



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

А.П. Андрианов, Ж.М. Говорова

СИСТЕМЫ И СООРУЖЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-7264-2207-7

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

Москва
2020

УДК 628
ББК 38.761
А65

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *А.П. Свинцов*,
профессор департамента строительства Инженерной академии
Российского университета дружбы народов;
кандидат технических наук *Р.В. Ефремов*,
доцент кафедры водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ

Андреанов, А.П.

А65 Системы и сооружения водоснабжения [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие /
А.П. Андреанов, Ж.М. Говорова ; Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, кафедра водоснабжения и водоотведения. — Электрон. дан. и прогр. (1,0 Мб). —
Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru/>. — Загл. с титул.
экрана.

ISBN 978-5-7264-2207-7 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-2206-0 (локальное)

В учебно-методическом пособии приведены указания к практическим занятиям и выполнению
курсовой работы (проекта), рассмотрены вопросы проектирования и расчета водозаборных и водопроводных
очистных сооружений.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 Строительство.

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	5
1.1. Исходные данные для курсового проектирования	5
1.2. Содержание курсовой работы и проекта	5
2. СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ.....	6
3. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.....	7
3.1. Водозаборные сооружения подземных вод.....	7
3.2. Водозаборы поверхностных источников.....	10
4. СТАНЦИИ ВОДОПОДГОТОВКИ. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД	11
4.1. Показатели качества воды.....	11
4.2. Выбор технологии и состава сооружений для очистки природной воды	13
5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД.....	15
5.1. Обработка воды коагулянтами и флокулянтами	15
5.2. Осветление природных вод.....	21
5.3. Удаление из воды органических примесей	33
5.4. Очистка подземных вод	35
5.5. Умягчение и опреснение воды.....	43
5.6. Обработка промывных вод и осадков станций водоподготовки.....	48
6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДООЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ	49
ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И К ЗАЩИТЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	51
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	52

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Программа дисциплины «Системы и сооружения водоснабжения» для углубления и закрепления теоретических знаний, формирования умений и профессиональных навыков обучающихся в области современных методов, технологий, сооружений и оборудования для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения предусматривает практические занятия и выполнение курсовой работы и проекта.

Указанные виды учебной работы охватывают основные разделы дисциплины «Системы и сооружения водоснабжения»: система водоснабжения и ее элементы, наружные водопроводные сети и сооружения на них, водозаборные сооружения, станции водоподготовки, методы анализа и оценка качества природных вод, физико-химические процессы очистки природных вод, сооружения и оборудование для очистки природных вод, проектирование и эксплуатация водоочистных комплексов.

В зависимости от тематики курсовой работы проектирование водозаборно-очистного комплекса включает в себя расчет водозаборных сооружений, разработку технологических схем станций подготовки питьевой воды и компоновки сооружений и оборудования, расчет водоподготовительного оборудования.

Выполнение курсового проекта ставит своей целью знакомство обучающихся с современными технологиями обработки природной воды, формирование практических навыков по их внедрению при строительстве и реконструкции очистных сооружений систем водоснабжения, а также формирование навыков формулирования целей и постановки задач при проведении обзора и анализа литературы по заданной тематике.

1.1. Исходные данные для курсового проектирования

Исходными данными в зависимости от назначаемой преподавателем темы из следующего перечня: «Проектирование водозаборно-очистных сооружений», «Проектирование станции водоподготовки», «Проектирование водозаборных сооружений» являются:

полезная производительность водозаборно-очистных сооружений;

данные по водоисточнику (расходы и уровни воды, наличие шуги, лесосплава, судоходства и т.п.);

показатели качества исходной (природной) воды: мутность, цветность, перманганатная окисляемость, запах, рН, жесткость, щелочность, солесодержание, железо, фтор, фитопланктон, температура и др.;

отметка земли в месте расположения сооружений, ситуационный план;

дополнительные данные.

1.2. Содержание курсовой работы и проекта

Курсовая работа включает пояснительную записку (30–40 стр.) и 1 чертеж формата А1.

В пояснительной записке приводятся:

анализ условий строительства;

анализ исходных данных по водоисточнику;

для водозаборных сооружений: обоснование выбора расположения, типа и компоновки водозаборных сооружений, расчет основных сооружений, подбор насосов и определение режима их работы при различных уровнях воды в поверхностном источнике, расчет количества скважин, выбор способа бурения скважин на воду, подбор фильтра и его расчет;

для станции водоподготовки: анализ качества исходной воды, обоснование выбора схемы водоподготовки, сооружений и реагентов, расчет основных сооружений и реагентного хозяйства станции водоподготовки [1, 2].

На чертеже показываются:

для водозаборных сооружений — планы и разрезы водозаборного сооружения, продольный профиль водозаборного сооружения руслового типа или геолого-технический разрез скважины;

для станции водоподготовки — генплан станции водоподготовки.

Курсовой проект включает пояснительную записку (30–40 стр.), снабженную графиками, принципиальными схемами, рисунками конструкций сооружений и пр. Библиографический список должен включать учебники, монографии, а также научно-технические статьи по тематике курсового проекта.

В состав курсового проекта входит проведение краткого обзора научно-технической литературы по выбранной тематике, указанной в рабочей программе дисциплины, описание теоретических основ процесса, критический анализ методов, конструкций с указанием их области применения, преимуществ и недостатков, отечественный и зарубежный опыт применения методов (сооружений, установок и т.д.) с указанием производительности станций, их местоположения и эффективности работы, обоснование выбранного метода (сооружение) и принцип расчета (подбора) сооружения (установки).

2. СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Система водоснабжения — комплекс взаимосвязанных устройств и сооружений, обеспечивающих потребителей водой в требуемом количестве и заданного качества. Система водоснабжения включает в себя устройства и сооружения для забора воды из источника водоснабжения, ее транспортировки, обработки, хранения, регулирования подачи и распределения между потребителями [3, 4].

Схема водоснабжения — последовательное расположение сооружений от источника до потребителя, взаимное расположение их относительно друг друга.

Системы водоснабжения должны проектироваться в соответствии с требованиями [2] по проектированию наружных сетей и сооружений водоснабжения, а также других нормативно-технических рекомендаций и требований, предъявляемых к воде потребителями. При этом необходимо учитывать местные условия, многообразие которых приводит к тому, что система водоснабжения любого объекта по-своему уникальна и неповторима.

Все многообразие встречающихся на практике систем водоснабжения классифицируется по следующим основным признакам:

по назначению: хозяйственно-питьевые, противопожарные, производственные, сельскохозяйственные. Перечисленные типы систем могут быть как самостоятельными, так и объединенными. Объединяют системы в том случае, если требования, предъявляемые к качеству воды, одинаковые или это выгодно экономически;

по характеру используемых природных источников: системы, получающие воду из поверхностных источников (реки, озера, водохранилища, моря, океаны); системы, забирающие воду из подземных источников (артезианские, грунтовые); системы смешанного питания (при использовании различных видов водоисточников);

по территориальному признаку: локальные (одного объекта) или местные, групповые или районные, обслуживающие группу объектов, внеплощадочные, внутриплощадочные;

по способам подачи воды: самотечные (гравитационные), напорные (с механической подачей воды с помощью насосов), комбинированные;

по кратности использования потребляемой воды (для предприятий): прямоточные (однократное использование), с последовательным использованием воды (двух-трехкратное), оборотные (многократное использование воды, осуществляемое по замкнутой, полужамкнутой схеме или со сбросом части воды — продувкой), комбинированные;

по видам обслуживаемых объектов: городские, поселковые, промышленные, сельскохозяйственные, железнодорожные и т.д.;

по способу доставки и распределения воды: централизованные, децентрализованные, комбинированные.

Системы водоснабжения в населенных пунктах предусматривают, как правило, централизованными. При этом в зависимости от местных условий и экономической целесообразности они могут быть раздельными — с собственными источниками водоснабжения для каждой из зон (селитебной или производственной) — или объединенными — с общим источником водоснабжения для обеих зон.

Технико-экономическое обоснование выбранного варианта системы и схемы водоснабжения следует производить по чистому дисконтному доходу и внутригодовой норме доходности или приведенным затратам с согласованными сроками окупаемости на основании проектных решений с использованием укрупненных показателей стоимости строительства сетей и сооружений водопровода и рыночными ценами на годовые издержки [4].

3. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

3.1. Водозаборные сооружения подземных вод

Подземными называют воды, находящиеся в толще земной коры во всех физических состояниях (парообразном, жидком и твердом, а также в виде свободной, капиллярной, пленочной и гигроскопической влаги). Для водоснабжения используется свободная вода, заполняющая поры и трещины горных пород и передвигающаяся под действием силы тяжести. В районах вечной мерзлоты не исключено использование воды в твердом состоянии.

Условия формирования и залегания различных категорий подземных вод зависят от водоупоров и кровли водоносных пластов и их мощности, состава и свойств водовмещающих пород, специфики формирования водоносных горизонтов, особенностей источников их питания и других факторов.

По условиям залегания подземные воды могут быть разделены на верховодку, грунтовые и артезианские. Подземные воды бывают напорными, при которых статический уровень воды в пробуренной скважине устанавливается выше кровли водоносного пласта, и безнапорными, при которых статический уровень воды устанавливается ниже границы кровли водоносного пласта, прикрывающей водовмещающую породу.

Выбор типа сооружений для забора подземных вод зависит от глубины и условий залегания водоносных пластов, их мощности и способности водоотдачи. Сооружения, применяемые в практике водоснабжения для забора подземных вод, подразделяются на трубчатые колодцы (скважины), шахтные колодцы, горизонтальные водосборы, лучевые водозаборы, каптированные родники [4, п. 8.2].

В качестве исходной величины принимают необходимый расчетный суточный расход насосов первого подъема, назначаемый с учетом расхода воды на собственные нужды водозабора и очистной станции по совмещенному графику работы очистной станции или почасовому графику водопотребления объекта водоснабжения и проектируемому графику работы скважинных насосов в течение суток.

Дебит (расход) одной скважины во многом зависит от принимаемой величины допустимого понижения статического уровня воды в ней. Допустимое понижение уровня подземных вод в любой точке водоносного горизонта в сложных гидрогеологических условиях (неоднородность водовмещающих пород, особые условия подпитки, возможное истощение и т.д.) должно определяться моделированием.

Одним из самых важных элементов скважины является фильтр, предотвращающий вынос водонесной породы в эксплуатационную колонну и предохраняющий водоприемную часть ствола от разрушения. Фильтр состоит из рабочей (водоприемной) части, надфильтровой трубы и отстойника. Каркасы фильтров изготавливают из стальных труб с антикоррозионным покрытием или других высокопрочных материалов, стойких к коррозии и нетоксичных по отношению к воде. На практике применяют щелевые, дырчатые, проволочные, сетчатые, гравийные и блочные фильтры.

Для подбора насосов, размещаемых в эксплуатационных колоннах, необходимо предварительно определить высоту водоподъема и производительность насоса, а затем сопоставить последнюю с потенциально возможной водоотдачей водоносного пласта. Производительность насоса одиночной скважины должна обеспечивать расход воды не только на хозяйственно-питьевые и технические нужды водопотребителей, но и собственные нужды водозаборных сооружений, водопроводной очистной станции и насосных станций.

Сборные водоводы предназначены для транспортирования воды от подземных водозаборных сооружений до сборных емкостей или непосредственно до внутримплощадочных сетей водоснабжения. По гидравлическому режиму работы сборные водоводы разделяют на сифонные, напорные, самотечно-напорные и самотечные. Схемы сборных водоводов в плане бывают преимущественно тупиковыми или кольцевыми. Выбор схемы сборного водовода производится с учетом взаимного расположения водозаборов и сборной емкости, а также с учетом экономических соображений.

Пример. Выполнить расчет водозаборного сооружения из подземного водоисточника — артезианских напорных вод. Исходные данные для расчета: расход воды — 23949,84 м³/сут (997,91 м³/ч; 277,2 л/с); отметка уровня земли — 159,7 м; отметка статического горизонта воды — 149,7 м; мощность водоносного горизонта — 34 м; состав водоносного слоя — песок мелкозернистый; пониже-

ние воды в скважине — 20 м; коэффициент фильтрации — 10 м/сут; удельный дебит — 4,5 м³/ч на пог. м; скважина совершенная. Принята безреагентная технология очистки воды на биореакторе со струйной вакуумной эжекцией и фильтре с плавающей загрузкой. Отметка, на которую необходимо подать воду из скважины (отметка земли + высота подачи воды в биореактор), — 165,25 м.

На первом этапе выполняем расчет водозаборных скважин. Определяем дебит совершенной скважины $Q_{\text{ч.скв}}$

$$Q_{\text{ч.скв}} = S_{\text{ф}} q_0 = 20 \cdot 4,5 = 90 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $S_{\text{ф}}$ — понижение уровня воды в скважине, м; q_0 — удельный дебит скважины, м³/ч на пог. м.

Общее количество рабочих скважин N тогда составит

$$N = \frac{Q_{\text{ч}}}{Q_{\text{ч.скв}}} = \frac{997,1}{90} = 12 \text{ шт.},$$

где $Q_{\text{ч}}$ — часовой расход воды, м³/ч.

В соответствии с [2, п. 8.12] принимаем две резервные скважины. Всего 14 скважин.

Проектируемые скважины следует располагать так, чтобы расстояние между ними было минимальным, учитывая их возможное взаимодействие. Величиной, определяющей допустимое расстояние между скважинами, является радиус их влияния.

Исходя из данных предварительных откачек радиус влияния R , м, определяем по формуле

$$R = 10S_{\text{ф}}\sqrt{K} = 10 \cdot 20 \cdot \sqrt{10} = 632 \text{ м},$$

где $S_{\text{ф}}$ — понижение воды в скважине, м; K — коэффициент фильтрации, м/сут.

С целью исключения взаимодействия скважин рекомендуемое расстояние между ними L принимаем

$$L = 2R = 2 \cdot 632 = 1264 \text{ м},$$

где R — радиус влияния, м.

Одним из основных элементов скважины являются фильтры (если требуется). Фильтры водяных скважин должны обеспечивать приток расчетного количества воды со скоростями, не превышающими допустимые. Кроме того, они должны задерживать глинистые, пылеватые и песчаные частицы из водоносного горизонта, не корродировать и не ухудшать качество воды за счет увеличения содержания железа или других компонентов разрушения материала фильтра.

Для конкретных условий принимаем трубчатый фильтр с гравийной обсыпкой. Трубчатый фильтр представляет собой каркас из обсадных труб с круглой перфорацией, обтянутый проволоочной обмоткой и обсыпанный гравием толщиной не менее 50 мм. Такие фильтры позволяют осуществлять водозабор в мелкозернистых песках с преобладающими размерами частиц 0,1...0,25 мм (более 50 % по массе).

Определяем скорость воды на входе в фильтр $V_{\text{ф}}$, м/ч:

$$V_{\text{ф}} = \frac{1000K(d_{50}/D_{50})^2}{24} = \frac{1000 \cdot 10(0,25/2,5)^2}{24} = 4,17,$$

где d_{50} — диаметр частиц водоносного слоя, мм; D_{50} — диаметр частиц гравия, равный $10d_{50}$.

Диаметр фильтра $D_{\text{ф}}$ определяем по формуле

$$D_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{ч.скв}}}{3,14l_{\text{раб}}n_{\text{зв}}V_{\text{ф}}} = \frac{90,0}{3,14 \cdot 10,609 \cdot 3 \cdot 4,17} = 0,216 \text{ м},$$

где $n_{\text{зв}}$ — количество звеньев, шт.; $l_{\text{раб}}$ — рабочая длина звена фильтра, м;

$$l_{\text{раб}} = l_{\text{зв}} - l_{\text{муфт}} - 0,2 = 11 - 0,191 - 0,2 = 10,609 \text{ м},$$

где $l_{\text{зв}}$ — длина звена, м; $l_{\text{муфт}}$ — длина муфты, м.