

- основное энергетическое;
- механическое;
- вспомогательное;
- электрические устройства;
- санитарно-технические устройства;
- технические средства противопожарной защиты.

Основное энергетическое оборудование содержит насосы и приводные двигатели. Количество насосов определяется максимальной подачей насосной станции и мощностью насоса.

Механическое оборудование включает в себя задвижки (затворы) с электроприводом и подъемно-транспортные механизмы.

В состав вспомогательного оборудования входят системы технического водоснабжения, дренажно-осушительная, маслоснабжения (при необходимости) и вакуум-система, контрольно-измерительные приборы и системы автоматизации.

2.3.4. Определение полного напора и подбор насосов

Для подбора насосного агрегата по известному расходу необходимо определить полный напор H , развиваемый насосом на данную водопроводную сеть. Расход, приходящийся на один насосный агрегат:

$$Q_p = \frac{Q}{n},$$

где n – количество рабочих насосных агрегатов, принимаемое с учетом их характеристик по расходу, напору и мощности, а также минимального их количества при размещении в здании насосной станции. От количества рабочих агрегатов будет зависеть количество резервных агрегатов, также устанавливаемых в здании насосной станции (табл. 2.3) [4].

Таблица 2.3

Количество резервных насосов

Количество рабочих насосов одной группы, шт.	Количество резервных насосов, шт., в насосных станциях категорий		
	I	II	III
До 6 включ.	2	1	1
Св. 6 до 9 включ.	2	1	–
Свыше 9	2	2	–

Полный напор насоса определяется по формуле [5]

$$H = \pm H_{\Gamma} + h_{\text{пв}} + h_{\text{пн}} + h_{\text{св}},$$

где H_{Γ} – геометрическая высота подъема воды, м;

$h_{\text{пв}}$ – потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

$h_{\text{пн}}$ – потери напора в напорном трубопроводе, м;

$h_{\text{св}}$ – требуемое свободное давление на выходе сети.

Геометрическая высота подъема воды H_{Γ} определяется как разность уровней воды во всасывающей камере при минимальном уровне и уровня воды в водонапорной башне или диктующей точкой, куда подается вода. Потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах можно определить как сумму потерь напора по длине h_l и местных потерь напора h_w :

$$h_{\text{пв}} = h_l + h_w;$$

$$h_{\text{пн}} = h_l + h_w.$$

Основными характеристиками насоса при заданном числе оборотов и диаметре рабочего колеса являются:

зависимость напора от подачи $h = f(Q)$;

зависимость мощности от подачи $N = f(Q)$;

зависимость коэффициента полезного действия от подачи $\eta = f(Q)$;

зависимость допустимого кавитационного запаса от подачи $\Delta h = f(Q)$.

Для подбора насоса необходимо проанализировать совместную работу насоса и водопроводной сети для обеспечения им расчетного расхода Q_p , требуемого для потребителя. Характеристика сети при прочих равных условиях будет определяться как функция расхода, т. е. потери напора для данной сети зависят от расхода $h = f(Q)$. Графоаналитическим способом путем наложения характеристики сети и напорной характеристики насоса по рабочей точке определяются фактические параметры работы насосного агрегата: напор

H_a и расход Q_a . Насосный агрегат считается подобранным верно, если найденный по графику расход Q_a больше (не более 10 %) или равен расходу Q_p для конечного потребителя.

Для перекачки воды применяются центробежные насосные агрегаты с двухсторонним подводом воды типа «Д», консольные типа «К», консольно-моноблочные, насосы типа «ЦНС» и др.

2.3.5. Дренажные насосы

Дренажные насосы предназначены для откачки из подземной части насосной станции грунтовых вод, фильтрующихся через стены здания, утечек через сальники насосов и воды, изливающейся при ремонте оборудования. В машинном помещении заглубленных и наземных насосных станций необходимо предусматривать приямок для отвода дренажных вод. Размер приямка определяют временем работы дренажного насоса в течение 10–15 мин, но не менее $0,5 \times 0,5 \times 0,7$ м.

Вода к дренажному приямку подводится лотками, расположенными у стен. Пол делается с уклоном в сторону лотков (0,002–0,005).

Для отвода дренажных вод могут применяться погружные грязевые насосы типа ГНОМ, полупогружные насосы типа ПРВП и др.

2.4. Эксплуатация водозаборных сооружений

Опыт эксплуатации водозаборных сооружений свидетельствует, что имеющие место затруднения в их работе связаны с шуголедовыми помехами, завалом водоприемных устройств наносами, захватом в них воды с повышенным содержанием водной растительности, сора и планктона и др. [2].

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

Дополнительно для защиты водоприемных отверстий от плавающего сора, шуги, а также для отвода молоди рыб из зоны водозабора перед водоприемником могут устанавливаться запани или устраивать пневмозавесы.

Для предотвращения заилиения водоприемного колодца взвешенными наносами, поступающими вместе с водой и выпадающими в осадок вследствие резкого уменьшения скорости движения воды, колодец должен быть оборудован устройствами для их удаления – эжекторами, всасывающими водоводами грязевых насосов, приемками, а при больших расходах – взмучивающими водоводами.

На водозаборных сооружениях, водоприемники которых удалены от берега, импульсная промывка с последующим обратным током воды является одним из наиболее надежных профилактических мероприятий, обеспечивающих освобождение водоводов, водоприемника и сороудерживающих решеток от шугольда и сора.

Водоприемные окна с сороудерживающими решетками, самотечные, всасывающие и напорные трубопроводы на водозаборах подвержены внутреннему обрастанию дрейссеной. Обрастание это нередко бывает значительным и приводит к заметным потерям напора. Периодическое хлорирование отбираемой воды, скорость в водоводах более 2 м/с, пропаривание являются эффективными средствами против обрастания водоводов ракушкой.

2.5. Зоны санитарной охраны поверхностных источников водоснабжения

Зоны санитарной охраны должны предусматриваться в целях предупреждения их случайного или умышленного загрязнения, засорения и повреждения [6].

Зона санитарной охраны источника питьевого водоснабжения в месте забора воды должна состоять из трех поясов: первый – строгого режима; второй – режима ограничения; третий – режима ограничения.

Границы первого пояса зоны санитарной охраны водотока, в том числе водоподводящего канала, следует устанавливать:

- вверх по течению – на расстоянии не менее 200 м от водозабора;
- вниз по течению – на расстоянии не менее 100 м от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу на расстоянии не менее 100 м от линии уреза воды при летне-осенней межени.

В направлении к противоположному берегу в границы первого пояса зоны санитарной охраны водотока должны включаться:

- вся акватория и противоположный берег шириной 50 м от уреза воды при летне-осенней межени и ширине водотока менее 100 м;
- полоса акватории шириной не менее 100 м при ширине водотока более 100 м.

Границы второго пояса зоны санитарной охраны водотока следует устанавливать:

- вверх по течению, включая притоки, исходя из скорости течения воды, усредненной по ширине и длине водотока, или для отдельных его участков, чтобы время протекания воды от границы пояса до водозабора при среднемесячном расходе обеспеченностью 95 % было не менее 5 сут;

- вниз по течению – на расстоянии не менее 250 м от водозабора;
- боковые границы при равнинном рельефе местности – на расстоянии не менее 500 м от уреза воды при летне-осенней межени.

Границы третьего пояса зоны санитарной охраны водотока должны быть вверх и вниз по течению водотока такими же, как и для второго пояса. Боковые границы должны устанавливаться по линии водоразделов в пределах от 3 до 5 км, включая притоки.

3. ВОДОЗАБОРЫ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Выбор типа и схемы размещения водозаборных сооружений следует производить, исходя из геологических, гидрогеологических и санитарных условий района участка [1].

В общем случае водозабор из источников подземных вод должен состоять:

- из водоприемных сооружений;
- насосных станций первого подъема;
- сборных водоводов.

В качестве забора подземных вод из водоносного пласта в курсовом проекте рассматриваются водозаборные скважины. Водозаборные скважины являются наиболее распространенным, простым и надежным типом водозаборных сооружений, которые сооружаются для забора безнапорных и напорных вод.

3.1. Состав и схемы скважинных водозаборов

3.1.1. Состав сооружений скважинного водозабора

Основными элементами скважинного водозабора являются:
источник (водоносный пласт);
водозаборные скважины;
насосные станции;
трубопроводы;
водоводы и запасно-регулирующие емкости;
сборные водоводы и водоводы первого подъема.

Водозаборные скважины характеризуются глубиной, производительностью (дебитом), конструкцией (включая параметры фильтров и бесфильтровых водоприемных частей), а также способом бурения.

Насосные станции первого и второго подъема характеризуются различными типами павильонов (наземные, подземные и заглубленные), различными типами водоподъемного оборудования и составом арматуры (обвязки).

Основной элемент водоподъемного оборудования – насос – характеризуется следующими параметрами: размерами (диаметр, длина), производительностью, напором, затрачиваемой мощностью и коэффициентом полезного действия.

3.1.2. Схемы скважинных водозаборов

Схема размещения может быть линейной или площадной и, насколько позволяют гидрогеологические условия, наиболее компактной.

Система водоснабжения из подземных вод состоит из водозаборных скважин с насосными станциями, сборного водовода, сооружения водоподготовки, резервуара чистой воды, насосной станции первого подъема, водонапорной башни [7].

Плановое расположение отдельных сооружений скважинных водозаборов может быть подразделено на схемы, показанные на рис. 3.1 [7].

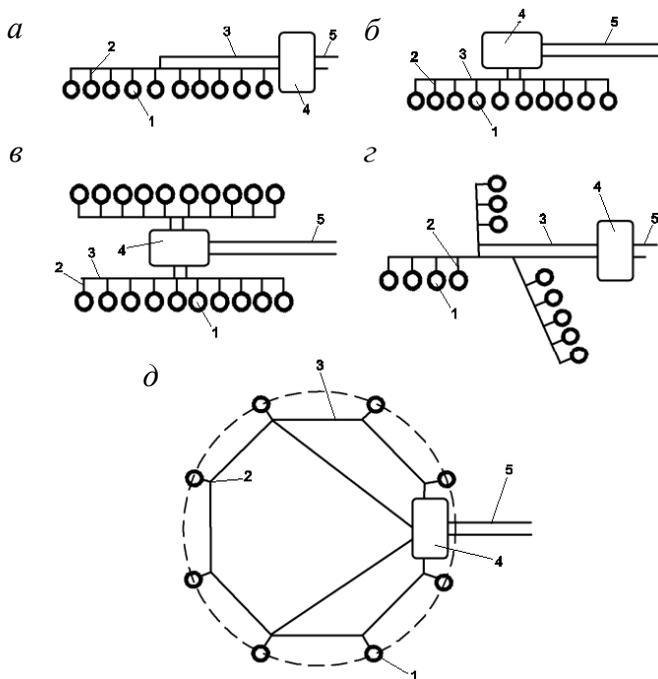


Рис. 3.1. Плановые схемы скважинных водозаборов:
а, б – линейный ряд скважин; *в* – площадная схема водозаборов с двумя рядами скважин; *г* – произвольная схема расположения скважин; *д* – кольцевая схема расположения скважин;
 1 – водозаборные скважины с насосными станциями первого подъема; 2 – отводной трубопровод; 3 – сборный водовод; 4 – головные сооружения; 5 – водовод

3.2. Основные элементы водозаборных скважин и их расчет

Водозаборная скважина является основным элементом скважинного водозабора и должна отвечать двум основным требованиям: обеспечить заданное количество воды с качеством, соответствующим составу воды выбранного водоносного горизонта, и быть надежной в эксплуатации.

В практике сооружения скважин на воду наиболее широкое применение получили конструкции скважин, представленные на рис. 3.2, и два способа бурения: вращательный с прямой или обратной промывкой и ударно-канатный.

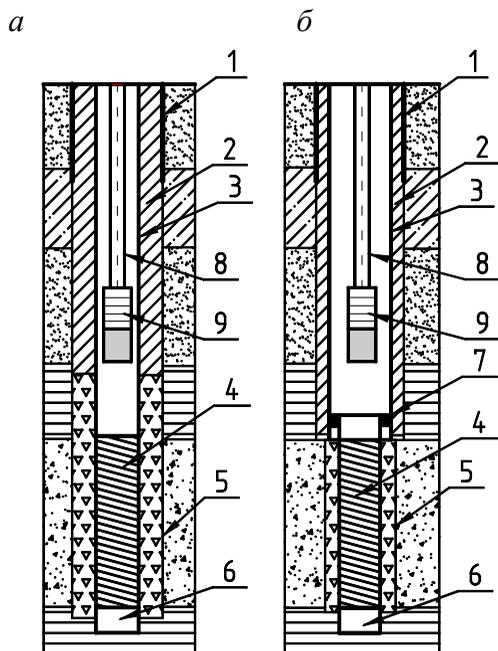


Рис. 3.2. Конструкции водозаборных скважин с водоподъемным оборудованием:

a – на сплошной колонне с фильтром и гравийной обсыпкой; *б* – с фильтром, установленным впотай, и гравийной обсыпкой;

1 – кондуктор; 2 – цементация; 3 – обсадная труба; 4 – фильтр; 5 – гравийная обсыпка; 6 – отстойник; 7 – сальник; 8 – водоподъемная колонна; 9 – электронасосный агрегат

3.2.1. Конструкция водозаборной скважины и ее обвязка

Скважина состоит из следующих основных элементов: направляющей колонны, кондуктора, эксплуатационной колонны, цементной или другой защиты и водоприемной части (рис. 3.3).

Фильтровая колонна в неустойчивых водоносных породах состоит из рабочей части, надфильтровой колонны с сальником (при необходимости) и отстойника. Сальник применяется при расположении фильтра скважины впотай. Если водоносные породы устойчивы, проектируют бесфильтровые скважины.

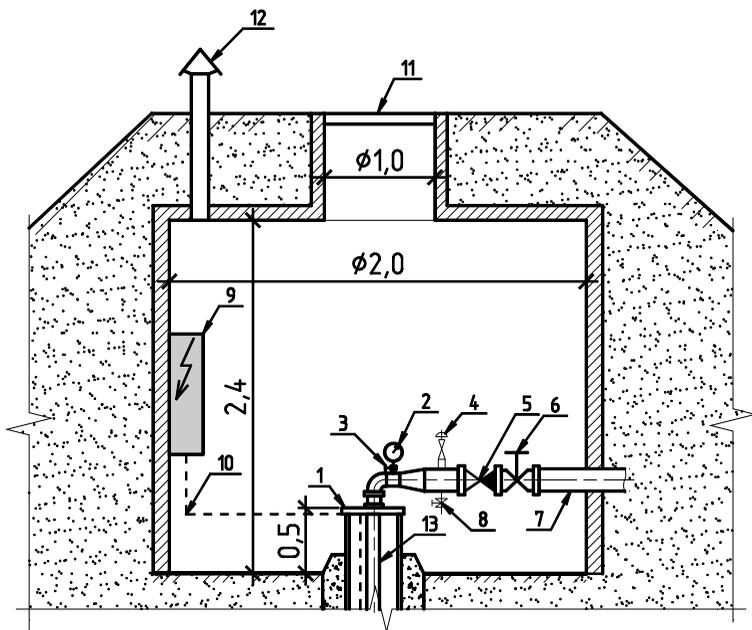


Рис. 3.3. Подземный павильон с обвязкой скважины:
 1 – оголовок; 2 – манометр; 3 – кран трехходовой; 4 – вентуз; 5 – обратный клапан;
 6 – задвижка; 7 – напорный трубопровод; 8 – кран для отбора проб; 9 – щит управления;
 10 – кабель; 11 – люк; 12 – вентиляция; 13 – водоподъемная колонна

Внутренний диаметр эксплуатационной колонны обсадных труб в скважинах следует принимать не менее чем на 50 мм больше наружного диаметра устанавливаемого в скважине погружного насосного агрегата.

Верхняя часть эксплуатационной колонны труб должна выступать над полом не менее чем на 0,5 м.

Конструкция оголовка скважины должна обеспечивать полную герметизацию, исключая проникновение в межтрубное пространство скважины поверхностной воды и загрязнений.

3.2.2. Фильтры водозаборных скважин

Гидрогеологические условия Республики Беларусь чаще всего обуславливают необходимость оборудования водозаборных сква-

жин фильтрами, основное назначение которых заключается в том, чтобы удерживать стенки скважин от обрушения, обеспечивая при этом свободный пропуск воды в ствол скважины.

Фильтры должны удовлетворять следующим требованиям:

обеспечивать поступление воды в скважину с минимальными гидравлическими сопротивлениями;

обладать необходимой механической прочностью;

обеспечивать поступление воды в скважину без механических примесей;

быть устойчивыми против коррозии и инкрустации (солеотложения);

гарантировать долговечность эксплуатации не менее 25 лет;

обеспечивать ремонтпригодность с применением устройств по их очистке.

Рекомендуется применять следующие типы и конструкции фильтров:

каркасно-стержневые;

трубчатые с щелевыми или круглыми отверстиями;

с проволочной обмоткой;

сетчатые;

полимерные кольцевые.

Из всех перечисленных конструкций фильтров наилучшими показателями, предъявляемые к фильтрам, обладают каркасно-стержневые (рис. 3.4). Фильтрующая поверхность (профилированная проволока) доступна для химической и механической чистки, так как отсутствуют мертвые пространства между фильтрующей и опорной поверхностями. Скважность таких фильтров может достигать 80 %. Фильтры на стержневых каркасах рекомендуется применять в скважинах глубиной до 200 м.

Фильтры на трубчатом каркасе с проволочной обмоткой также получили распространение ввиду простоты изготовления. Скважность таких фильтров составляет 20–25 %. Недостатками их являются накопление кольматирующих соединений между проволокой и каркасом и трудность извлечения таких соединений.

Проволока для фильтров может быть трапецидального, прямоугольного или квадратного сечения. Диаметр проволоки может быть в пределах от 2 до 4 мм.

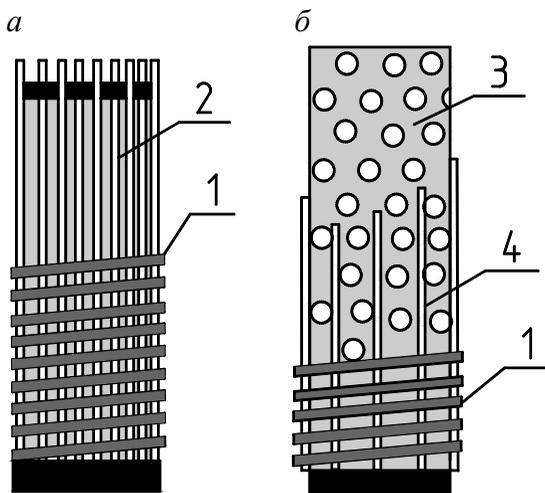


Рис. 3.4. Основные конструкции фильтров скважин:

а – на основе стержневых каркасов; *б* – на основе трубчатых каркасов с круглой перфорацией;

1 – проволочная обмотка из нержавеющей стали; 2 – стержневой каркас на опорных кольцах; 3 – трубчатый каркас с круглой перфорацией; 4 – опорные проволочные стержни под проволочную обмотку (диаметр 5–10 мм)

Наружный диаметр трубчатого каркаса и внутренний диаметр каркасно-стержневых фильтров зависят от диаметров стандартных труб, применяемых при изготовлении фильтров (ГОСТ 10706–91, ГОСТ 8732–78) и составляют 102, 127, 146, 168, 219, 273, 325, 377, 426 мм.

Сетчатые фильтры ввиду их больших гидравлических сопротивлений вследствие коагуляции ячеек сетки менее распространены.

Диаметр фильтра устанавливается исходя из проектного дебита скважины с учетом возможности при необходимости устройства гравийной обсыпки. Толщина гравийной обсыпки должна быть не менее 75 мм [8]. Диаметр каркаса фильтра следует принимать не менее 100 мм для выполнения различных способов ремонтных работ. Скорость движения воды в водоподъемных трубах не должна превышать 1,5 м/с.

Рабочую часть фильтра следует устанавливать на расстоянии не менее 0,5 м от кровли и подошвы водоносного пласта [7].

Длина надфильтровых труб, когда фильтр установлен впопай, принимается:

при глубине скважины до 50 м – выше башмака эксплуатационной колонны не менее чем на 3 м;

при глубине скважины более 50 м – выше башмака эксплуатационной колонны не менее чем на 5 м;

при любой глубине скважины, если водоносный горизонт представлен пльвунами и мелкозернистыми песками, – не менее 5 м.

Длина отстойников в фильтровых колоннах, как правило, должна приниматься от 0,5 до 1,0 м и не более 2,0 м.

3.2.3. Подбор и расчет фильтров

При расчете фильтров определению подлежат их длина, диаметр, скважность и размер проходных отверстий. Перечисленные параметры фильтра определяют с таким расчетом, чтобы входные скорости v_{ϕ} не превышали допустимую скорость $v_{\text{доп}}$ для фильтра, т. е.

$$v_{\phi} \leq v_{\text{доп}}.$$

Входная скорость v_{ϕ} определяется из уравнения неразрывности потока воды:

$$Q_{\text{макс}} = w \cdot v_{\phi} \Rightarrow v_{\phi} = \frac{Q_{\text{макс}}}{w},$$

где $Q_{\text{макс}}$ – максимальная производительности скважины, м³/сут;

w – площадь фильтрующей поверхности фильтра, м².

Площадь фильтрующей поверхности фильтра

$$w = \pi \cdot D_{\phi} \cdot l_{\phi},$$

где D_{ϕ} – диаметр фильтра, м;

l_{ϕ} – длина рабочей части фильтра, м.

Длину рабочей части фильтра для получения максимально возможного дебита теоретически следует выбирать, исходя из следующих условий:

а) при *однородном напорном водоносном горизонте*: при мощности водоносного пласта $M < 20$ м $l_{\phi} = (0,8-0,9)M$; при $M > 20$ м $l_{\phi} = 0,8 \cdot M$;

б) при *неоднородном напорном водоносном горизонте* фильтр следует устанавливать в наиболее водопроницаемом участке водоносной толщи;

в) при *однородном безнапорном водоносном горизонте* фильтр следует устанавливать ниже 1/3 водоносного горизонта.

При определении общей длины рабочей части фильтра соединительные муфты между секциями фильтров не учитываются.

Допустимая скорость фильтрации (входная скорость в фильтр) $v_{\text{доп}}$, м/сут, определяется по формуле:

– для дырчатых, щелевых, проволочных и сетчатых фильтров

$$v_{\text{доп}} = 65\sqrt[3]{k_{\phi}};$$

– для гравийных и блочных фильтров

$$v_{\text{доп}} = 1000 \cdot k_{\phi} \cdot \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2,$$

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

d_{50} – размер частиц, меньше которых в водоносном пласте содержится 50 % по массе, мм;

D_{50} – размер частиц, меньше которых в гравийной обсыпке содержится 50 % частиц по массе, мм.

Диаметр фильтра определяется по формуле

$$D_{\phi} = \frac{Q_{\text{макс}}}{\pi \cdot l_{\phi} \cdot v_{\text{доп}}}.$$

При расчете фильтра необходимо, чтобы его диаметр был не более 325 мм, исходя из применяемой технологии его установки для территории Республики Беларусь.

Размеры проходных отверстий фильтров назначаются в зависимости от гранулометрического состава контактирующей породы водоносного пласта или гравийной обсыпки. Максимальный размер отверстий фильтра не должен быть больше минимального диаметра частиц гравийной обсыпки, примыкающей к стенкам фильтра, и приниматься по табл. 3.1 [7].

Таблица 3.1

Параметры песчано-гравийной и гравийной обсыпки для фильтров

Минимальный диаметр зерен $D_{\text{мин}}$, мм	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	5,5	8,0
Максимальный диаметр зерен $D_{\text{макс}}$, мм	1,0	1,5	2,0	3,0	5,5	8,0	16,0
Средний диаметр зерен D_{50} , мм	0,75	1,12	1,5	2,5	4,25	6,75	12
Максимальный размер отверстий фильтра, мм	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0

Максимальный размер щели фильтра должен быть равен или менее минимального диаметра частиц гравийной обсыпки.

3.3. Гидрогеологические и гидравлические расчеты скважинных водозаборов

Для определения рациональной схемы водозабора определяют максимальное понижение уровня воды в скважине S и дебит скважины Q_c с учетом допустимых скоростей входа воды в фильтр и его гидравлического сопротивления. Затем производят выбор плановой схемы водозабора (линейной, кольцевой, площадной или произвольной) и определяют оптимальное расстояние между скважинами. После этого находят местоположение резервуаров чистой воды и насосной станции второго подъема, производят расчеты по выбору трубопроводов, их диаметров, а также по выбору насосного оборудования для скважин.

3.3.1. Определение дебита водозаборных скважин

При установившемся движении и совершенной скважине приток воды к ней определяют по формуле Дюпюи [3]:

$$Q_c = \frac{2,73 \cdot k_{\phi} \cdot M \cdot S}{\lg \frac{R}{r}}, \text{ м}^3/\text{сут},$$

где r и R – соответственно радиус скважины и радиус влияния, м (рис. 3.5);

$S = H - h$, где H – полный напор воды в скважине, т. е. разность между статическим уровнем воды в скважине и подошвой водоносного пласта, м. Ориентировочно принимают: для напорных пластов $S_{\text{доп}} \leq 0,75H$; для безнапорных пластов $S_{\text{доп}} \leq 0,5H$.

h – разность между динамическим уровнем воды и подошвой водоносного пласта, м.

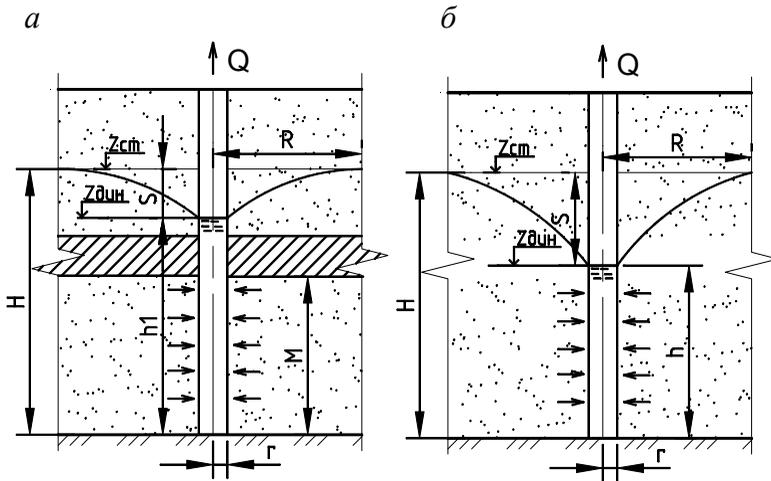


Рис. 3.5. Расчетная схема скважин:
а – напорный пласт; б – безнапорный пласт

Для совершенной скважины, питаемой безнапорными водами, приток воды к ней определяют по формуле

$$Q_c = \frac{1,36 \cdot k_{\phi} \cdot (H^2 - h^2)}{\lg \frac{R}{r}}, \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Коэффициенты фильтрации k_{ϕ} и радиусы влияния R для расчетов принимают в зависимости от характеристики водоносных пород на основании гидрогеологических изысканий или по табл. Б1 прил. Б.

Несовершенство водозаборных скважин вызвано двумя факторами, которые увеличивают гидравлическое сопротивление и в конечном счете уменьшают дебит скважин. В первом случае вскрытие происходит не на полную мощность водоносного горизонта (несовершенство по степени вскрытия водоносного горизонта). Степень несовершенства в расчетах учитывают коэффициентом ξ_1 . Во втором случае – по характеру вскрытия – несовершенство обусловлено наличием водонепроницаемых промежутков между входными отверстиями в фильтрах. Вследствие этого возникают дополнительные гидравлические сопротивления, учитываемые в расчетах коэффициентом ξ_2 .

В расчетах несовершенство водозаборных скважин учитывается путем добавления в знаменатель формул по определению дебита скважин коэффициентов ξ_1 и ξ_2 .

По табл. Б2 прил. Б в зависимости от отношения $\frac{l_{\phi}}{M}$ и $\frac{M}{r}$ находят ξ_1 . Для новых правильно подобранных фильтров можно принимать $\xi_2 \approx 1$.

3.3.2. Расчет группы взаимодействующих скважин

Если требуемый расход воды не может быть обеспечен одной скважиной (например, диаметр фильтра $D_{\phi} > 325$ мм или получено большое понижение S), проектируют группу скважин.

При большом суточном водопотреблении возникает необходимость забора воды сразу из нескольких скважин, то есть происходит захват воды группой скважин.

С целью более полного захвата воды и обеспечения более благоприятных условий питания наиболее часто скважины располагают по возможности в одну линию. Если расстояние между скважинами превышает $2R$, то их влияние друг на друга в расчетах не учитывают и они работают как одиночные. Однако такое расположение экономически невыгодно, так как при этом возрастает стоимость за счет большой длины коммуникаций (сборные водоводы, линии электропередач, эксплуатация дороги и т. д.). Для уменьшения длины коммуникаций и улучшения условий эксплуатации скважины сближают, и они начинают влиять друг на друга, снижая дебит.

Расчет группы взаимодействующих скважин заключается в определении их числа, производительности, расстояний между ними, понижения уровней. Проводят его в такой последовательности.

Определяют дебит одиночной скважины и радиус влияния R , т. е. расстояние от центра скважины до точки восстановления статического уровня, вычисляют по формуле

$$R = 1,5\sqrt{a \cdot t} \text{ , м,}$$

где a – коэффициент пьезопроводности (скорость распространения давления в пласте), $\text{м}^2/\text{сут}$. Для напорных пластов

$$a = k_{\phi} \frac{M}{\mu} \text{ ,}$$

где μ – коэффициент водоотдачи (табл. Б1 прил. Б).

Для безнапорных пластов

$$a = k_{\phi} \frac{h_{\text{ср}}}{\mu} \text{ ,}$$

$h_{\text{ср}}$ – средняя мощность водоносного слоя в период откачки, м,

$$h_{\text{ср}} = 0,8H \text{ .}$$

t – нормативное время эксплуатации скважины, лет; в зависимости от назначения скважины принимают 25 лет.

Дебит взаимодействующей скважины определяют по формуле

$$Q_{\text{вз}} = \alpha_{\text{вз}} \cdot Q_{\text{с}},$$

где $\alpha_{\text{вз}}$ – коэффициент взаимодействия, зависящий от расстояния между скважинами l , для практических расчетов принимают по табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значение коэффициента взаимодействия $\alpha_{\text{вз}}$

Расстояние между скважинами l , м	$2R$	R	$0,5R$	$0,2R$	$0,02R$	$0,002R$
$\alpha_{\text{вз}}$	1	0,97	0,9	0,81	0,64	0,53

Задаются расстояниями между скважинами в зависимости от характеристики и мощности водоносного пласта (табл. 3.3) [9].

Таблица 3.3

Расстояния между водозаборными скважинами

Водоносная порода	Производительность скважины, м ³ /ч		
	До 20	20–100	100–500
Песок мелкий	50	50–70	70–100
Песок среднезернистый	70–100	100–150	120–150
Песок крупнозернистый	100–120	120–150	150–200
Гравийные и трещиноватые породы	120–150	150–200	200–250

Определяют число рабочих скважин из условия, что требуемый расход Q обеспечивается группой n взаимодействующих скважин, т. е. $Q = n \cdot Q_{\text{вз}}$, откуда

$$n = \frac{Q}{Q_{вз}},$$

где Q – суммарный дебит группы взаимодействующих скважин, м³/сут (приведен в задании).

Число рабочих скважин n округляют до целого n_p . Число резервных скважин определяют согласно табл. 3.4 [7].

Таблица 3.4

Количество резервных скважин

Количество рабочих скважин	Количество резервных скважин на водозаборе категории		
	I	II	III
От 1 до 4	1	1	1
От 5 до 12	2	1	–
13 и более	20 %	10 %	–

Исходя из принятого числа рабочих скважин и требуемого расхода, уточняют фактический дебит взаимодействующей скважины:

$$Q_{вз.ф} = \frac{Q}{n_p}, \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Определяют понижение уровня, м:

– в каждой скважине:

$$S = \frac{0,37 \cdot Q_c}{k_\phi \cdot M} \lg \frac{R}{r};$$

– суммарное (наибольшее) понижение [10, 11]:

$$S = \frac{0,37}{k_\phi \cdot M} \left(Q_{c1} \lg \frac{R}{r_0} + Q_{c2} \lg \frac{R}{r_{2-1}} + Q_{c3} \lg \frac{R}{r_{3-1}} + \dots + Q_{ci} \lg \frac{R}{r_{i-1}} \right),$$

где r_0 – радиус скважины № 1 (в которой определяется понижение), м;
 r_{2-1} , r_{3-1} и т. д. – расстояние от скважины № 1 до последующих скважин, м.

В расчетах принимают допущения, что для всех скважин мощность водоносного пласта и коэффициент фильтрации одинаковы, в скважинах установлены насосы равной подачи Q_c , поэтому дебиты всех взаимодействующих скважин равны, т. е.

$$Q_{c1} = Q_{c2} = Q_{c3} = \dots = Q_{ci}.$$

Полученное расчетом максимальное понижение S_{\max} сравнивают с допусаемым понижением $S_{\text{доп}}$. Если $S_{\max} > S_{\text{доп}}$, то расчет повторяют, увеличив расстояние между скважинами.

Для определения $S_{\text{доп}}$, зависящего от конструкции скважины, места положения фильтра, глубины установки насоса, мощности пласта и величины слоя воды, предложено несколько формул.

Для напорных пластов

$$S_{\text{доп}} \approx H - [(0,3-0,5)M + \Delta h_n + \Delta h_\phi],$$

где Δh_n – максимальная глубина погружения нижней кромки насоса под динамический уровень в скважине, м;

Δh_ϕ – потери напора в скважине на входе через фильтр, м.

Для безнапорных пластов

$$S_{\text{доп}} = (0,5-0,7)H - \Delta h_n - \Delta h_\phi.$$

Определяют положение динамического уровня в скважине:

$$\nabla Z_{\text{дин}} = \nabla Z_{\text{ст}} - S_{\text{пр}},$$

где $\nabla Z_{\text{дин}}$ – отметка динамического уровня, м;

$\nabla Z_{\text{ст}}$ – отметка статического уровня, м;

$S_{\text{пр}}$ – принятое значение понижения уровня, м.

3.3.3. Подбор водоподъемного оборудования

Насосы, устанавливаемые в скважинах для постоянной эксплуатации, подбирают по расходу из одной скважины и напору. Часовую подачу насоса принимают равной фактическому часовому расходу скважины:

$$Q_{\text{нас}} = Q_{\text{ф}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Требуемый напор насоса, расположенного в эксплуатационной колонне, определяется исходя из места установления динамического уровня воды в скважине при откачке, места расположения наивысшей точки подачи, потерь напора в насосе, водоподъемной трубе и водоводе:

$$H_{\text{нас}} = h_{\text{н}} + H_{\text{г}} + h_{\text{пот}},$$

где $h_{\text{н}}$ – потери напора во всасывающих коммуникациях насоса;

$H_{\text{г}}$ – геодезическая высота водоподъема. Определяется как разность отметки динамического уровня в скважине (с учетом влияния соседних скважин) и уровня воды в подаваемый резервуар (башню). Здесь нужно расписать с учетом динамического уровня и влияния соседних скважин;

$h_{\text{пот}}$ – потери напора в водоподъемной трубе, арматуре и водоводе до места водоподдачи.

Для определения $h_{\text{пот}}$ необходимо вычислить диаметр и потери напора в сборных водоводах, по которым транспортируют воду от скважин к РЧВ. Принимаются сборные водоводы из стальных труб. Скорость в сборных водоводах принимается согласно табл. 2.2, минимальный диаметр 100 мм. Гидравлический расчёт сборных водоводов производят в табличной форме.

Для водозаборных скважин могут применяться погружные насосы типа ЭЦВ.

3.4. Эксплуатация водозаборов подземных вод

После завершения строительства комплекса сооружений для забора воды из подземных водоисточников их сдача в эксплуатацию сопровождается представлением строительно-монтажной организацией проектной и исполнительной технической документации по всем видам сооружений. По водозаборным сооружениям дополнительно представляются их паспорт, гидрогеологические параметры пройденных при бурении водоносных горизонтов, проект конструкции сооружения, способов бурения, данные результатов строительных и опытных откачек.

В состав технического обслуживания подземных водозаборов включают работы по контролю за дебитом, статическими и динамическими уровнями воды в скважинах и водозаборных колодцах, по исправности и герметичности оголовков, определению энергетических параметров водоподъемников.

Контроль за эксплуатацией станций управления насосами производят в соответствии с технологическими картами и инструкциями по их эксплуатации.

В течение расчетного срока эксплуатации водозаборов производят текущие и капитальные ремонты.

Определение межремонтного периода скважин основано на наблюдении за изменением удельного дебита скважины и показателя общего сопротивления фильтра и прифильтровой зоны. Основной работой по восстановлению дебита скважин на воду, оборудованных фильтрами, является удаление кольматирующих отложений с поверхности фильтра и прифильтровой зоны.

В состав текущего ремонта подземных водозаборных сооружений входят:

реагентная или гидроимпульсная обработка прифильтровых зон и фильтров;

ликвидация песчаных пробок;

устранение негерметичности стыков в водоподъемных трубах, напорных водоводах, монтажных вставках;

замена пришедших в негодность участков труб;

устранение повреждений сальников;

ремонт и замена вышедших из строя элементов станций управления насосами.

Следует особо подчеркнуть, что эксплуатация водоносных горизонтов насосами, не соответствующими, особенно превышающими по своим гидравлическим характеристикам гидрогеологические параметры водоносного пласта, приводит, с одной стороны, к нарушению гидравлических режимов притока воды в прифильтровую зону и может вызвать либо ее разрушение, либо ускоренную кольматацию, а с другой – к быстрому износу фильтров и электродвигателей и перерасходу электроэнергии.

3.5. Зоны санитарной охраны подземных источников водоснабжения

3.5.1. Границы первого пояса

Водозаборы подземных вод должны располагаться вне территории промышленных предприятий и жилой застройки. Расположение на территории промышленного предприятия или жилой застройки возможно при надлежащем обосновании. Граница первого пояса устанавливается на расстоянии не менее 30 м от водозабора – при использовании защищенных подземных вод – и на расстоянии не менее 50 м – при использовании недостаточно защищенных подземных вод [6].

Граница первого пояса ЗСО группы подземных водозаборов должна находиться на расстоянии не менее 30 и 50 м от крайних скважин.

Для водозаборов подземных вод размеры первого пояса ЗСО допускается сокращать по согласованию с территориальным центром гигиены и эпидемиологии до 15 и 25 м соответственно.

К защищенным подземным водам относятся напорные и безнапорные межпластовые воды, имеющие в пределах всех поясов ЗСО сплошную водоупорную кровлю, исключающую возможность местного питания из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов.

К недостаточно защищенным подземным водам относятся:

а) подземные воды первого от поверхности земли безнапорного водоносного горизонта, получающего питание на площади его пространства;

б) напорные и безнапорные межпластовые воды, которые в естественных условиях или в результате эксплуатации водозабора получают питание на площади ЗСО из вышележащих недостаточно защищенных водоносных горизонтов через гидрогеологические окна или проницаемые породы кровли, а также из водотоков и водоемов путем непосредственной гидравлической связи.

3.5.2. Граница второго и третьего поясов

Граница второго пояса ЗСО определяется гидродинамическими расчетами исходя из условий, что микробное загрязнение, поступающее в водоносный пласт за пределами второго пояса, не достигает водозабора.

Основным параметром, определяющим расстояние от границ второго пояса ЗСО до водозабора, является время продвижения микробного загрязнения с потоком подземных вод к водозабору, которое изменяется от 100 до 400 сут в зависимости от климатических районов и защищенности подземных вод.

Граница третьего пояса ЗСО, предназначенного для защиты водоносного пласта от химических загрязнений, также определяется гидродинамическими расчетами. При этом следует исходить из того, что время движения химического загрязнения к водозабору должно быть больше срока эксплуатации водозабора (обычный срок эксплуатации водозабора 25–50 лет).

Список используемых источников

1. Водозаборные сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.01-30–2009. – Минск : М-во стр-ва и архитектуры, 2009.
2. Водозаборные сооружения из поверхностных источников. Правила проектирования : ТКП 45-4.01-198–2010. – Минск : М-во стр-ва и архитектуры, 2011.
3. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учебное пособие / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : АСВ, 2003. – 288 с.
4. Наружные водопроводные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.01-32–2010. – Минск : М-во стр-ва и архитектуры, 2011.
5. Насосные станции систем водоснабжения. Правила проектирования : ТКП 45-4.01-200–2010.– Минск : М-во стр-ва и архитектуры, 2011.
6. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого водоснабжения : Санитарные нормы и правила Республики Беларусь : СанПиН 10-113 РБ 99.
7. Скважинные водозаборы. Правила проектирования. ТКП 45-4.01-199–2010. – Минск : М-во стр-ва и архитектуры, 2011.
8. Суреньянец, С. Я. Эксплуатация водозаборов подземных вод / С. Я. Суреньянец, А. П. Иванов. – М. : Стройиздат, 1989. – 80 с.
9. Белан, А. Е. Проектирование и расчет устройств водоснабжения / А. Е. Белан, П. Д. Хоружий. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Будівельник, 1981. – 192 с.
10. Плотников, Н. А. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод / Н. А. Плотников, В. С. Алексеев. – М. : Стройиздат, 1990. – 256 с.
11. Гуринович, А. Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами : Планирование, проектирование, строительство и эксплуатация / А. Д. Гуринович. – Минск : УП «Технопринт», 2004. – 244 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1

Размеры решеток

Размер, мм								Масса решетки, кг
Водоприемного окна	Решетки							
	H	H_1	H_2	h	h_1	L	L_1	
400 × 600	840	700	600	50	40	500	400	20
600 × 800	1040	900	800	50	40	700	600	33
800 × 1000	1255	1130	1000	65	50	930	800	52
1000 × 1200	1620	1320	1200	80	50	1100	1080	90
1200 × 1400	1820	1520	1400	80	50	1300	1280	120
1260 × 2000	2600	2200	1986	120	60	1424	1404	253
1250 × 2500	3100	2700	2486	120	60	1424	1404	300

Размеры плоских сеток

Размеры перекрываемого отверстия, мм		Наружные размеры сетки, мм		Масса сетки, кг, при диаметре проволоки 1,2 мм и размере ячеек 2 × 2 мм
		<i>H</i>	<i>L</i>	
800	800	930	930	47
	1000	1130		53,5
	1250	1380		61
	1500	1630		68,7
1000	800	930	1130	53,5
	1000	1130		60
	1250	1380		68
	1500	1630		88,8
	2000	2130		107,3
	2500	2630		119,5
1250	1000	1130	1380	67,8
1500	800	930	1630	69,2
	1000	1130		85,3
	1250	1380		97,2
	1500	1630		108,5
	2000	2130		127,5
	2500	2630		170,3
1750	1000	1130	1820	93,8
	1500	1630		118
	2000	2130		159
	2500	2630		185
2000	800	930	2130	91,7
	1000	1130		101,8
	1250	1380		114,7
	1500	1630		127,5
	2000	2130		172,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б1

Значения коэффициентов k_{ϕ} , R и μ

Водоносные породы	Диаметр частиц, мм	k_{ϕ} , м/сут	R , м	μ
Глинистые грунты, суглинки		0,01–0,1		0,01–0,05
Пески пылеватые, супеси	0,01–0,05	0,1–1,0		0,1–0,15
Пески				
Мелкозернистые	0,05–0,25	0,1–10,0	25–100	0,15–0,20
Средней крупности	0,25–0,5	10–25	100–300	0,20–0,25
Крупные	0,5–1,0	25–75	300–400	0,25–0,3
гравелистые	1–2	50–100	400–500	0,3–0,35
Гравий				
Мелкий	2–3	75–100	400–600	0,3–0,35
Средний	3–5	100–200	600–1500	0,3–0,35
Крупный	5–10	200–300	1500–3000	0,3–0,35

Таблица Б2

Значения коэффициента ξ_1

$\frac{l_{\phi}}{M}$	$\frac{M}{r}$							
	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	1,2	6,3	17,8	40	47	63	74,5	84,5
0,1	1	5,2	12,2	21,8	27,4	35,1	40,9	46,8
0,3	0,65	2,4	4,6	7,2	8,8	10,9	12,4	14,1
0,5	0,33	1,1	2,1	3,2	3,9	4,8	5,5	6,2
0,7	0,12	0,44	0,84	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6
0,9	0,01	0,06	1,15	0,27	0,34	0,43	0,5	0,58

Учебное издание

ШЕЙКО Андрей Михайлович

РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Пособие к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Водозаборные сооружения»
для студентов заочной формы обучения специальности
1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение
и охрана водных ресурсов»

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 06.06.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,18. Тираж 100. Заказ 246.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.