




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП  
Водоснабжение и водоотведение

  
Н.В. Земляная  
«11» июня 2019 г.



«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
инженерных систем зданий и сооружений  
  
Кобзарь А.В.  
«11» июня 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Расчет и моделирование водозаборов подземных вод»**  
**Направление подготовки 08.04.01 Строительство,**  
**магистерская программа «Водоснабжение и водоотведение»**  
**Форма подготовки очная**

курс	<u>2</u>	семестры	<u>3</u>	
лекции			18	час.
практические занятия			18	час.
лабораторные работы			18	час.
в том числе с использованием МАО	лек. / пр.	9/	лаб.	9 час
всего часов аудиторной нагрузки			54	час.
в том числе с использованием МАО			18	час.
самостоятельная работа			90	час.
в том числе на подготовку к экзамену			36	час.
общая трудоемкость			144	час.
экзамен	<u>3</u>	Семестр		

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 31 мая 2017 г. № 482.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Инженерных систем зданий и сооружений, протокол № 9 от «11» июня 2019 г.

Заведующий кафедрой: к.т.н, доцент Кобзарь А.В.

Составители: к.т.н, доцент Леонов Б.В., к.т.н., профессор В.В. Земляной

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Master's degree in 08.04.01 Construction.**

**Study Master's Program** «Water supply and water disposal».

**Course title:** «Calculation and modeling of groundwater intakes».

**Variable part of Block 1** «Discipline of choice», 4 credits.

**Instructor:** B.V. Leonov.

**At the beginning of the course a student should be able to:**

the ability to perceive and use creatively the achievements of science and technology in the professional sphere, in accordance with the needs of the regional and global labour market (GC-4);

the ability to use modern methods and technology (including information) in a professional activity (GC-5);

the ability to use the basic laws of natural science disciplines in their professional activities, the use of methods of mathematical analysis and mathematical modeling (computed), theoretical and experimental research (GPC-1);

the ability to identify the entity pursuing stem-related problems arising in the course of professional activity, bring their solution appropriate physico-mathematical apparatus (GPC-2);

ownership of the methods of conducting engineering surveys, design technology, parts and designs according to specifications using standard and specialized software and computing systems and automated design systems (SPC-2).

**Learning outcomes:**

knowledge of regulatory frameworks in the field of engineering surveys, design principles of buildings, structures, engineering systems and equipment, planning and development of inhabited places (SPC-1);

the ability to develop conceptual, technical and working projects of complex objects, including using computer-aided design (SPC-4);

ability to analyze workflow as an object management, to conduct marketing and preparation of business plans of production activities (SPC-13).

**Course description:**

The content of the discipline covers the study of conditions of formation and patterns of movement of underground waters in the river valleys. Discusses the peculiarities of formation operating stocks groundwater, principles schematization hydrogeological conditions, the mathematical foundations of learning processes of filtering groundwater, numerical methods for solving differential equations of unsteady groundwater filtering, analog modeling methods of filtration.

**Main course literature:**

1. Shestakov V.M. Gidrogeodinamika : uchebnik dlya vuzov [Hydrogeodynamics: a textbook for universities]. – Moscow : Izd-vo «KDU», 2009. - 335 p. (rus)
2. Shestakov V.M. Metodika ocenki resursov podzemnyh vod na uchastkah beregovykh vodozaborov [Method for assessing groundwater resources at shore water intake sites]. – Moscow : Izd-vo «KDU», 2009. – 194 p. (rus)
3. Mironenko V. A. Dinamika podzemnyh vod [The dynamics of groundwater]. – Moscow : Izd-vo «Gornaya kniga», 2009. – 519 p. (rus)

**Form of final control:** exam.

## АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### «Расчет и моделирование водозаборов подземных вод»

Дисциплина «Расчет и моделирование водозаборов подземных вод» предназначена для магистров обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 Строительство, по программе подготовки «Водоснабжение и водоотведение», входит в вариативную часть блока 1, и является дисциплиной по выбору (Б1.В.ДВ.03.01).

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа, в том числе: 18 часов лекций, 18 часов лабораторных работ, 18 часов практических занятий, 54 часа самостоятельной работы, 36 часов подготовка к экзамену. Форма контроля – экзамен. Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3 семестре.

Обучающиеся дисциплине «Расчет и моделирование водозаборов подземных вод» для изучения и понимания ее основных положений должны усвоить следующие дисциплины: Математика, Физика, Инженерная геология, Гидравлика сооружений водоснабжения и водоотведения, Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения, Гидрогеология и водозаборные сооружения, Математическое моделирование, Информационные технологии в строительстве.

Содержание дисциплины охватывает вопросы количественной оценки запасов подземных вод речных долин и влияние на эти запасы климатических и гидрологических параметров водоисточников, изменяющихся во внутригодовом и многолетнем разрезе. Рассматриваются нормативные требования к гидрологическим параметрам и даётся оценка этих требований с точки зрения безопасности работы водозаборных сооружений, станций водоподготовки, насосных станций, водоводов и выпусков сточных вод.

**Целью** изучения дисциплины «Расчет и моделирование водозаборов подземных вод» является формирование у обучающихся базовых

профессиональных знаний, способствующих системному решению задач снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций в работе сооружений систем водоснабжения и водоотведения на основе учёта внутригодового и многолетнего изменения гидрологических и гидрогеологических параметров водоисточников.

**Задачи** изучения дисциплины связаны с подготовкой обучающихся к практической деятельности, в том числе, по следующим вопросам:

- сбор, систематизация и анализ информационных исходных данных для проектирования сооружений водоснабжения и водоотведения;
- расчетное обеспечение проектной и рабочей документации при проектировании сооружений водоснабжения и водоотведения;
- подготовка исходных данных, техническое обоснование и выбор научно-технических и организационных решений при разработке проекта сооружений водоснабжения и водоотведения;
- изучение методов количественной оценки условий фильтрации при решении практических задач освоения новых и расширения действующих месторождений подземных вод.

Для успешного изучения дисциплины «Расчет и моделирование водозаборов подземных вод» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции, полученные при обучении по программе бакалавриата:

- способность творчески воспринимать и использовать достижения науки, техники в профессиональной сфере в соответствии с потребностями регионального и мирового рынка труда (ОК-4);
- способность использовать современные методы и технологии (в том числе информационные) в профессиональной деятельности (ОК-5);
- способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы

математического анализа и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-1);

- способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- владение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и автоматизированных систем проектирования (ПК-2).

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<b>ОПК-3</b> Способность ставить и решать научно-технические задачи в области строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства на основе знания проблем отрасли и опыта их решения	Знает	гидродинамические параметры потоков подземных вод; законы фильтрации; климатические и гидрологические параметры водотоков и водоёмов;
	Умеет	решать практические задачи оценки эксплуатационных запасов (производительности водозаборных сооружений) грунтовых и подрусловых вод; производить оценку степени влияния климатических, гидрологических и гидрогеологических параметров;
	Владеет	методиками определения расчётных фильтрационных и гидрологических параметров;
<b>ОПК-5</b> Способность вести и организовывать проектно-изыскательские работы в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства, осуществлять техническую экспертизу проектов и авторский надзор за их соблюдением	Знает	требования, предъявляемые к составу и содержанию проектно-изыскательских работ для строительства систем водоснабжения, водоотведения и ливневой канализации;
	Умеет	обосновывать тип и схемы сооружений с учётом гидрологических, климатических и гидрогеологических условий площадок строительства; оформлять отчеты о результатах выполненных работ;
	Владеет	основами определения расчётных гидрологических и гидрогеологических

		параметров.
<b>ПК-2</b> Способность проводить технико-экономический анализ технических решений систем водоснабжения и водоотведения и технических решений по обеспечению энергоэффективности на объектах капитального строительства	Знает	основы технико-экономического анализа;
	Умеет	оценивать воздействие гидрологических и гидрогеологических условий на работу сооружений водоснабжения и водоотведения;
	Владеет	методами оценки влияния природных условий на функционирование систем водоснабжения и водоотведения

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Расчет и моделирование водозаборов подземных вод» применяются следующие методы активного обучения: проблемное обучение, проектирование, консультирование и рейтинговый метод.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Тема 1. Характеристика дисциплины. Виды запасов подземных вод и условия их формирования в речных долинах (4 час.).**

Характеристика разделов дисциплины, перечень решаемых ею практических задач. Условия залегания подземных вод, пригодность их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Использование подземных вод в Приморском крае.

Классификация запасов подземных вод. Понятие об эксплуатационных запасах подземных вод, оценка обеспеченности источников их формирования.

### **Тема 2. Условия гидравлической связи подземных и поверхностных вод, их сезонные изменения (4 час.).**

Опыт эксплуатации подземных вод речных долин в Приморском крае. Характеристика типов водозаборных сооружений. Характеристика условий гидравлической связи подземных и поверхностных вод и их сезонная изменчивость.

Изменение условий гидравлической связи подземных и поверхностных вод при работе сооружений для забора подземных вод.



**Тема 3. Принципы схематизации гидрогеологических условий. Математические основы изучения процессов фильтрации подземных вод (4 час.).**

Понятие о месторождении подземных вод.

Принципы схематизации гидрогеологических условий. Задачи схематизации и их последовательность. Понятие о расчетной схеме.

Схемы инфильтрации поверхностных вод. Граничные условия фильтрации подземных вод.

Основные предпосылки при выводах дифференциальных уравнений движения подземных вод. Вывод уравнения неразрывности потока.

Вывод дифференциальных уравнений стационарной фильтрации. Вывод дифференциальных уравнений нестационарной упругой фильтрации. Вывод дифференциальных уравнений нестационарной фильтрации грунтовых вод.

Краткая характеристика основных методов решения дифференциальных уравнений.

**Тема 4. Численные методы решения дифференциальных уравнений нестационарной фильтрации подземных вод. Методы аналогового моделирования фильтрации (6 час.).**

Понятие о методе сеток. Вывод уравнения в конечных разностях.

Решение уравнений в конечных разностях по явной схеме. Решение уравнений в конечных разностях методом прогонки по неявной схеме. Применение уравнений в конечных разностях для решения практических задач фильтрации.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (18 час.)**

**Занятие 1. Оценка обеспеченности источников формирования запасов подземных вод речных долин (2 час.).**

План занятия:

1. Изучение примеров использования подземных вод речных долин Приморского края.

2. Классификация запасов подземных вод, понятие об эксплуатационных запасах.

3. Оценка обеспеченности источников формирования подземных вод речных долин.

**Занятие 2. Оценка влияния сезонных изменений условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Изучение опыта эксплуатации инфильтрационных водозаборов Приморского края (4 час.).**

План занятия:

1. Изучение опыта эксплуатации подземных вод речных долин в Приморском крае.
2. Обоснование типовых схем фильтрации к инфильтрационным водозаборам.
3. Изучение методов учета сезонной изменчивости условий гидравлической связи подземных и поверхностных вод.

**Занятие 3. Решение задач фильтрации к одиночным и взаимодействующим скважинам, расположенным на прибрежных участках (4 час.).**

План занятия:

1. Изучение типовых схем фильтрации к береговым водозаборам.
2. Практическое использование методов суперпозиций и зеркальных отображений для определения притока к береговым водозаборам подземных вод.
3. Понятие напорной функции, ее использование при решении задач фильтрации.

**Занятие 4. Применение уравнений в конечных разностях для решения фильтрационных задач (4 час.).**

План занятия:

1. Понятие о методе сеток.
2. Обоснование уравнений в конечных разностях для неустановившегося потока подземных вод.
3. Решение уравнений неустановившегося движения плоского профильного одномерного и двухмерного в плане потоков грунтовых вод.

**Занятие 5. Оценка производительности лучевых подрусовых дрен (2 час.).**

План занятия:

1. Изучение типовых схем фильтрации к лучевым водозаборам.
2. Изучение методов расчета производительности лучевых водозаборов.
3. Изучение методов учета сезонной изменчивости условий гидравлической связи подземных и поверхностных вод.

**Занятие 6. Оценка производительности параллельных подрусовых дрен (2 час.).**

План занятия:

1. Изучение типовых схем фильтрации к параллельным подрусловым дренам.

2. Изучение методов расчета производительности параллельных подрусловых дрен.

3. Изучение методов учета сезонной изменчивости условий гидравлической связи подземных и поверхностных вод.

### **Лабораторные работы (18 час.)**

**Лабораторная работа 1. Исследование фильтрации к береговой дрене с учетом промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации (4 час.).**

План занятия:

1. Обоснование типа модели (щелевой гидравлический лоток). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2. Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров модели и гидравлической схемы модели.

3. Обоснование безразмерных параметров отражающих изменение геометрических размеров водоносного пласта в области береговой фильтрации, значений вариантов соответствующих безразмерных параметров напорного фрагмента пласта.

4. Измерение гидравлических параметров модели для расчета удельного притока к береговой дрене.

5. Обработка результатов моделирования. Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах. Обоснование методики расчета удельного притока к береговой дрене с учетом промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации в условиях, аналогичных экспериментальным.

**Лабораторная работа 2. Исследование влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках при определении производительности параллельных подрусловых дрен (4 час.).**

План занятия:

1. Обоснование типа модели (модель ЭГДА, типа электрического проводника – электролит). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2. Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров электрического проводника модели и электрической схемы модели ЭГДА.

3. Обоснование безразмерных параметров отражающих заглублиение подрусловых дрен и расстояний между ними, значений вариантов указанных безразмерных параметров и гидродинамических параметров пласта.

4. Измерение электрических параметров модели для расчета производительности подрусловых дрен.

5. Оценка производительности вариантов размещения параллельных подрусловых дрен с учетом влияния промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации.

6. Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах. Обоснование методики расчета производительности параллельных подрусловых дрен с учетом промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации в условиях, аналогичных экспериментальным.

**Лабораторная работа № 3. Исследование влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках при определении производительности лучевых подрусловых дрен (4 час.).**

План занятия:

1. Обоснование типа модели (модель ЭГДА, типа электрического проводника – электролит). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2. Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров электрического проводника модели и электрической схемы модели ЭГДА.

3. Обоснование безразмерных параметров, отражающих заглублиение лучевых дрен и их взаимного расположения, значений вариантов указанных безразмерных параметров и гидродинамических параметров пласта.

4. Измерение электрических параметров модели для расчета производительности лучевых дрен.

5. Оценка производительности вариантов размещения лучевых дрен с учетом влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках.

6. Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах. Обоснование методики расчета производительности лучевых дрен с учетом промерзания русла реки в условиях, аналогичных экспериментальным.

**Лабораторная работа № 4. Исследование производительности взаимодействующих лучевых подрусловых дрен (6 час.).**

План занятия:

1. Обоснование типа модели (модель ЭГДА, типа электрического проводника – электролит). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2. Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров электрического проводника модели и электрической схемы модели ЭГДА.

3. Обоснование безразмерных параметров отражающих заглублиение лучевых подрусловых дрен и расстояния между ними, значений вариантов указанных безразмерных параметров и гидродинамических параметров пласта.

4. Измерение электрических параметров модели для расчета производительности лучевых подрусловых дрен.

5. Оценка производительности вариантов размещения лучевых подрусловых дрен с учетом влияния заглублиения дрен и угла между ними.

6. Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах в графической форме. Обоснование методики прогноза взаимовлияния лучевых подрусловых дрен при определении их производительности в условиях, аналогичных экспериментальным.

7. Расчет совместной производительности лучевых подрусловых дрен по существующим формулам и их сравнение с результатами эксперимента.

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Гидрологические и гидрогеологические изыскания как основа проектирования систем и сооружений водоснабжения и водоотведения» представлено в приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЙ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

Контроль достижения целей курса включает текущий контроль (контроль посещения занятий, контроль выполнения индивидуальных практических заданий, контроль выполнения лабораторных работ) и промежуточную аттестацию – экзамен.

№	Контролируемые	Коды и этапы формирования компе-	Оценочные средства
---	----------------	----------------------------------	--------------------

п/п	разделы / темы дисциплины	тенций		текущий контроль	промежуточная аттестация		
1	Тема 1. Характеристика дисциплины. Виды запасов подземных вод и условия их формирования в речных долинах	ПК-1 ПК-4	<p><b>знает</b> методы оценки эксплуатационных запасов подземных вод;</p> <p>виды подземных вод, их запасы и ресурсы, особенности их формирования в различных природных условиях;</p> <p>гидродинамические параметры потоков подземных вод;</p> <p>законы фильтрации;</p> <p>вопросы обоснования расчетных условий фильтрации;</p> <p>методы аналогового моделирования фильтрации;</p> <p>опыт эксплуатации инфильтрационных водозаборов;</p> <p>требования, предъявляемые к выбору типа и схемы расположения водоприемных элементов водозаборов подземных вод;</p>	индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопросы 1-3, 7; задание 1		
			<p><b>умеет</b> обосновывать тип водозаборных сооружений и схему их размещения;</p> <p>обосновывать расчетные схемы фильтрации;</p> <p>обосновывать аналоговые модели фильтрации к водозаборам подземных вод;</p>			индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопросы 4, 29; задание 1
			<p><b>владеет</b> основами балансового метода для оценки обеспеченности запасов подземных вод</p>				
2	Тема 2. Условия гидравлической связи подземных и поверхностных вод, их сезонные изме-	ПК-13	<p><b>знает</b> характер воздействия водозаборов подземных вод на природные водные объекты;</p>	индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопросы 5, 6; задание 2; лабораторн		

	нения				ые работы 1-3
			<b>умеет</b> оценить составляющие водного баланса месторождения подземных вод речных долин;	индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопрос 32; задание 2; лабораторные работы 1-3
			<b>владеет</b> методами определения ущерба речному стоку от действия водозаборов подземных вод;	индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопрос 23; задание 2; лабораторные работы 1-3
3	Тема 3. Принципы схематизации гидрогеологических условий. Математические основы изучения процессов фильтрации подземных вод	ПК-1, ПК-4	<b>знает</b> принципы схематизации гидрогеологических условий;	индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопросы 8, 10; задания 3-6; лабораторные работы 1-4
			<b>умеет</b> решать практические задачи фильтрации, связанные с эксплуатацией сооружений для забора подземных вод; производить оценку степени влияния отдельных факторов на производительность водозаборов подземных вод;	индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопросы 9, 16, 19, 21, 24, 33; задания 3-6; лабораторные работы 1-4
			<b>владеет</b> основными методами аналитических расчетов фильтрации к водозаборам подземных вод; методами определения фильтрационных параметров; методами определения взаимовлияния водозаборных сооружений;	индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопросы 17, 18, 20, 25, 26, 34; задания 3-6; лабораторные работы 1-4
4	Тема 4. Численные	ПК-1	<b>знает</b> дифференциальные	лаборато	Экзамен,

методы решения дифференциальных уравнений нестационарной фильтрации подземных вод. Методы аналогового моделирования фильтрации	ПК-4	уравнения нестационарной фильтрации подземных вод;	рная работа (ПР-6) индивидуальное задание (ПР-11)	вопросы 11 – 15; задание 4; лабораторные работы 1-4
		умеет оформлять отчеты о результатах выполненных работ;	лабораторная работа (ПР-6) индивидуальное задание (ПР-11)	задание 4; лабораторные работы 1-4
		владеет численными методами аналитических расчетов фильтрации к водозаборам подземных вод; методами аналогового моделирования фильтрации к водозаборам подземных вод;	лабораторная работа (ПР-6) индивидуальное задание (ПР-11)	Экзамен, вопросы 22, 27 – 31; задание 4; лабораторные работы 1-4

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в приложении 2.

#### **Рейтинг-план дисциплины**

Рейтинг по дисциплине определяется в процентах. Для студента, сдавшего основные контрольные мероприятия на максимальные баллы с учетом их весовых коэффициентов, рейтинг равен 100 %.

Максимальный балл контрольного мероприятия, равный 3, соответствует системе оценок "отлично" (3), "хорошо" (2), "удовлетворительно" (1), "неудовлетворительно" (0).

Максимальный балл контрольного мероприятия, равный 1, соответствует системе оценок "зачтено" (1), "не зачтено" (0).

Соответствие рейтинга студента оценке промежуточной (семестровой) аттестации устанавливается по следующей шкале:



Рейтинг в %		Оценка				
Менее 61		Неудовлетворительно				
От 61 до 75		Удовлетворительно				
От 76 до 85		Хорошо				
От 86 до 100		Отлично				
№	Примерная дата проведения	Наименование контрольного мероприятия	Форма контроля	Весовой коэффициент	Максимальный балл	Минимальный балл
<b>Основные контрольные мероприятия</b>						
1	2 неделя	Практическая работа 1	Защита отчета	1	1	1
2	4 неделя	Практическая работа 2	Защита отчета	1	1	1
3	4 неделя	Лабораторная работа 1	Защита отчета	1	1	1
4	6 неделя	Практическая работа 3	Защита отчета	1	1	1
5	8 неделя	Практическая работа 4	Защита отчета	1	1	1
6	8 неделя	Лабораторная работа 2	Защита отчета	1	1	1
7	10 неделя	Практическая работа 5	Защита отчета	1	1	1
8	12 неделя	Практическая работа 6	Защита отчета	1	1	1
9	12 неделя	Лабораторная работа 3	Защита отчета	1	1	1
10	14 неделя	Практическая работа 7	Защита отчета	1	1	1
11	16 неделя	Практическая работа 8	Защита отчета	1	1	1
12	16 неделя	Лабораторная работа 4	Защита отчета	1	1	1
13	18 неделя	Практическая работа 9	Защита отчета	1	1	1
14	Сессия	Экзамен по дисциплине	Экзамен	0	3	-

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Основная литература**

1. Шестаков, В.М. Гидрогеодинамика : учебник для вузов / В.М. Шестаков. – М. : Издательство «КДУ», 2009. – 335 с.
2. Шестаков, В.М. Методика оценки ресурсов подземных вод на участках береговых водозаборов / В.М. Шестаков, И.К. Невечеря, И.В. Авилина. - Издательство «КДУ», 2009. – 194 с.
3. Мироненко В. А. Динамика подземных вод / В. А. Мироненко ; 5-е изд. – М. : Издательство «Горная книга», 2009. – 519 с.

### **Дополнительная литература**

4. Земляной, В.В. Водозаборы подземных вод : учебное пособие / В.В. Земляной, Б.В. Леонов. - Владивосток, 1997. – 89 с.
5. Земляной, В.В. Моделирование фильтрации подземных вод : учебное пособие / В.В. Земляной, Б.В. Леонов ; ДВГТУ. – Владивосток: ДВГТУ, 1994. – 104 с.
6. Земляной, В.В. Подрусловые водоприемники : учебное пособие / В.В. Земляной, С.Ф. Соломенник ; ДВПИ. – Владивосток: ДВПИ, 1991. – 104 с.
7. Земляной, В.В. Использование подземных вод безнапорных водоносных горизонтов речных долин / В.В. Земляной [и др.]. Под ред. В.В. Земляного. - Владивосток, 1984. – 60 с.
8. Шестаков, В.М. Практикум по динамике подземных вод :учебник для вузов / В.М. Шестаков, И.П. Кравченко, Р.С. Штенгелов – М. : Недра, 1987. – 224 с.
9. Гавич, И.К. Гидрогеодинамика / И.К. Гавич. - М. : Недра, 1988. - 349 с.
10. Плотников, Н.И. Поиски и разведка пресных подземных вод : учебное пособие для вузов / Н.И. Плотников. - М.: Недра, 1985. - 370 с.
11. Проектирование водозаборов подземных вод / А.И. Арцев, Ф.М. Бочевер, Н.Н. Лапшин [и др.]. Под ред. Ф.М. Бочевера. М. : Стройиздат, 1976. – 292 с.

### **Возможность доступа к электронным фондам учебно-методической документации**

1. [http://ihtik.lib.ru/2011.08\\_ihtik\\_homelab-mexmat/2011.08\\_ihtik\\_homelab-mexmat\\_3890.rar](http://ihtik.lib.ru/2011.08_ihtik_homelab-mexmat/2011.08_ihtik_homelab-mexmat_3890.rar) Шестаков, В.М. Гидрогеодинамика : учебник для вузов / В.М. Шестаков. – М. : Издательство «КДУ», 2009. – 335 с.

2. [http://www.studmed.ru/shestakov-vm-metodika-ocenki-resursov-podzemnyh-vod-na-uchastkah-beregovyh-vodozaborov\\_b35149b3481.html](http://www.studmed.ru/shestakov-vm-metodika-ocenki-resursov-podzemnyh-vod-na-uchastkah-beregovyh-vodozaborov_b35149b3481.html)

Шестаков, В.М. Методика оценки ресурсов подземных вод на участках

береговых водозаборов / В.М. Шестаков, И.К. Невечеря, И.В. Авилина. - М. : Издательство «КДУ», 2009. – 194 с.

3. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=3213](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=3213)

Мироненко, В.А. Динамика подземных вод. 5-е изд. – М. : Издательство «Горная книга», 2009. – 519 с.

4. <http://www.krelib.com/gidrogeologija/8866>

Гавич, И.К.

Гидрогеодинамика / И.К. Гавич. - М. : Недра, 1988. - 349 с.

5. [http://www.studmed.ru/gavich-ik-gidrogeodinamika\\_8066dfe8a33.html](http://www.studmed.ru/gavich-ik-gidrogeodinamika_8066dfe8a33.html)

Гавич, И.К. Гидрогеодинамика / И.К. Гавич. - М.: Недра, 1988. - 349 с.

6. <http://www.krelib.com/gidrogeologija/9166> Плотников, Н.И. Поиски и

разведка пресных подземных вод : учебное пособие для вузов / Н.И. Плотников. - М.: Недра, 1985. - 370 с.

## **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети**

### **«Интернет»**

<http://window.edu.ru/window/library> Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам". 27 000 учебно-методических материалов, разработанных и накопленных в системе федеральных образовательных порталов. Свободный доступ

<http://e.lanbook.com/> Электронно-библиотечная система "Лань".

Электронные версии книг издательства «Лань» и других ведущих издательств учебной литературы и электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. Доступ осуществляется со всех компьютеров, подключенных к сети ДВФУ.

<http://znaniyum.com/> Электронно-библиотечная система "Научно-

издательского центра ИНФРА-М". Учебники и учебные пособия, диссертации и авторефераты, монографии и статьи, сборники научных трудов, энциклопедии, научная периодика, профильные журналы, справочники, законодательно-нормативные документы Доступ осуществляется со всех компьютеров, подключенных к сети ДВФУ

<http://www.bibliotech.ru/> Электронно-библиотечная система БиблиоТех,

1500 электронных книг по различной тематике: естественные науки; техника и технические науки; сельское и лесное хозяйство; здравоохранение, медицинские науки; социальные (общественные) и гуманитарные науки; культура, наука, просвещение; филологические науки. Доступ осуществляется со всех компьютеров, подключенных к сети ДВФУ.

### **Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Специализированная лаборатория - лаборатория ЭГДА (ауд. Е-807), включающая следующее основное оборудование:

- установка ЭГДА для моделирования двухмерных потоков;
- установка ЭГДА для моделирования трехмерных потоков;
- щелевой гидроинтегратор для моделирования плоских профильных потоков.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине**

**«Гидрологические и гидрогеологические изыскания как основа  
проектирования систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»**

**Направление подготовки 08.04.01 Строительство  
магистерская программа «Водоснабжение и водоотведение»**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток 2019**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения, нед.	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение, час.	Форма контроля
1	2 неделя	Практическая работа 1	4	зачет
2	4 неделя	Практическая работа 2	4	зачет
3	4 неделя	Лабораторная работа 1	5	зачет
4	6 неделя	Практическая работа 3	4	зачет
5	8 неделя	Практическая работа 4	4	зачет
6	8 неделя	Лабораторная работа 2	4	зачет
7	10 неделя	Практическая работа 5	4	зачет
8	12 неделя	Практическая работа 6	4	зачет
9	12 неделя	Лабораторная работа 3	4	зачет
10	14 неделя	Практическая работа 7	4	зачет
11	16 неделя	Практическая работа 8	4	зачет
12	16 неделя	Лабораторная работа 4	5	зачет
13	18 неделя	Практическая работа 9	4	зачет

### Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Самостоятельная работа обучающихся состоит из подготовки к лабораторным работам и выполнения индивидуальных заданий по решению типовых задач фильтрации.

#### Исходные данные

Вариант индивидуального задания принимается обучающимися по таблице 1, в которой в качестве шифра используются две последние цифры из номера зачётной книжки.

Таблица 1 – Варианты индивидуальных заданий

Шифр	Вариант	Шифр	Вариант	Шифр	Вариант	Шифр	Вариант	Шифр	Вариант	Шифр	Вариант	Шифр	Вариант	
01	51	1	11	61	11	21	71	21	31	81	31	41	91	41
02	52	2	12	62	12	22	72	22	32	82	32	42	92	42
03	53	3	13	63	13	23	73	23	33	83	33	43	93	43
04	54	4	14	64	14	24	74	24	34	84	34	44	94	44
05	55	5	15	65	15	25	75	25	35	85	35	45	95	45
06	56	6	16	66	16	26	76	26	36	86	36	46	96	46
07	57	7	17	67	17	27	77	27	37	87	37	47	97	47
08	58	8	18	68	18	28	78	28	38	88	38	48	98	48
09	59	9	19	69	19	29	79	29	39	89	39	49	99	49
10	60	10	20	70	20	30	80	30	40	90	40	50	00	50

В качестве водоисточника рассматриваются подземные воды речной долины. Эксплуатационные запасы месторождения подземных вод формируются главным образом за счет инфильтрации из реки. Гидрогеологические и гидрологические условия участка расположения водозабора приведены в таблицах 2 и 3.

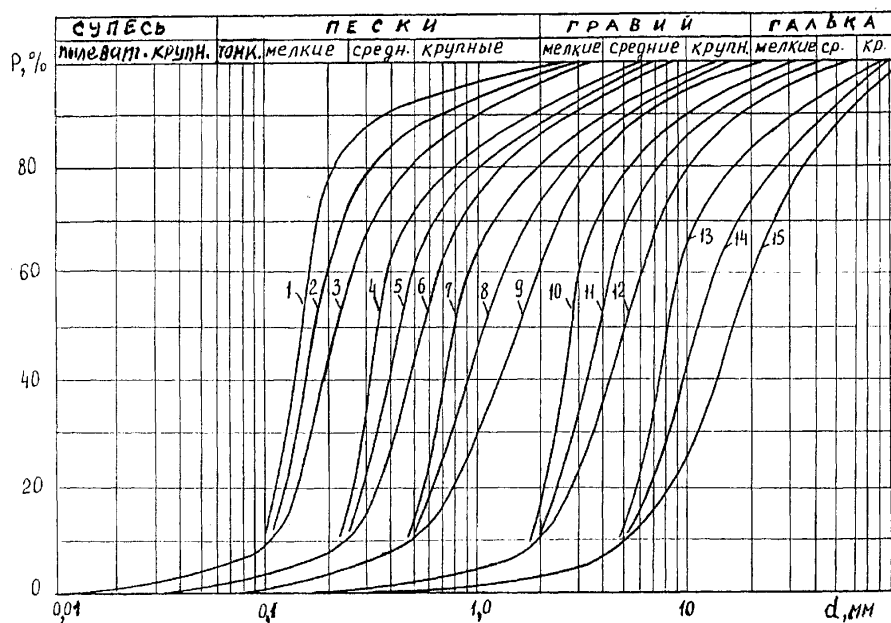


Рисунок 1- Интегральные кривые гранулометрического состава пород водоносных пластов

Таблица 2 - Гидрогеологические характеристики подземного водоисточника

Вариант, №	Порода водоносного пласта	Коэффициент фильтрации, м/сут	Кривая грансостава, №*	Мощность водоносного пласта, м	Мощность покровных отложений**, м
1	Пески мелкозернистые	3	1	40	3,0
2	То же	4	2	35	2,5
3	-//-	5	2	30	1,5
4	-//-	6	3	25	2,0
5	-//-	7	3	20	2,5
6	Пески среднезернистые	8	4	18	3,0
7	То же	9	5	14	2,5
8	-//-	10	5	10	2,0
9	-//-	12	6	8	0,5
10	-//-	14	6	6	1,5

11	Пески крупнозернистые	16	7	24	2,5
12	То же	18	8	16	3,0
13	-//-	20	8	9	2,5
14	-//-	24	9	7	1,5
15	-//-	30	9	5	2,0
16	Гравий и гравелистый песок	40	10	14	3,0
17	То же	50	11	10	2,5
18	-//-	60	11	8	2,0
19	-//-	80	12	6	1,5
20	-//-	100	12	4	2,5
21	Гравий и галька с песком	120	13	12	2,0
22	То же	140	14	10	3,0
23	-//-	160	14	7	2,5
24	-//-	180	15	6	1,5
25	-//-	200	15	5	2,0
26	Пески мелкозернистые	4	1	35	1,0
27	То же	4	1	30	1,5
28	-//-	5	2	25	2,0
29	-//-	5	2	20	2,5
30	-//-	6	3	30	3,0
31	Пески среднезернистые	7	4	25	2,5
32	То же	9	4	20	2,0
33	-//-	11	5	10	1,5
34	-//-	13	5	7	1,0
35	-//-	14	6	5	3,0
36	Пески крупнозернистые	15	7	30	2,0
37	То же	17	8	20	2,5
38	-//-	19	8	10	1,5
39	-//-	21	9	8	1,0
40	-//-	25	9	6	2,0
41	Гравий и гравелистый песок	35	10	15	3,0
42	То же	45	11	10	2,5
43	-//-	50	11	8	1,5
44	-//-	70	12	6	2,0
45	-//-	90	12	5	2,5
46	Гравий и галька с песком	110	13	12	3,0
47	То же	130	13	10	2,5
48	-//-	150	14	8	1,0
49	-//-	170	14	6	1,5
50	-//-	190	15	4	2,0

Примечания:

\* Кривые грансостава пород водоносного пласта приведены на рисунке.

\*\* Покровные отложения представлены суглинком, водоупором является глина.



Таблица 3 - Гидрологические характеристики поверхностного водоисточника

Вариант №	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Средняя скорость течения, м/с	Форма русла*	Глубина в реке, м		Уровень воды над нулем графика, м		Толщина льда, м	Мутность, мг/л
				средн.	макс.	мин.	Макс.		
1	12,0	0,25	А	2,2	3,5	4,57	7,07	1,2	130
2	10,1	0,28	А	2,0	3,4	2,38	4,51	1,1	120
3	8,4	0,37	А	2,1	3,3	0,41	3,12	1,0	510
4	6,2	0,35	А	1,9	3,2	0,15	2,64	0,9	630
5	4,3	0,41	А	1,8	3,1	0,56	3,57	0,9	750
6	11,0	0,54	А	1,7	3,0	7,18	9,44	0,8	220
7	9,5	0,67	А	1,6	2,9	4,11	6,80	0,8	280
8	7,2	0,63	А	1,5	2,8	3,17	5,19	0,7	340
9	5,6	0,69	Б	1,6	2,3	8,12	9,98	1,1	805
10	3,3	0,61	Б	1,7	2,1	0,34	2,71	1,0	750
11	4,1	0,55	А	1,8	3,3	6,10	9,61	0,9	830
12	6,8	0,43	А	1,9	3,2	5,28	8,35	0,8	410
13	8,3	0,70	А	2,0	3,1	5,41	8,17	0,7	330
14	3,4	0,76	Б	1,6	2,0	0,27	2,09	1,2	270
15	2,8	0,85	Б	1,5	1,9	6,12	8,62	1,1	940
16	7,3	0,44	А	2,1	3,0	0,83	2,33	1,0	860
17	5,1	0,52	А	2,2	2,9	2,18	5,43	0,9	720
18	4,1	0,59	Б	1,8	2,5	4,70	7,25	1,2	430
19	3,5	0,68	Б	1,7	2,4	5,43	7,70	1,1	320
20	2,7	0,53	Б	1,6	2,3	6,72	8,93	1,0	270
21	14,0	0,37	А	2,0	3,7	1,65	3,77	0,9	620
22	13,0	0,35	А	2,2	3,6	2,19	5,34	0,8	590
23	3,8	0,61	Б	1,5	2,2	8,03	9,91	0,9	740
24	4,2	0,58	Б	1,6	2,1	7,51	9,80	0,8	420
25	5,3	0,49	Б	1,7	2,0	6,16	8,66	0,7	350
26	12,0	0,47	А	2,3	3,5	0,44	3,04	1,2	280
27	11,0	0,33	А	2,2	3,4	0,71	4,05	1,1	930
28	10,0	0,38	А	2,1	3,3	3,15	6,50	1,1	750
29	9,8	0,42	А	2,1	3,2	4,78	7,45	1,0	810
30	8,3	0,40	А	1,9	3,1	1,51	4,45	1,0	380
31	7,5	0,46	А	1,9	3,0	0,49	3,92	0,9	230
32	6,2	0,50	А	1,8	2,9	2,02	4,71	0,9	170
33	5,8	0,53	А	1,8	2,8	3,19	6,60	0,8	140
34	4,9	0,34	Б	1,7	2,1	5,14	7,17	1,2	580
35	3,1	0,71	Б	1,6	2,2	7,56	9,12	1,1	710
36	4,5	0,62	А	2,1	2,7	0,31	3,90	1,0	950
37	3,3	0,58	А	2,0	2,6	2,18	5,62	0,9	640
38	8,4	0,43	А	1,9	2,5	1,90	5,01	0,8	530
39	5,7	0,56	Б	1,8	2,3	6,08	8,31	1,1	480
40	4,3	0,74	Б	1,7	2,4	3,17	5,33	1,2	320
41	7,4	0,81	А	1,6	3,2	0,14	3,25	0,7	880
42	9,1	0,39	А	1,5	3,3	0,76	3,54	0,6	790
43	3,5	0,56	Б	1,4	2,0	4,43	6,91	0,7	230
44	2,8	0,35	Б	1,3	1,9	5,01	7,53	0,8	370
45	3,2	0,47	Б	1,2	1,8	7,35	8,94	0,5	450

46	10,0	0,36	А	2,3	3,6	1,35	4,36	0,8	530
47	8,8	0,41	А	2,4	3,7	0,46	3,78	0,9	610
48	2,9	0,53	Б	1,4	2,1	3,30	6,04	1,0	750
49	3,4	0,57	Б	1,5	2,0	4,71	7,82	1,1	840
50	4,1	0,48	Б	1,6	2,2	5,22	8,63	1,2	970

Примечание :

\*А - симметричная форма русла с пологими берегами и максимальными глубинами в средней части русла; Б - асимметричная форма русла с крутым вогнутым и пологим выпуклым берегами, максимальные глубины вблизи крутого берега.

## **Практические самостоятельные работы**

### **Практическая работа 1. Оценка обеспеченности источников формирования запасов подземных вод речных долин (2 час.).**

Работа выполняется для месторождения подземных вод речной долины. Гидрологическая характеристика поверхностного водотока в соответствии с заданием составляется на основании варианта исходных данных и действующих гидрологических справочников.

Гидрогеологические условия принимаются в соответствии с вариантом индивидуального задания, выдаваемого преподавателем.

Оценка обеспеченности источников формирования подземных вод месторождения подземных вод речной долины производится балансовым методом (Н.И. Плотников, 1985).

### **Практическая работа 2. Оценка влияния сезонных изменений условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Изучение опыта эксплуатации инфильтрационных водозаборов Приморского края (4 час.).**

Изучение опыта эксплуатации подземных вод речных долин в Приморском крае производится на примере одного из действующих инфильтрационных водозаборов в соответствии с учебным пособием "Водозаборы подземных вод" (В.В. Земляной, Б.В. Леонов, 1997).

Обоснование расчетной схемы фильтрации к инфильтрационному водозабору и учет сезонной изменчивости условий гидравлической связи подземных и поверхностных вод производятся с учетом методических рекомендаций "Использование подземных вод безнапорных водоносных горизонтов речных долин" (В.В. Земляной и др., 1984).

### **Практическая работа 3. Решение задач фильтрации к одиночным и взаимодействующим скважинам, расположенным на прибрежных участках (4 час.).**

Расчетная схема фильтрации для заданных условий месторождения подземных вод обосновывается с учетом зимних условий фильтрации

включающих промерзание водотока на прибрежных мелководных участках русла реки с учетом методических рекомендаций "Использование подземных вод безнапорных водоносных горизонтов речных долин" (В.В. Земляной и др., 1984).

Оценка взаимовлияния водозаборов производится с использованием методов суперпозиций и зеркальных отображений для определения притока к одиночной скважине и взаимодействующим скважинам (Ф.М. Бочевера, 1976). При безнапорных условиях фильтрации обоснование расчетной зависимости производится с использованием напорной функции.

#### **Практическая работа 4. Применение уравнений в конечных разностях для решения гидрогеологических задач (4 час.).**

Для заданных условий фильтрации производится решение уравнений неустановившегося движения для плоского профильного одномерного и двухмерного в плане потоков грунтовых вод (И.К. Гавич, 1988).

#### **Практическая работа 5. Оценка производительности лучевых подрусловых дрен (2 час.).**

Для заданных условий фильтрации производится обоснование схемы фильтрации с учетом зимних условий, включающих промерзание водотока на прибрежных мелководных участках русла реки. Расчет производительности лучевого подруслового водозабора осуществляется с учетом учебного пособия "Подрусловые водоприемники" (В.В. Земляной, С.Ф. Соломенник, 1991).

#### **Практическая работа 6. Оценка производительности параллельных подрусловых дрен (2 час.).**

Для заданных условий фильтрации производится обоснование схемы фильтрации с учетом зимних условий, включающих промерзание водотока на прибрежных мелководных участках русла реки. Расчет производительности параллельных подрусловых дрен осуществляется с учетом учебного пособия "Подрусловые водоприемники" (В.В. Земляной, С.Ф. Соломенник, 1991).

### **Лабораторные работы**

Лабораторные работы выполняются на основе лекционного материала с использованием учебного пособия "Моделирование фильтрации подземных вод" (В.В. Земляной, Б.В. Леонов, 1994). В указанном учебном пособии содержится материал необходимый для обоснования моделей ЭГДА, перечень измеряемых параметров, форма таблиц для записи результатов измерений, расчетные зависимости для определения гидрогеологических характеристик по данным эксперимента.

К выполнению лабораторной работы допускаются обучающиеся после предварительного рассмотрения отчета о выполнении лабораторной работы, в котором должны быть изложены вопросы моделирования в соответствии с установленным заданием, а именно: перечень решаемых задач, условия фильтрации и исходные данные, схема модели и ее обоснование, перечень изучаемых параметров модели, характеристика масштабов моделирования, расчетные зависимости для пересчета модельных параметров в натурные, формы таблиц для записи результатов моделирования и результатов выполняемых расчетов. Обработка результатов производится на занятии в присутствии преподавателя.

**Лабораторная работа 1. Исследование фильтрации к береговой дрене с учетом промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации (4 час.).**

1 Обоснование типа модели (щелевой гидравлический лоток). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2 Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров модели и гидравлической схемы модели.

3 Обоснование безразмерных параметров отражающих изменение геометрических размеров водоносного пласта в области береговой фильтрации, значений вариантов соответствующих безразмерных параметров напорного фрагмента пласта.

4 Измерение гидравлических параметров модели для расчета удельного притока к береговой дрене.

5 Обработка результатов моделирования. Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах. Обоснование методики расчета удельного притока к береговой дрене с учетом промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации в условиях, аналогичных экспериментальным.

**Лабораторная работа 2. Исследование влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках при определении производительности параллельных подруловых дрен (4 час.).**

1 Обоснование типа модели (модель ЭГДА, типа электрического проводника – электролит). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2 Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров электрического проводника модели и электрической схемы модели ЭГДА.

3 Обоснование безразмерных параметров отражающих заглублиение подрусловых дрен и расстояний между ними, значений вариантов указанных безразмерных параметров и гидродинамических параметров пласта.

4 Измерение электрических параметров модели для расчета производительности подрусловых дрен.

5 Оценка производительности вариантов размещения параллельных подрусловых дрен с учетом влияния промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации.

6 Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах. Обоснование методики расчета производительности параллельных подрусловых дрен с учетом промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации в условиях, аналогичных экспериментальным.

**Лабораторная работа № 3. Исследование влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках при определении производительности лучевых подрусловых дрен (4 час.).**

1 Обоснование типа модели (модель ЭГДА, типа электрического проводника – электролит). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2 Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров электрического проводника модели и электрической схемы модели ЭГДА.

3 Обоснование безразмерных параметров, отражающих заглублиение лучевых дрен и их взаимного расположения, значений вариантов указанных безразмерных параметров и гидродинамических параметров пласта.

4 Измерение электрических параметров модели для расчета производительности лучевых дрен.

5 Оценка производительности вариантов размещения лучевых дрен с учетом влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках.

6 Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах. Обоснование методики расчета производительности лучевых дрен с учетом промерзания русла реки в условиях, аналогичных экспериментальным.

**Лабораторная работа № 4. Исследование производительности взаимодействующих лучевых подрусловых дрен (6 час.).**

1 Обоснование типа модели (модель ЭГДА, типа электрического проводника – электролит). Характеристика изучаемых параметров модели, соответствующих поставленной цели и задачам исследований.

2 Обоснование масштабов моделирования, геометрических размеров электрического проводника модели и электрической схемы модели ЭГДА.

3 Обоснование безразмерных параметров отражающих заглублиение лучевых дрен и расстояния между ними, значений вариантов указанных безразмерных параметров и гидродинамических параметров пласта.

4 Измерение электрических параметров модели для расчета производительности лучевых подрусловых дрен.

5 Оценка производительности вариантов размещения лучевых подрусловых дрен с учетом влияния заглублиения дрен и угла между ними.

6 Представление результатов моделирования, выраженных в безразмерных параметрах в графической форме. Обоснование методики прогноза взаимовлияния лучевых подрусловых дрен при определении их производительности в условиях, аналогичных экспериментальным.

7 Расчет совместной производительности лучевых подрусловых дрен по существующим формулам и их сравнение с результатами эксперимента.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Результаты самостоятельной работы обучающихся по выполнению лабораторных работ и индивидуальных практических заданий тематически оформляются в виде отдельных отчетов, содержащих краткое изложение теоретических основ, расчетных схем и уравнений, необходимых для выполнения заданий. Отчет о лабораторной/практической работе оформляется с учетом установленных в ДВФУ требований, предъявляемых к письменным работам обучающихся.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Результаты выполненных обучающимися индивидуальных заданий (индивидуальные практические задания, лабораторные работы) оцениваются по двухбалльной системе – "зачтено" или "не зачтено". Оценка проставляется по результатам защиты отчета, для положительной оценки необходимо проявить знания по каждому этапу выполненной работы. Каждое индивидуальное задание является контрольным мероприятием рейтинговой системы оценки обучаемых по дисциплине.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

**«Гидрологические и гидрогеологические изыскания как основа проектирования систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»**

**Направление подготовки 08.04.01 Строительство**  
**магистерская программа «Водоснабжение и водоотведение»**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток**

**2019**

**Паспорт  
фонда оценочных средств  
по дисциплине «Гидрологические и гидрогеологические изыскания как  
основа проектирования систем и сооружений водоснабжения и  
водоотведения»**

<b>Код и формулировка компетенции</b>	<b>Этапы формирования компетенции</b>	
<b>ОПК-3</b> Способность ставить и решать научно-технические задачи в области строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства на основе знания проблем отрасли и опыта их решения	Знает	гидродинамические параметры потоков подземных вод; законы фильтрации; климатические и гидрологические параметры водотоков и водоёмов;
	Умеет	решать практические задачи оценки эксплуатационных запасов (производительности водозаборных сооружений) грунтовых и подрусловых вод; производить оценку степени влияния климатических, гидрологических и гидрогеологических параметров;
	Владеет	методиками определения расчётных фильтрационных и гидрологических параметров;
<b>ОПК-5</b> Способность вести и организовывать проектно-изыскательские работы в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства, осуществлять техническую экспертизу проектов и авторский надзор за их соблюдением	Знает	требования, предъявляемые к составу и содержанию проектно-изыскательских работ для строительства систем водоснабжения, водоотведения и ливневой канализации;
	Умеет	обосновывать тип и схемы сооружений с учётом гидрологических, климатических и гидрогеологических условий площадок строительства; оформлять отчеты о результатах выполненных работ;
	Владеет	основами определения расчётных гидрологических и гидрогеологических параметров.
<b>ПК-2</b> Способность проводить технико-экономический анализ технических решений систем водоснабжения и водоотведения и технических решений по обеспечению энергоэффективности на объектах капитального строительства	Знает	основы технико-экономического анализа;
	Умеет	оценивать воздействие гидрологических и гидрогеологических условий на работу сооружений водоснабжения и водоотведения;
	Владеет	методами оценки влияния природных условий на функционирование систем водоснабжения и водоотведения



Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Расчет и моделирование водозаборов подземных вод» применяются следующие методы активного обучения: проблемное обучение, проектирование, консультирование и рейтинговый метод.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>(ПК-1) способность проводить изыскания по оценке состояния природных и природно-техногенных объектов, определению исходных данных для проектирования и расчетного обоснования и мониторинга объектов, патентные исследования, готовить задания на проектирование;</p>	Знает	<p>гидродинамические параметры потоков подземных вод;  законы фильтрации;  дифференциальные уравнения нестационарной фильтрации подземных вод;  виды подземных вод, их запасы и ресурсы;  принципы схематизации гидрогеологических условий;  вопросы обоснования расчетных условий фильтрации;  опыт эксплуатации инфильтрационных водозаборов;</p>
	Умеет	<p>обосновывать расчетные схемы фильтрации;  обосновывать модель ЭГДА для исследования фильтрации к водозаборам подземных вод;  решать практические задачи фильтрации, связанные с эксплуатацией сооружений для забора подземных вод речных долин;  производить оценку степени влияния отдельных факторов на производительность водозаборов подземных вод;</p>
	Владеет	<p>методами определения фильтрационных параметров;</p>
<p>(ПК-4) способность вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования;</p>	Знает	<p>требования, предъявляемые к выбору типа и схемы расположения водоприемных элементов водозаборов подземных вод;  методы оценки эксплуатационных запасов подземных вод, особенности их формирования в речных долинах;  методы аналогового моделирования фильтрации;</p>
	Умеет	<p>обосновывать тип водозаборных сооружений и схему их размещения;  оформлять отчеты о результатах выполненных работ;</p>
	Владеет	<p>основами метода (ЭГДА) электрогидродинамических аналогий для проведения фильтрационных исследований;</p>

		численными методами аналитических расчетов нестационарной фильтрации к водозаборам подземных вод; методами определения взаимовлияния водозаборных сооружений;
(ПК-13) способность вести организацию, совершенствование и освоение новых технологических процессов, производственного процесса на предприятии или участке, контроль за соблюдением технологической дисциплины, обслуживанием технологического оборудования и машин	Знает	характер воздействия водозаборов подземных вод на природные водные объекты; методы аналогового моделирования фильтрации к водозаборам подземных вод;
	Умеет	оценить составляющие водного баланса месторождения подземных вод речных долин;
	Владеет	методами определения ущерба речному стоку от действия водозаборов подземных вод;

Контроль достижения целей курса включает текущий контроль (контроль посещения занятий, контроль выполнения индивидуальных практических заданий, контроль выполнения лабораторных работ) и промежуточную аттестацию – экзамен.

### **Методические рекомендации по оцениванию результатов освоения дисциплины**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Гидрологические и гидрогеологические изыскания как основа проектирования систем и сооружений водоснабжения и водоотведения

» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Гидрологические и гидрогеологические изыскания как основа проектирования систем и сооружений водоснабжения и водоотведения » проводится по результатам контрольных мероприятий с формой контроля "защита отчетов о лабораторных работах" и "защита отчетов о выполнении индивидуальных

заданий" по оцениванию фактических результатов обучения студентов, что осуществляется ведущим преподавателем дисциплины.

Объектами оценивания выступают:

- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по моделированию фильтрации;
- результаты самостоятельной работы по решению задач фильтрации.

Степень усвоения теоретических знаний оценивается при защите отчетов о самостоятельных практических работах и отчетов о лабораторных работах.

Уровень овладения практическими умениями и навыками по моделированию фильтрации оценивается по результатам обоснования состава модели заданным условиям фильтрации, достоверности экспериментальных измерений и полученных результатов обработки данных экспериментальных исследований.

Результаты самостоятельной работы по выполнению практических заданий, направленных на решение задач фильтрации, оцениваются по умению обосновать расчетную схему фильтрации, выбору соответствующих ей расчетных зависимостей, умению обосновать правильность полученных результатов.

### **Практические самостоятельные работы**

Задание 1. Оценка обеспеченности источников формирования запасов подземных вод речных долин (2 час.).

Задание 2. Оценка влияния сезонных изменений условий взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Изучение опыта эксплуатации инфильтрационных водозаборов Приморского края (4 час.).

Задание 3. Решение задач фильтрации к одиночным и взаимодействующим скважинам, расположенным на прибрежных участках (4 час.).

Задание 4. Применение уравнений в конечных разностях для решения гидрогеологических задач (4 час.).

Задание 5. Оценка производительности лучевых подрусовых дрен (2 час.).

Задание 6. Оценка производительности параллельных подрусовых дрен (2 час.).

Формой контроля самостоятельной работы обучаемых осуществляется по результатам выполнения индивидуальных практических заданий по решению задач фильтрации, а также защите полученных результатов.

### **Лабораторные работы**

Лабораторная работа 1. Исследование фильтрации к береговой дрене с учетом промерзания русла реки и сезонного промерзания береговой зоны фильтрации (4 час.).

Лабораторная работа 2. Исследование влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках при определении производительности параллельных подрусовых дрен (4 час.).

Лабораторная работа № 3. Исследование влияния промерзания русла реки на прибрежных мелководных участках при определении производительности лучевых подрусовых дрен (4 час.).

Лабораторная работа 4. Исследование производительности взаимодействующих лучевых подрусовых дрен (6 час.).

**Контроль выполнения лабораторных работ** включает контроль результатов измерений и результатов выполнения ручного счета. В случае успешного выполнения лабораторной работы и правильного выполнения ручного счета, студенты допускаются к защите. Знания студента по итогам защиты лабораторной работы оцениваются «зачтено» или «не зачтено».

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Основы расчета и моделирования водозаборов

подземных вод» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Экзамен проводится в устной форме, оцениваются ответы на вопросы экзаменационных билетов. Ответы оцениваются по четырех балльной системе оценок «отлично» (3 балла), «хорошо» (2 балла), «удовлетворительно» (1 бал) и «неудовлетворительно» (0 баллов).

Обучаемый допускается к сдаче экзамена по дисциплине при условии положительной оценки всех индивидуальных практических заданий и лабораторных работ с оценкой «зачтено».

### **Перечень вопросов к экзамену**

1. Условия залегания подземных вод, пригодность их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Использование подземных вод в Приморском крае.
2. Понятие об эксплуатационных запасах подземных вод, оценка обеспеченности источников их формирования.
3. Опыт эксплуатации подземных вод речных долин в Приморском крае.
4. Условия применения и конструктивные особенности водозаборов горизонтального типа. Особенности использования лучевых и параллельных подрусловых дрен.
5. Характеристика условий гидравлической связи подземных и поверхностных вод и их сезонная изменчивость.
6. Сезонные изменения условий фильтрации при работе сооружений для забора подземных вод.
7. Понятие о месторождении подземных вод.
8. Принципы схематизации гидрогеологических условий. Задачи схематизации и их последовательность.
9. Понятие о расчетной схеме.
10. Схемы инфильтрации поверхностных вод. Граничные условия фильтрации подземных вод.

11. Основные предпосылки при выводах дифференциальных уравнений движения подземных вод.
12. Вывод уравнения неразрывности потока.
13. Вывод дифференциальных уравнений стационарной фильтрации.
14. Вывод дифференциальных уравнений нестационарной упругой фильтрации.
15. Вывод дифференциальных уравнений нестационарной фильтрации грунтовых вод.
16. Краткая характеристика основных методов решения дифференциальных уравнений.
17. Понятие о методе сеток.
18. Вывод уравнения в конечных разностях.
19. Решение уравнений в конечных разностях по явной схеме.
20. Решение уравнений в конечных разностях методом прогонки по неявной схеме.
21. Понятие о гидродинамическом расчете водозабора.
22. Постановка задачи исследований.
23. Оценка влияния водоотбора на речной сток.
24. Расчет расхода и пьезометрического напора стационарных потоков подземных вод к одиночным и взаимодействующим водозаборным сооружениям, расположенным в неограниченных и полуограниченных пластах.
25. Использование метода наложения фильтрационных полей и метода зеркальных отображений для учета взаимовлияния водозаборов и влияния внешних границ пластов.
26. Понятие напорной функции, ее использование при решении задач фильтрации.
27. Виды моделирования и его задачи. Метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА). Метод гидравлических аналогий.

28. Характеристика материала моделей ЭГДА. Особенности моделирования стационарной фильтрации на электролитических моделях.
29. Масштабы моделирования, их определение для изотропных и анизотропных пластов.
30. Моделирование на моделях ЭГДА границ водоносного пласта с совершенной и несовершенной гидравлической связью подземных и поверхностных вод и непроницаемых границ.
31. Моделирование безнапорной фильтрации к береговому линейному водозабору на щелевом интеграторе.
32. Методы оценки сезонных изменений условий инфильтрации. Прогноз производительности инфильтрационных водозаборов.
33. Приток к одиночной скважине, расположенной у гидравлически несовершенной реки, при безнапорных условиях фильтрации.
34. Приток к взаимодействующим скважинам, расположенным у гидравлически несовершенной реки, при безнапорных условиях фильтрации.

**Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине  
«Гидрологические и гидрогеологические изыскания как основа  
проектирования систем и сооружений водоснабжения и водоотведения  
»:**

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка экзамена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям (оценку в соответствии с компетенциями, привязать к дисциплине)
3	«отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
2	«хорошо»	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
1	«удовлетворительно»	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0	«неудовлетворительно»	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по дисциплине**  
**«Гидрологические и гидрогеологические изыскания как основа проектирования систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»**  
**Направление подготовки 08.04.01 Строительство**  
**магистерская программа «Водоснабжение и водоотведение»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2019**

## ВВЕДЕНИЕ

В современной науке моделирование как метод научного познания существующего мира находит применение в самых различных областях знаний - физике, химии, биологии, гидравлике, энергетике, теплотехнике, гидротехнике и многих других. Моделирование широко применяется и в гидрогеологии для решения практических поисково-разведочных задач, так и теоретических. Наиболее полно оно разработано применительно к процессам фильтрации подземных вод.

Слово модель происходит от латинского - мера, образец, образ, способ. С научно-технических позиций моделирование определяется как воспроизведение на специальных моделях различных процессов и явлений. При моделировании исследуемый процесс часто заменяется другим процессом, который в лабораторной обстановке воспроизводится более просто и наглядно. Такая замена возможна, так как многие процессы характеризуются тождественными математическими уравнениями, описывающими эти процессы [3].

Моделирование базируется на теории подобия, так как она отвечает на вопросы:

как следует строить модель, каким требованиям они должны удовлетворять, чтобы процессы, протекающие в ней, были подобны процессам, изучаемым в природе,

какие величины следует измерять в опытах, как обрабатывать их результаты;

как следует переходить от природы к модели и наоборот;

каким образом данные единичного опыта обобщить на целый класс подобных или аналогичных процессов.

Моделирование условно можно разделить на три группы: натурное, физическое и математическое [6].

Натурное моделирование: производственный эксперимент или наблюдения проводятся на других аналогичных объектах или территориях, полученные результаты перенесены на новые объекты или территории.

Физическое моделирование: эксперимент производится на установках, сохраняющих в той или иной степени физическую природу явлений, но при других геометрических размерах области фильтрации и значений сил, обуславливающих развитие фильтрации.

Математическое моделирование: физическая суть исследуемого процесса не сохраняется, и его изучение ведется на моделях, имеющих другую физическую природу. Оно основывается на одинаковой форме уравнений, описывающих различные по своей природе явления.

Первые работы в области моделирования относятся к XV в. и связаны с именами Леонардо да Винчи и Галилея. В конце XVII в. И. Ньютон сформулировал условия подобия при моделировании.

Первой попыткой моделирования фильтрационных процессов считают опыты А. Дарси, проведенные в 1886 г. использовавшего заполненную песком трубку. Ф. Форхгеймер в 1689 г. применил фильтрационный лоток при исследовании притока подземных вод к дренам и скважинам.

В 1881 г. Г. Хеле Шоу доложил результаты своих опытов на сплошной гидравлической модели, названной щелевым лотком. В 1928 г. она была использована Е.А. Замариным для изучения движения подземных вод. Этот метод получил название вязкостной аналогии между течением жидкости в узкой щели и в порах грунта. Теория и техника моделирования на щелевом лотке разработаны В.И. Аравиным в 1938 г.

Математическое (аналоговое) моделирование при исследовании фильтрационных процессов началось после разработки Н.Н. Павловским в 1920г. теории и метода электрогидродинамических аналогий (ЭГДА). Между фильтрацией в пористой среде и движением электрического тока в моделях, изготовленных из электропроводных материалов (бумага, электролит и т.п.).

Подробный аналитический обзор отечественного и зарубежного опыта применения моделирования в теории фильтрации изложен в ряде обобщающих работ [2 - 5, 10].

Настоящая работа по существу состоит из двух частей. Первая (главы 1 - 3) включает описание общих вопросов гидродинамики и методики моделирования, вторая (гл. 4 - 7) содержит примеры решения гидрогеологических задач методами моделирования, изложенных в виде лабораторных работ, каждая из которых содержит двенадцать вариантов исходных данных.

# 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГИДРОГЕОДИНАМИКИ

## 1.1. Гидродинамические особенности потоков подземных вод

Для характеристики потоков подземных вод используются следующие гидродинамические параметры: мощность, ширина, пьезометрический напор, напорный градиент или гидравлический уклон, направление движения потока, скорость фильтрации и расход.

Мощность потока подземных вод определяется мощностью водонасыщенных горных пород в пределах каждого водоносного горизонта. В безнапорных потоках грунтовых вод мощность потока ( $h$ ) - это расстояние от уровня свободной поверхности воды до подстилающего водоупора. В напорных потоках подземных вод мощность потока ( $m$ ) - это расстояние между верхним и нижним слабопроницаемыми слоями (водоупорами).

Ширина потока ( $B$ ) характеризуется размерами живого сечения потока в плане или в разрезе.

Пьезометрический напор для потоков подземных вод, характеризующихся обычно малыми значениями скорости фильтрации, определяется в соответствии с уравнением Д. Бернулли следующим выражением [2]:

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z \text{ или } H_{1(2)} = h_{1(2)} + Z_{1(2)} \quad (1.1)$$

где  $P$  - гидростатическое давление в исследуемой точке потока (т.  $A_{1(2)}$ , рис. 1.1)  $\gamma = \rho g$  - объёмная масса воды;  $\rho$  - плотность воды;  $g$  - ускорение свободного падения;  $Z$  - высотное положение водоупора над плоскостью сравнения.

Напорный градиент, или гидравлический уклон ( $J$ ), обусловлен уклоном зеркала (поверхности) грунтовых вод или уклоном пьезометрической поверхности (воображаемая плоскость) напорных подземных вод.

$$J = \frac{H_2 - H_1}{\ell_{1-2}} \quad (1.2)$$

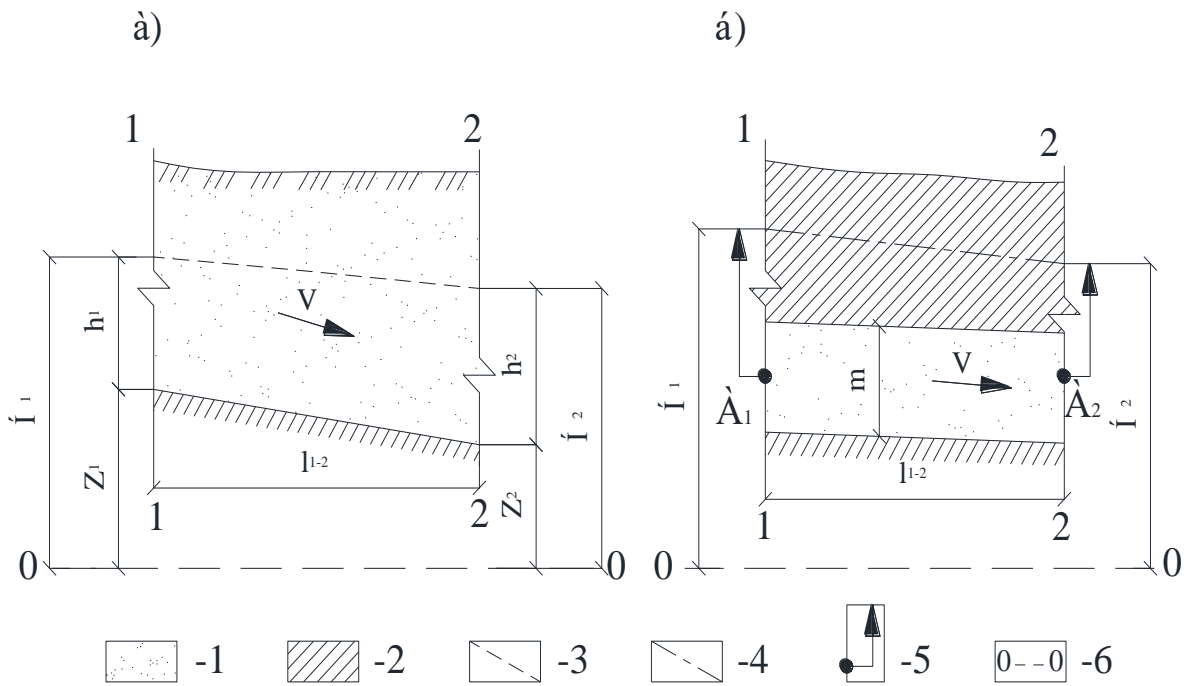


Рис. 1.1. Схемы фильтрационных потоков

а – безнапорный поток; б – напорный поток; 1 – водонепроницаемые породы; 2 – водонепроницаемые породы; 3 – уровень грунтовых вод; 4 – пьезометрический уровень; 5 – точка измерения пьезометрического уровня; 6 – плоскость сравнения.

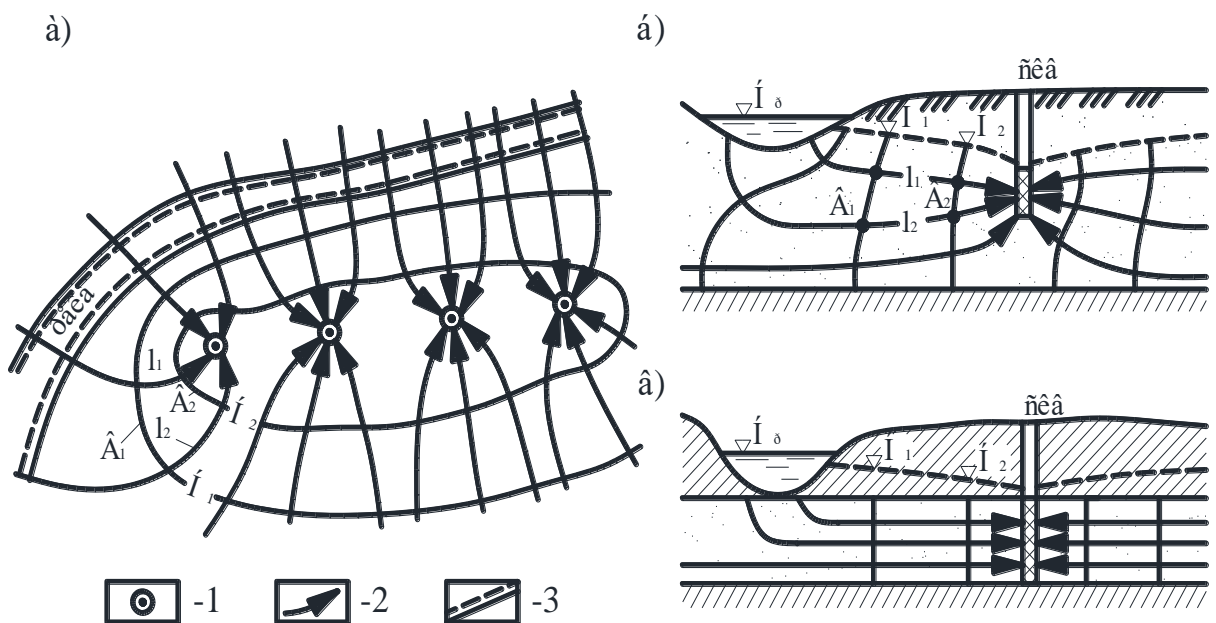


Рис. 1.2. Пространственная структура потока

а – план потока; б, в – разрез безнапорного и напорного потоков; 1 – скважины; 2 – линии тока; 3 – урез реки.

Направление движения потока выражается траекторией движения отдельных частиц жидкости, направленных в сторону наименьшего напора, определяемого по трем точкам (скважинам). Полная характеристика направления движения потока может быть получена по гидродинамической сетке потока.

Скорость фильтрации ( $V$ ) - отношение расхода потока и площади его живого сечения.

Расход потока подземных вод определяется как объём воды, прошедшей через рассматриваемую площадь живого сечения в единицу времени. Различают общий расход потока ( $Q$ ) и удельный расход, приходящийся на единицу ширины потока ( $q$ ).

Структуру потока на планах и разрезах показывают с помощью гидродинамической сетки, представляющей собой совокупность взаимно перпендикулярных линий тока и линий равных напоров, называемых в безнапорных потоках гидроизогидами, а в напорных пьезоизогидами, реже изопьезами (рис. 1.2). По элементам ячейки гидродинамической сетки можно определить расход потока на участке:

$$Q_{\text{я}} = \omega_{\text{ср}} \cdot V_{\text{ср}} \quad (1.3)$$

где  $\omega_{\text{ср}}$  - Средняя площадь живого сечения потока в ячейке;  $V_{\text{ср}}$  - средняя скорость потока в ячейке.

Для напорных условий фильтрации по плану потока (рис. 1.2, а) при постоянных мощности и коэффициенте фильтрации на участке получим

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{B_1 + B_2}{2} \cdot m; \quad V'_{\text{ср}} = K \frac{J_1 + J_2}{2}; \quad J'_{1(2)} = \frac{H_1 - H_2}{\ell_{1(2)}}, \quad (1.4)$$

где  $K$  - коэффициент фильтрация, м/сут.

При безнапорных условиях фильтрации (рис. 1.2, б) отличие заключается только в определении средней площади живого сечения потока,

так как в этом случае рассматривается профильный поток единичной ширины (мощности)

$$\omega_{\text{cp}}^{\text{н}} = \frac{B_1 + B_2}{2} \cdot l \quad (1.5)$$

Гидродинамическая сетка отражает характер деформации потока в пространстве. Самой общей является пространственная форма потока, когда гидродинамическая сетка изменяется по всем трем пространственным координатам. На рис 1.2 трехмерная структура потока относится к области, прилегающей к скважинам при безнапорных условиях фильтрации. Двухмерные потоки принято называть плоскими. Различают плоские потоки в плане (плановые) и разрезе (профильные).

Пример планового потока - это ранее отмеченная прискваженная область, но только при напорных условиях фильтрации (рис. 1.2 а, в). В этом случае линии тока в разрезе параллельны друг другу, так как траектория движения частиц жидкости по высоте не изменяется. Изменения отмечаются только в горизонтальной плоскости, т.е. только в двух координатах. Профильными являются напорный и безнапорный потоки к средним скважинам в подрусловой зоне потока, где на плане линии тока параллельны друг другу, а в разрезе имеют двухмерный характер изменения.

Самая простая структура потока - одномерная, при которой линии тока параллельны друг другу в плане и разрезе. Для условий, приведенных на рис. 1.2 (а, в) в районе водозабора она отмечается в том случае, когда вместо скважин прокладывается фильтрационная траншея, прорезающая водоносный горизонт до водоупора.

По характеру изменения расхода потока во времени режим фильтрации может быть стационарным (установившимся) и нестационарным. Режим фильтрации зависит от постоянства условий питания и вида источников питания. Питание водоносных горизонтов может происходить за счет сработки гравитационных емкостных и упругих запасов подземных вод, инфильтрации из поверхностных водоемов и водотоков и инфильтрации



атмосферных осадков, а также за счет расхода подземных вод, поступающих со смежных участков и смежных водоносных горизонтов. Наиболее часто встречающийся режим фильтрации - нестационарный, однако значительная часть практических задач может быть сведена к режиму стационарной фильтрации с условно неизменными условиями питания и эксплуатации подземных вод.

По характеру изменения скорости фильтрации вдоль линий тока различают равномерное и неравномерное движение. При равномерном движении скорость подземных вод в любом поперечном сечении потока является величиной постоянной.

Основной закон фильтрации был экспериментально установлен французским гидравликом А. Дарси (1803-1858), в соответствии с которым общий расход напорного потока равен

$$Q = K \cdot \omega \cdot \frac{H_1 - H_2}{\ell_{1-2}} = K \cdot \omega \cdot J \quad (1.6)$$

удельный расход -

$$q = K \cdot m \cdot 1 \cdot \frac{H_1 - H_2}{\ell_{1-2}} = K \cdot m \cdot J \text{ или } q = T \cdot J \quad (1.7)$$

где  $T=K \cdot m$  - проводимость пласта, м<sup>2</sup>/сут.

Удельный расход безнапорного потока на горизонтальном водоупоре определяется по формуле французского гидравлика Ж. Дюпюи, полученной в 1857 г.,

$$q = K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2\ell_{1-2}} = K \cdot h_{cp} \cdot J \quad (1.8)$$

где  $h_1$  ( $h_2$ ) - глубина потока грунтовых вод;  $\ell_{(1-2)}$  - расстояние между точками, в которых известна глубина грунтового потока;  $h_{cp} = 0,5(h_1+h_2)$  - средняя глубина потока на участке 1-2.

При использовании формулы Дарси и Дюпюи фильтрационные свойства водовмещающих горных пород предполагаются изотропными (одинаковыми по всем направлениям), для анизотропных фильтрационных свойств

необходимо использовать соответствующие расчётные формулы или моделирование.

В некоторых случаях при решении фильтрационных задач используются фильтрационные сопротивления. По аналогии с законом Ома считается, что расход потока подземных вод прямо пропорционален действующему напору ( $\Delta H = H_1 - H_2$ ) и обратно пропорционален фильтрационному сопротивлению. В соответствии с этим фильтрационное сопротивление определяется следующим выражением

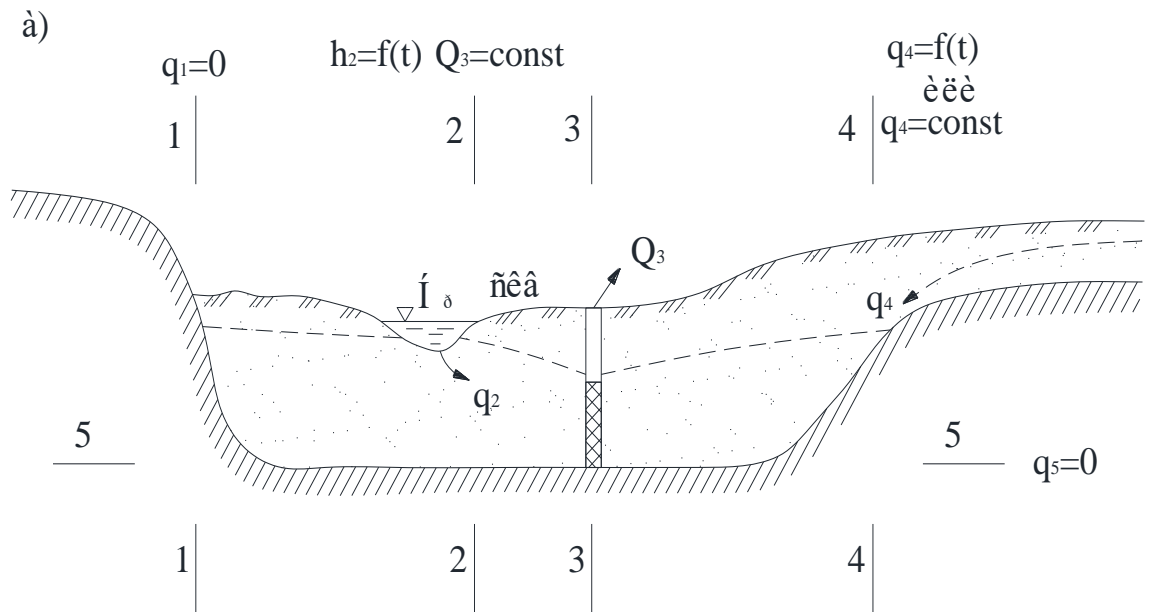
$$\Phi = \frac{\Delta H}{q} \text{ или } \Phi = \frac{\ell_{1-2}}{K \cdot m} \quad (1.9)$$

Если по длине фильтрационный поток может быть разделен на несколько участков, имеющих различные значения  $K$  и  $m$ , то общее фильтрационное сопротивление определяется как сумма фильтрационных сопротивлений отдельных участков

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_i \quad (1.10)$$

Потоки подземных вод имеют естественные или искусственные границы. В плане различают внешние и внутренние границы, которые, в свою очередь, делятся на проницаемые и непроницаемые ( $q=0$ ). В качестве непроницаемой границы в разрезе может быть подстилающий водоносный горизонт слой слабо трещиноватых скальных пород или глинистых отложений (водоупор), в плане борт долины или подобный массив глинистых и скальных пород (границы 1 и 5 на рис. 1.3 а).

Проницаемыми границами являются водотоки и водоёмы, а также границы со смежными водоносными горизонтами и границы расположения водозаборных сооружений (границы 2-4). По условиям питания эти границы могут характеризоваться постоянным напором  $H = \text{const}$  (в общем случае напор может задаваться переменным во времени), постоянным расходом  $q = \text{const}$  или расходом переменным во времени  $q = f(t)$  (см. рис. 1.3 а).



б)

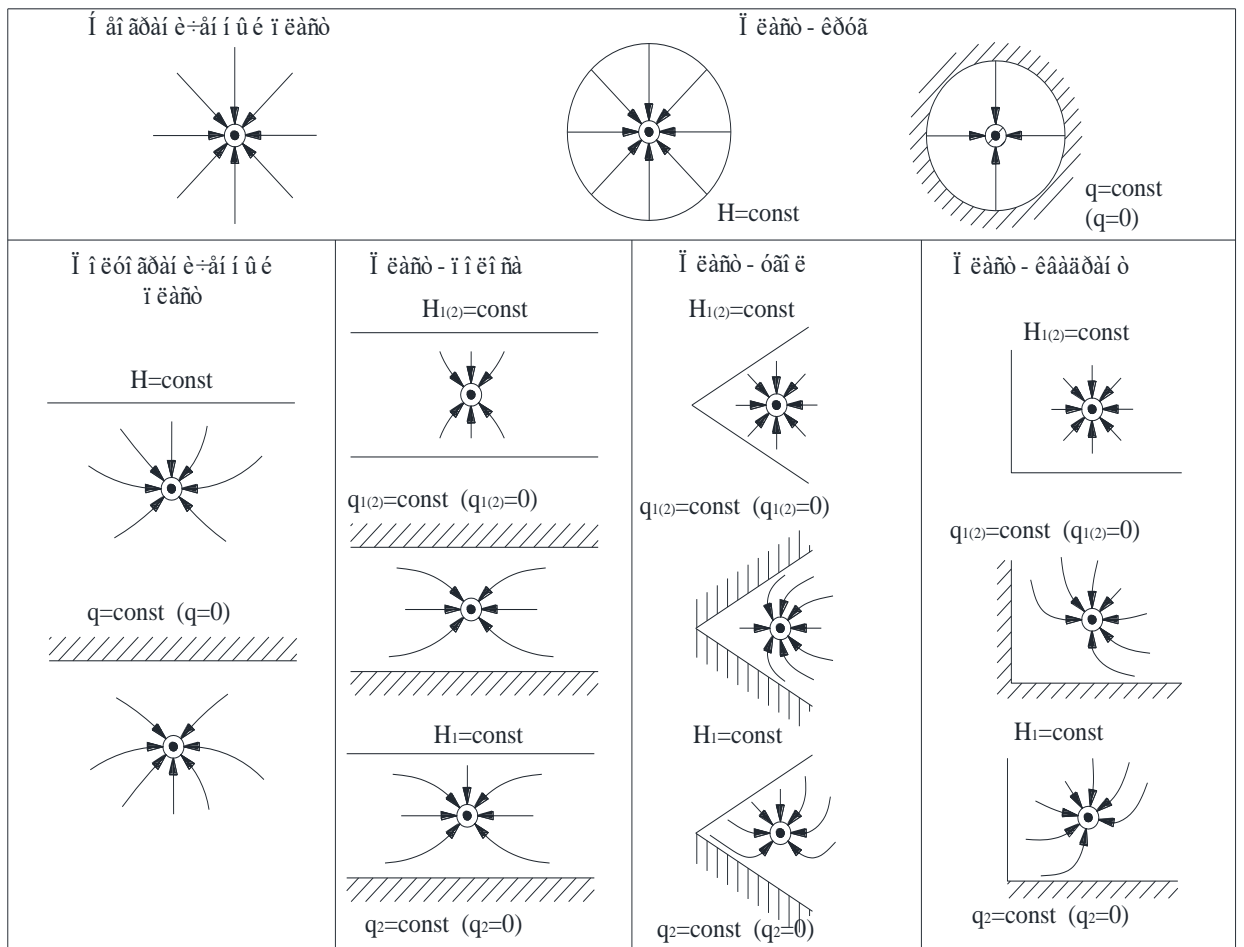


Рис.1.3. Схемы граничных условий

а – разрез, б - план

По форме внешних границ в плане выделяют водоносные горизонты неограниченные, в виде круга, полуограниченные с одной прямолинейной границей, с двумя параллельными границами (пласт - полоса) и с двумя пересекающимися границами (пласт - угол, пласт - квадрант) (рис. 1.3 б). Внутренними границами пласта являются водозаборы подземных вод, естественные и искусственные водотоки и водоёмы.

Для схемы на рис. 1.3 (а) внешние боковые границы – 1 и 4, внутренние – 2 и 3. Снизу этот водоносный горизонт ограничен водоупором (граница 5), сверху – поверхностью грунтового потока.

Таким образом, на границе области фильтрации должны быть заданы напор, расход или линейная связь между ними. Кроме того, задаются начальные условия для нестационарной фильтрации в виде начального поля напоров (уровней) в эксплуатируемом водоносном горизонте.

## **1.2. Принципы схематизации гидрогеологических условий**

При решении разнообразных вопросов, связанных с устройством инженерных сооружений в зоне фильтрационных потоков, реальные природные условия формирования подземных вод обычно схематизируются. Любая схематизация заключается в упрощении реальных гидрогеологических условий и представлением их в виде формализованных схем. Основным принцип схематизации - от сложного к простому.

Принципиальным вопросом схематизации является определение допустимой степени упрощения [1]. При этом природная гидрогеологическая модель, основанная на результатах поисково-разведочных работ, преобразуется в геофильтрационную, в которой реальная природная гидрогеологическая обстановка формализуется с выделением и количественной характеристикой основных факторов (водоносных горизонтов, слабопроницаемых пластов и их границ, источников питания, распределения параметров и т.д.), подлежащих учету при решении конкретных технических задач.

Геофильтрационная модель преобразуется затем в расчётные математические модели, учитывавшие режим фильтрации в различных пластах, необходимость разделения одного и того же пласта на несколько расчётных слоев, плановую разбивку на однородные области фильтрации и т.д.

Если нет возможности составить геофильтрационную модель, то вместо гидродинамических методов исследования, основанных на решении дифференциальных уравнений фильтрации подземных вод, должны использоваться гидравлические или метод гидрогеологических аналогов [1].

Для перехода от природной гидрогеологической модели к геофильтрационной и расчётной необходимо на основании имеющейся информации установить и предварительно оценить источники формирования подземных вод и закономерности изменения фильтрационных и емкостных свойств водовмещающих и слабопроницаемых отложений. Без соблюдения этих условий использование гидродинамических методов, реализуемых в виде аналитических расчетов или методом математического моделирования, может привести к ошибочным результатам.

Таким образом, при обосновании геофильтрационной модели в ней учитываются и схематизируются элементы геолого-гидрогеологических условий, естественных и антропогенных факторов формирования подземных вод [1].

Геолого-гидрогеологический разрез рассматриваемой области фильтрации представляется в виде однопластовой, двухпластовой или многопластовой системы водоносных горизонтов, разделенных между собой слабопроницаемыми пластами. В качестве слабопроницаемых принимаются пласты небольшой мощности с большими вертикальными фильтрационными сопротивлениями. Разделение водоносного горизонта на отдельные слои считается целесообразным, если их коэффициенты фильтрации отличаются более чем в 100 раз [2].

Поля фильтрационных и емкостных параметров водоносных горизонтов схематизируются по площади в пределах рассматриваемой области фильтрации путем приведения каждого реального неоднородного пласта, выделенного ранее на природной гидрогеологической модели, к кусочно-однородному или условно-однородному, что зависит от типа неоднородности (закономерной или хаотической). Хаотической считается неоднородность, если ее реальные элементы не превышают десятой части предлагаемой области влияния водозабора, при этом водоносный горизонт рассматривается как однородный. Водоносный горизонт в аналитических расчетах может быть принят как кусочно-однородным только в случае возможности представления границы раздела двух областей в форме круга или неограниченной прямой линии (круговой и полуограниченный пласты).

Поля фильтрационных и емкостных параметров слабопроницаемых пластов схематизируются по тем же принципам, что и водоносные горизонты. В плане слабопроницаемые слои могут приниматься либо как однородные, либо как кусочно-однородные. Фильтрационное сопротивление при сведении нескольких реальных слабопроницаемых пластов к одному на геофильтрационной модели определяется как сумма вертикальных фильтрационных сопротивлений реальных слабопроницаемых пластов.

Геометрические очертания области фильтрации при моделировании могут соответствовать реальным очертаниям, а при использовании аналитических решений приводится к одной из типовых схем (см. рис.1.3 б), на которых боковые границы в плане имеют линейную или круговую форму. При этом считается необходимым включать в расчетную фильтрационную схему границы в соответствии с возможным радиусом влияния водозабора [1, 11]:

$$R \approx (3,0...4,5) \cdot \sqrt{a \cdot t} \quad (1.11)$$

где  $a = \frac{k \cdot m}{\mu}$  - пьезопроводность (уровнепроводность) пласта;  $t$  - расчетный

срок работы водозабора;  $\mu$  - водоотдача; если влияние водозабора по внешних границ пласта не распространяется он считается неограниченным.

Начальные и граничные условия на внутренних и внешних границах области фильтрации характеризуют начальные величины напоров (уровней) и расходов и их изменение во времени. В качестве напорной функции при моделировании может задаваться абсолютное значение напора или действующий напор (понижение), при этом условия принимаются для определенного периода (зимняя или летняя межень и т.п.). Сезонными и многолетними колебаниями уровней в расчетах часто пренебрегают.

Структура потока учитывается при выборе формы модели (плановая, профильная).

Схемы водозаборных сооружений при аналитических расчетах приводятся обычно к одиночным водозаборам или упорядоченным системам в виде линейного ряда (ряд одиночных водозаборов из скважин и шахтных колодцев, горизонтальные дрены), к площадной и кольцевой системам.

При обосновании расчетной схемы необходимо производить оценку сделанных упрощений. Например, если в расчетной схеме слабопроницаемые породы на границах пласта, в которых протекают процессы фильтрации, принимаются как абсолютные водоупоры, не учитывается инфильтрация атмосферных осадков или другие незначительные источники питания водоносного горизонта при наличии других источников, то при решении задач, связанных с эксплуатацией водозаборов подземных вод, эти допущения не вызовут уменьшения надёжности результатов, так как в реальных условиях водозабор будет получать питание за счёт неучтенных источников. Такие упрощения допустимы, если запас надёжности расчетов, полученный в результате этого не будет чрезмерным. Однако при решении вопросов осушения или подтопления территорий подобные допущения будут влиять не на увеличение надёжности расчетов, а на уменьшение так как вносимые погрешности будут ухудшать работу инженерных сооружений.