

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

ТЕОРИЯ ФИЛЬТРАЦИИ

Код УМК 95406

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

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Теория фильтрации

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 **Теория фильтрации** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.03.02 Физика (направленность : Фундаментальная физика)

ОПК.3 Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности, для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

Индикаторы

ОПК.3.2 Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике

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

Направления подготовки	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	7
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	42
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	14
Самостоятельная работа (ак.час.)	66
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (7 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Теория фильтрации. Первый семестр

Основные характеристики пористой среды

Особенности сплошнородного описания для пористой среды. Основные характеристики пористой среды: пористость, насыщенность. Расчет основных характеристик для различных искусственных пористых сред. Эксперимент Дарси, связь с течением Пуазейля.

Основные уравнения теории установившейся фильтрации

Уравнение сохранения массы жидкости в пористой среде.

Общее уравнение движения жидкости в пористой среде:

Различные приближения:

Случай малых ускорений, Модель Форгеймера, Модель Бринкмена,

Модель Дарси.

Основные задачи теории эксплуатации скважин

Приток жидкости в скважину. Формула Дюпюи. Простейшие типы плоских фильтрационных течений.

Проблемы эксплуатации скважин. Эксплуатационные характеристики: Расход, дебет, эффективность многоскважинной системы.

Одномерные фильтрационные потоки несжимаемой жидкости в однородном пласте

Линейный, плоский - радиальный и сферический - радиальный потоки

Поток несжимаемой жидкости в неоднородном пласте

Линейное и плоское - радиальное течения в случае слоистой и зональной неоднородности пласта.

Несимметричное двумерное течение в скважину

Плоское - радиальное течение в скважину при произвольном распределении давления на контуре питания.

Малые группы скважин. Общая теория

Теория потенциала. Принцип суперпозиции. Общее решение задачи об определении дебета для малой группы скважин находящихся в круговом контуре питания.

Течение при линейном контуре питания и в присутствии непроницаемой границы

Метод отображения источников и стоков.

Решение задач об определении дебета скважины и группы скважин находящихся у линейного контура питания.

Решение задач об определении дебета скважины и группы скважин находящихся у непроницаемой границы.

Решение задач об определении дебета скважины и группы скважин находящихся эксцентрично в круговом контуре питания.

Бесконечные ряды скважин

Решения задачи об определении дебета бесконечного линейного ряда скважин и ряда скважин расположенных в шахматном порядке.

Основные задачи теории эксплуатации гидротехнических сооружений

Основные характеристики гидротехнических сооружений.

Противодавление на плотины. Фильтрационный расход под гидротехническими сооружениями.

Комплексный потенциал. Методы ТФКП для решения задач плоской фильтрации. Конформные

отображения.

Теорема Шварца-Кристофеля. Отображение тригонометрической функции. Отображения эллиптических функций.

Двумерное течение из конечного линейного источника питания в скважину

Комплексный потенциал. Применение ТФКП для решения задачи о фильтрации из конечного линейного источника питания в скважину.

Противодавление на плотину с удлиненным основанием. Бесконечный пласт

Теорема Шварца-Кристофеля. Преобразования тригонометрической функции. Расчет сил и моментов сил противодавления на плотину.

Противодавление на плотину с забивной крепью. Бесконечный пласт

Конформное отображение сложного контура на полуплоскость. Промежуточное преобразование. Расчет сил противодавления на плотину с забивной крепью.

Фильтрационный поток под плотиной с удлиненным основанием

Преобразование эллиптической функции. Расчет потока под плотиной.

Фильтрационный поток под плотиной с забивной крепью

Конформное отображение сложного контура на полуплоскость. Промежуточное преобразование. Преобразование эллиптической функции. Расчет фильтрационного потока под плотиной.

Фильтрационный расход под коффедромом

Расчет фильтрационного расхода под коффедромом.

Двухфазная фильтрация

Безразмерные уравнения. . Разрывные решения. Условия на разрывах. Расчет коэффициента вытеснения нефти.

Двухфазная фильтрация с учетом гравитации. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Устойчивость вытеснения.

Разрывные решения для течения в пористой среде

Граница раздела между двумя жидкостями в пористой среде. Условия на границе раздела.

Устойчивость вытеснения одной жидкостью другой

Взаимное вытеснения жидкостей в присутствии силы тяжести. Условия устойчивости плоской границы раздела при вытеснении.

Неизотермическая фильтрация

Уравнение притока тепла в пористой среде. Локальное термодинамическое равновесие.

Однотемпературное приближение. Конвективные течения в пористой среде.

Задача Хортон-Роджерса-Лэпвуда.

Конвективная устойчивость равновесия в плоском слое. Монотонная мода.

Конвективная устойчивость однородного течения в плоском слое. Колебательная мода.

Конвективная устойчивость равновесия в замкнутой области пористой среды.

Однопараметрическое семейство решений. Косиметрия уравнений.

Уравнения тепломассопереноса в пористой среде

Уравнение притока тепла в пористой среде. Локальное термодинамическое равновесие. Однотемпературное приближение. Эффективный коэффициент температуропроводности. Конвективные течения в пористой среде. Приближение Обербека-Буссинеска.

Задача Хортон-Роджерса-Лэпвуда

Условия механического равновесия для неоднородно нагретой жидкости в пористой среде. Линейная задача устойчивости равновесия в плоском горизонтальном слое пористой среды - задача Хортон-Раджерса-Лэпвуда. Условия равновесия. Монотонная мода неустойчивости.

Устойчивость однородного течения в слое пористой среды

Конвективная устойчивость течений неоднородно нагретой жидкости в пористой среде. Число Пекле. Линейная устойчивость однородного течения в слое пористой среды. Колебательная мода неустойчивости.

Устойчивость равновесия в замкнутой полости пористой среды

Конвективная устойчивость равновесия в замкнутой области пористой среды. Однопараметрическое семейство решений. Косиметрия уравнений.

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. Лотов, К. В. Физика сплошных сред / К. В. Лотов. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 144 с. — ISBN 978-5-4344-0687-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/92018.html>
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. Александров, Д. В. Прикладная гидродинамика : учебное пособие для вузов / Д. В. Александров, А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова. — Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 109 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-07621-9 (Издательство Юрайт). — ISBN 978-5-7996-0785-2 (Изд-во Урал. ун-та). — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/442034>

Дополнительная:

1. 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.
2. Фильтрация воды в гидротехнических сооружениях. Часть 1 : методические указания / составители А. К. Битюрин, А. П. Козлов, К. А. Битюрин. — Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2011. — 22 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/16071.html>
3. 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>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

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

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

Образовательный процесс по дисциплине **Теория фильтрации** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

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

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (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
Теория фильтрации**

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

ОПК.3

Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности, для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.3.2 Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике</p>	<p>Знать основы теории фильтрации. Уметь описывать простейшие течения несжимаемой жидкости в пористой среде. Владеть навыками решения задач эксплуатации скважин.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основы теории фильтрации. Не умеет описывать простейшие течения несжимаемой жидкости в пористой среде. Не владеет навыками решения задач эксплуатации скважин.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основ теории фильтрации. Демонстрирует частично сформированное умение описывать простейшие течения несжимаемой жидкости в пористой среде. Имеет представление о методах решения задач эксплуатации скважин.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основ теории фильтрации. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения описывать простейшие течения несжимаемой жидкости в пористой среде. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками решения задач эксплуатации скважин.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основ теории фильтрации. Сформированное умение описывать простейшие течения несжимаемой жидкости в пористой среде. Успешное и систематическое применение навыков решения задач эксплуатации скважин.</p>

ПК.1

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

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
ПК.1.1 Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования	Знать основные принципы и понятия теории конвективных течений в пористой среде. Уметь исследовать задачи конвективной устойчивости механического равновесия жидкостей в неизотермической пористой среде. Владеть основными методами и понятийным аппаратом теории конвективной устойчивости жидкостей и газов в пористой среде	<p>Неудовлетворител Не знает основные принципы и понятия теории конвективных течений в пористой среде. Не умеет исследовать задачи конвективной устойчивости механического равновесия жидкостей в неизотермической пористой среде. Не владеет основными методами и понятийным аппаратом теории конвективной устойчивости жидкостей и газов в пористой среде.</p> <p>Удовлетворительн Общие, но не структурированные знания основных принципов и понятий теории конвективных течений в пористой среде. Демонстрирует частично сформированное умение исследовать задачи конвективной устойчивости механического равновесия жидкостей в неизотермической пористой среде, давать интерпретацию результатов. Имеет представление об основных методах и понятиях теории конвективной устойчивости жидкостей и газов в пористой среде.</p> <p>Хорошо Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных принципов теории конвекции в пористой среде. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. Успешное, но с отдельными пробелами знание основных методов и понятийного аппарата теории конвективной устойчивости жидкостей и газов в пористой среде.</p> <p>Отлично Сформированные систематические знания основных принципов и понятий теории конвективных течений в пористой среде. Сформированное умение производить расчёты, исследовать задачи конвективной устойчивости механического равновесия</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		Отлично жидкостей в неизотермической пористой среде. Успешное и систематическое применение навыков исследования задач теории конвективной устойчивости жидкостей и газов в пористой среде.

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

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 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Основные характеристики пористой среды Входное тестирование	Умение решать обыкновенный диф. уравнения. Умения пользоваться методами ТФКПУ умения решать уравнения в частных производных.
ОПК.3.2 Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике	Бесконечные ряды скважин Письменное контрольное мероприятие	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.
ОПК.3.2 Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике	Фильтрационный расход под коффедромом Письменное контрольное мероприятие	Основные законы многофазной фильтрации, движения несмешивающихся жидкостей в пористой среде, задачи о вытеснении; принципы расчёта гидротехнических сооружений, фильтрации под плотинами, шпунтами
ПК.1.1 Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования	Устойчивость равновесия в замкнутой полости пористой среды Итоговое контрольное мероприятие	Конвекция жидкостей в пористой среде; механическое равновесие жидкостей в неизотермической пористой среде и его устойчивость; Расчет критических параметров для возникновения конвекции в областях различной формы заполненных пористой средой.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Основные характеристики пористой среды

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

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

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

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Умения решать уравнения в частных производных.	14
Умение решать обыкновенные диф. уравнения.	8
Умения пользоваться методами ТФКП	8

Бесконечные ряды 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: **13**

Показатели оценивания	Баллы
течения к системам скважин.	9
течения к одиночным скважинам.	8
закон Дарси, закон Дарси-Форхгеймера, модель Бринкмана;	7
базовые понятия теории фильтрации жидкостей и газов в пористых средах; пористость, проницаемость	6

Фильтрационный расход под коффедромом

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Расчет сил и моментов сил противодействия на плотину.	9
Расчет потока под плотиной.	8
Теорема Шварца-Кристоффеля.	7
Конформное отображение сложного контура на полуплоскость.	6

Устойчивость равновесия в замкнутой полости пористой среды

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

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Расчет критических параметров для возникновения конвекции в замкнутой области.	10
расчет критических параметров для возникновения конвекции в плоском слое.	

	9
Механическое равновесие жидкостей в неизотермической пористой среде и его устойчивость;	8
Уравнения для течения жидкости в пористой среде в приближении Дарси-Буссинеска.	7
Особенности теплопереноса в пористой среде	6