

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра теоретической физики**

Авторы-составители: **Марышев Борис Сергеевич  
Циберкин Кирилл Борисович**

Рабочая программа дисциплины

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**

Код УМК 81402

Утверждено  
Протокол №5  
от «03» июня 2021 г.

Пермь, 2021

## **1. Наименование дисциплины**

Методы решения задач подземной гидродинамики

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Методы решения задач подземной гидродинамики** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.02** Физика (направленность : Фундаментальная физика)

**ПК.1** Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

#### **Индикаторы**

**ПК.1.1** Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	10
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	14
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (10 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Методы решения задач подземной гидродинамики. Первый семестр**

#### **Свойства и характеристики пористой среды**

Пористая среда. Природа пористой среды. Пористость. Аналитическая теория пористой среды. Укладка шаров. Классификация пород. Их свойства по накоплению жидкостей. Залегание и миграция подземных жидкостей. Залегание газа и нефти.

#### **Модель Дарси**

Закон Дарси. Степень обоснованности модели. Проницаемость пористой среды. Измерение и вычисление проницаемости. Измерения пористости. Основные гидродинамические соотношения. Обобщённая форма закона Дарси. Уравнения движения жидкости. Граничные и начальные условия. Аналогия с другими физическими задачами. Недекартовы системы координат.

#### **Эксплуатация скважин**

Радиальное и несимметричное течение в скважину. Круговой питающий контур. Линейный питающий контур. Метод отражений. Метод сопряжённых функций. Общая теория потенциала. Теорема Грина. Группы скважин. Линейные ряды. Ограниченные группы скважин. Коэффициент полезного действия скважин.

#### **Расчёт характеристик гидротехнических сооружений**

Обтекание гидротехнических сооружений. Задачи о противодавлении на плотину. Фильтрационный расход под плотинами. Обтекание сооружений со шпунтами. Фильтрация из каналов.

#### **Задача о взаимном вытеснении жидкостей**

Многокомпонентная фильтрация несмешивающихся жидкостей. Граница раздела. Граничные условия. Взаимное вытеснение жидкостей различных вязкостей. Плоскопараллельная задача. Плоскорадиальная задача. Неустойчивость фронта вытеснения.

#### **Конвекция в пористой среде**

Устойчивость равновесия неравномерно нагретой жидкости в пористой среде. Возникновение конвективного течения. Влияние граничных условий. Особенности задачи конвекции в пористой среде. Косимметрия.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Бурдин Д. Л. Геофизические исследования скважин: регистрирующие системы и оборудование: учебное пособие / Д. Л. Бурдин. - Пермь, 2010, ISBN 978-5-7944-1443-1. - 154. - Библиогр.: с. 150-151
2. Фалькович, Г. Современная гидродинамика / Г. Фалькович. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, Регулярная и хаотическая динамика, 2019. — 252 с. — ISBN 978-5-4344-0635-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/92090.html>
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 6 : Гидродинамика — 2001. — 736 с. — ISBN 5-9221-0121-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619860>

### Дополнительная:

1. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод: учебное пособие для университетов по специальности "Механика" / П. Я. Полубаринова-Кочина. - Москва: Наука, 1977. - 664. - Библиогр.: с. 641-660. - Имен. указ.: с. 661-664
2. Подземная гидромеханика: [учебное пособие] / К. С. Басниев [и др.]. - 2-е изд., испр. - Москва: Институт компьютерных исследований, 2006, ISBN 5-93972-547-3. - 488. - Библиогр.: с. 481-488 (121 назв.)
3. Щипанов А. А., Русаков С. В. Модели фильтрации в неоднородных средах: учеб. пособие по спецкурсу / А. А. Щипанов, С. В. Русаков. - Пермь: ПГУ, 2007. - 1.
4. Молокович, Ю. М. Неравновесная фильтрация и ее применение в нефтепромысловой практике / Ю. М. Молокович. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 218 с. — ISBN 978-5-4344-0696-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/91966.html>
5. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде / М. Маскет ; пер. М. А. Гейман ; авт. предисл. В. Н. Щелкачев. - Москва: Гостоптехиздат, 1949. - 628.
6. Басниев К. С., Кочина И. Н., Максимов В. М. Подземная гидромеханика: Учеб. / К. С. Басниев, И. Н. Кочина, В. М. Максимов. - М.: Недра, 1993, ISBN 5-247-02323-4. - 416.

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://library.psu.ru/node/738> Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

<https://elis.psu.ru/> Электронная мультимедийная библиотека ELis

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Методы решения задач подземной гидродинамики** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».
- Пакеты аналитических и численных вычислений Maxima, Octave;
- Графический пакет GNUplot.

Дополнительный перечень используемых информационных технологий определяется преподавателями дисциплины.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-

образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Методы решения задач подземной гидродинамики**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.1**

**Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения  
профильных физических дисциплин**

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.1</b> Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования</p>	<p>Знать базовые понятия теории фильтрации жидкостей и газов в пористых средах, основные законы многофазной фильтрации и движения несмешивающихся жидкостей в пористой среде, принципы расчёта гидротехнических сооружений, понятия теории конвективных течений в пористой среде. Уметь производить расчёты характеристик сред и течений, производить расчёты многофазных течений, обтекания гидротехнических сооружений, исследовать задачи конвективной устойчивости механического равновесия жидкостей в неизотермической пористой среде. Владеть базовыми понятиями и методами теории однофазной и многофазной фильтрации.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает базовые понятия теории фильтрации жидкостей и газов в пористых средах, основные принципы расчёта гидротехнических сооружений, понятия теории конвективных течений в пористой среде. Не умеет производить расчёты характеристик сред и течений, обтекания препятствий. Не владеет методами теории однофазной и многофазной фильтрации.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания базовых понятий теории фильтрации жидкостей и газов в пористых средах, основные принципы расчёта гидротехнических сооружений, понятия теории конвективных течений в пористой среде. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты характеристик сред и течений, обтекания препятствий. Имеет представление о методах теории однофазной и многофазной фильтрации.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания базовых понятий теории фильтрации жидкостей и газов в пористых средах, основные принципы расчёта гидротехнических сооружений, понятия теории конвективных течений в пористой среде. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты характеристик сред и течений, обтекания препятствий. Владеет методами теории однофазной и многофазной фильтрации, но с отдельными пробелами.</p>

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные знания базовых понятий теории фильтрации жидкостей и газов в пористых средах, основные принципы расчёта гидротехнических сооружений, понятия теории конвективных течений в пористой среде. Сформированное умение производить расчёты характеристик сред и течений, обтекания препятствий. Успешное и систематическое применение методов теории однофазной и многофазной фильтрации, но с отдельными пробелами.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Свойства и характеристики пористой среды <b>Входное тестирование</b>	Базовые законы гидростатики и гидродинамики
<b>ПК.1.1</b> Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования	Эксплуатация скважин <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	базовые понятия теории фильтрации жидкостей и газов в пористых средах; пористость, проницаемость, закон Дарси, закон Дарси-Форхгеймера, модель Бринкмана; течения к скважинам и системам скважин.
<b>ПК.1.1</b> Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования	Задача о взаимном вытеснении жидкостей <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Основные законы многофазной фильтрации, движения несмешивающихся жидкостей в пористой среде, задачи о вытеснении; принципы расчёта гидротехнических сооружений, фильтрации под плотинами, шпунтами
<b>ПК.1.1</b> Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования	Конвекция в пористой среде <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Конвекция жидкостей в пористой среде; механическое равновесие жидкостей в неизотермической пористой среде и его устойчивость; косимметрия.

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Свойства и характеристики пористой среды

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Уравнения движения несжимаемой жидкости. Течение Пуазейля	5
Уравнение неразрывности	3
Уравнение гидростатического равновесия	2

### **Эксплуатация скважин**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Владеет навыками расчёта течений к единичным скважинам, к системам скважин	6
Знает закон Дарси, понятия пористости и проницаемости, умеет находить их для модельных грунтов	6
Умеет находить поля скорости, давления, в системах с заданными свойствами среды и граничными условиями	5
Владеет навыками расчёта режимов скважин, имеет представление о гидравлических испытаниях скважин	5
Умеет оценивать пределы применимости закона Дарси в средах с различными свойствами	4
Знает расширения закона Дарси, критерии их применения, умеет производить соответствующие оценки	4

### **Задача о взаимном вытеснении жидкостей**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Знает основные методы расчёта сооружений со шпунтами, фильтрации из каналов.	6
Знает основные методы, владеет принципами расчёта обтекания гидротехнических сооружений.	6
Умеет решать задачи о взаимном вытеснение жидкостей различных вязкостей, ставить условия на границе раздела.	5
Владеет навыками исследования задачи о неустойчивости фронта вытеснения	5
Знает основные принципы теории многокомпонентной фильтрации смешивающихся и несмешивающихся жидкостей.	4
Умеет производить расчёт давления на плотину, потока под плотиной.	4

### **Конвекция в пористой среде**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Владеет навыками анализа условий возникновения конвективного течения и развития течения.	10
Имеет представление о явлении косимметрии	10
Имеет представление о влиянии граничных условий на устойчивость равновесия и динамику конвективных течений.	10
Знает основные принципы теории конвективной устойчивости. Умеет определять условия равновесия жидкостей и газов в неизотермической пористой среде с различными параметрами.	10