

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
аэрокосмических технологий  
С.С. Негодяев**

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>   |
| <b>по дисциплине:</b>      | Лабораторные исследования керна  |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Фундаментальная и прикладная физика природных систем<br>Физтех-школа Аэрокосмических Технологий<br>центр образовательных программ ФАКТ |
| <b>курс:</b>               | 2  |
| <b>квалификация:</b>       | магистр  |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

М.И. Загидуллин, преподаватель

М.Ю. Николаев, преподаватель

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

## Аннотация

В основе дисциплины «Лабораторные исследования керна» лежит изучение керна как прямого источника знаний о свойствах горных пород, об изменении этих свойств под воздействием геологических, технологических и других факторов. В ходе изучения данной дисциплины студенты получают знания, необходимые для построения корреляционных зависимостей типа керн-керн и керн-ГИС, которые могут быть использованы для построения петрофизической модели нефтяного пласта. Дисциплина «Лабораторные исследования керна» важна для студентов - нефтяников, разработана для студентов магистратуры "Фундаментальная и прикладная геофизика" совместной образовательной программы ПАО "НК"Роснефть" - МФТИ.

В ходе изучения дисциплины студенты узнают о фильтрационно-ёмкостных свойствах горных пород, капиллярных и ЯМР-характеристиках, а также фильтрационных экспериментах в пористых средах, которые используются для подсчёта запасов, решения нетривиальных задач разработки месторождений, а также интенсификации выработки запасов.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- сформировать представление об основных лабораторных методах исследований горных пород и их связи с методами геофизических исследований скважин;
- научиться анализировать полученные результаты для построения корреляционных зависимостей типа керн-керн и керн-ГИС.

#### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области течений в пористой среде;
- научить студентов определять необходимые для решения их задач виды исследований керна, их последовательность и определяемые параметры на керне.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции   | Индикаторы достижения компетенции   |
|--|---|
| УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации   | УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами     |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи   | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                          | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов   |

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы современной лабораторной петрофизики;
- современные проблемы лабораторных петрофизических исследований керна.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
- видеть в технических нефтегазовых задачах петрофизическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и проведения задач лабораторных петрофизических исследований керна;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения прикладных задач.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины   | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. |          |                 |                |
|---|--|---|----------|-----------------|----------------|
|   |  | Лекции  | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | Керн. Цель отбора керна. Профильные исследования   |   |          | 2               | 6              |
| 2 | Обзорный экскурс по лабораторным методам исследований керна. Где применяются данные, полученные в лаборатории                          |   |          | 4               | 6              |
| 3 | Петрофизические исследования керна. Основные понятия, цели и задачи. Подготовка образцов керна к исследованиям                         |   |          | 4               | 6              |
| 4 | Виды петрофизических исследований керна. Стандартные и специальные методы. Применение данных, полученных в петрофизической лаборатории |   |          | 2               | 6              |
| 5 | Стандартные (рутинные) исследования керна  |   |          | 2               | 6              |
| 6 | Специальные исследования керна. Выбор образцов на специальные исследования керна   |   |          | 4               | 6              |
| 7 | Фильтрационные эксперименты. Определение относительной фазовой проницаемости и коэффициента вытеснения                                 |   |          | 2               | 6              |
| 8 | Специальные исследования керна. Исследования керна методом ядерно-магнитного резонанса. Возможности метода.                            |   |          | 4               | 6              |
| 9 | Литологические и седиментологические исследования  |   |          | 2               | 6              |

|                       |  |                    |  |    |    |
|-----------------------|--|--------------------|--|----|----|
| 10                    | Научно-методические подходы к решению нетривиальных задач с помощью комплексирования лабораторных методов исследований керна |                    |  | 4  | 6  |
| Итого часов           |  |                    |  | 30 | 60 |
| Подготовка к экзамену |  | 0 час.             |  |    |    |
| Общая трудоёмкость    |  | 90 час., 2 зач.ед. |  |    |    |

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 3 (Осенний)

##### 1. Керна. Цель отбора керна. Профильные исследования

Что такое керн. Процесс отбора керна. Использование растворов на водной основе РВО, углеводородной основе РУО/РНО. Изолированный отбор керна. Транспортировка в кернохранилище. Профильные исследования полноразмерного керна

##### 2. Обзорный экскурс по лабораторным методам исследований керна. Где применяются данные, полученные в лаборатории

Виды лабораторных исследований керна. Цель лабораторных исследований. Использование результатов, полученных в лаборатории, для уточнения подсчета запасов, решение нестандартных задач разработки месторождений.

##### 3. Петрофизические исследования керна. Основные понятия, цели и задачи. Подготовка образцов керна к исследованиям

Петрофизика как наука. Основные петрофизические свойства горных пород. Пористость, проницаемость, насыщенность. Пробоподготовка образцов к исследованиям.

##### 4. Виды петрофизических исследований керна. Стандартные и специальные методы. Применение данных, полученных в петрофизической лаборатории

Рутинные и специальные исследования керна. Выбор образцов на специсследования. Исследования при термобарических условиях, моделирование насыщенности как в пласте. Применение полученных результатов для уточнения подсчета запасов и поддержка задач разработки месторождений.

##### 5. Стандартные (рутинные) исследования керна

Пористость, проницаемость по газу, жидкости. В чем отличие в методах определения пористости. Эффект Клинкенберга. Построение корреляционных зависимостей керн-керн, керн-ГИС.

##### 6. Специальные исследования керна. Выбор образцов на специальные исследования керна

Исследования при термобарических условиях. Моделирование насыщенности как в пласте, ПЗП в зоне исследований ГИС. Построение корреляционных зависимостей керн-керн, керн-ГИС.

##### 7. Фильтрационные эксперименты. Определение относительной фазовой проницаемости и коэффициента вытеснения

Виды проницаемости. Фазовая, ОФП. Диаграмма ОФП. Описание последовательности экспериментов. Коэффициент вытеснения.

8. Специальные исследования керна. Исследования керна методом ядерно-магнитного резонанса. Возможности метода.

Метод ЯМР. Физические основы. Водородный индекс. Распределение T2. Двумерные карты T1-T2, T2-D. Граничная отсечка T2 граничное. Применение результатов ЯМР для калибровки ЯМК.

9. Литологические и седиментологические исследования

Основные понятия литологических и седиментологических исследований.

10. Научно-методические подходы к решению нетривиальных задач с помощью комплексирования лабораторных методов исследований керна

Обсуждение научных работ из открытых источников. Комплексирование различных лабораторных методов для интенсификации выработки запасов.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Механика и термодинамика насыщенной пористой среды [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. И. Кондауров ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2007 .— 310 с.

2. Нефтегазовая гидромеханика [Текст] : к 75-летию Рос. гос. ун-та нефти и газа им. И. М. Губкина, учеб. пособие для вузов / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Г. Д. Розенберг, -М. ; Ижевск, Ин-т компьютер. исслед., 2005

Литература из фонда базовой кафедры:

1. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Джеббар Тиаб, Эрл Ч. Доналдсон.; Перевод с английского. – Москва ООО «Премииум Инжиниринг» 2009 — 864 с.

2. Каротаж ЯМР. Принципы и применение / Джордж Р. Коатес, Ли Чи Хиао, Манфред Д. Праммер. Перевод с английского. – Халлибуртон Энерджи Сервисез. Хьюстон 2001 – 356 с.

Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 6 : Гидродинамика : учеб. пособие для вузов : рек. М-вом образования Рос. Федерации / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — 3-е изд., перераб. — М. : Физматлит, 1986, 1988, 2003, 2006 .— 736 с.

2. Механика жидкости и газа [Текст] : учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский ; Рек. М-вом образования РФ .— 7-е изд., испр. — М. : Дрофа, 2003 .— 840 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтех

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Программные комплексы (учебные версии) Mathematica 10 (Wolfram Research) и COMSOL.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темами.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе);
- подготовку к самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение правильно ставить краевые задачи и решать их аналитическими или приближенными методами. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Фундаментальная и прикладная физика природных систем<br>Физтех-школа Аэрокосмических Технологий<br>центр образовательных программ ФАКТ |
| <b>курс:</b>               | <u>2</u>   |
| <b>квалификация:</b>       | магистр  |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

М.И. Загидуллин, преподаватель

М.Ю. Николаев, преподаватель

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции   | Индикаторы достижения компетенции   |
|--|---|
| УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации   | УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами     |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи   | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                          | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов   |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Лабораторные исследования керна» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, законы современной лабораторной петрофизики;
- современные проблемы лабораторных петрофизических исследований керна.

### уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
- видеть в технических нефтегазовых задачах петрофизическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и проведения задач лабораторных петрофизических исследований керна;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения прикладных задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Примеры вопросов к дифференцированному зачёту:



- 1) Рутинные и специальные исследования керна. Выбор образцов на специсследования.
- 2) Между двумя плоскими параллельными пластинами длины  $L$ , движущимися медленно в продольном направлении со скоростями  $V_1$  и  $V_2$ , находится вязкая несжимаемая жидкость. Перепад давления по длине пластин равен  $\Delta p$ . Приняв на твердой стенке условие прилипания, найти расход жидкости в системе.
- 3) Основные петрофизические свойства горных пород. Пористость, проницаемость, насыщенность.
- 4) Почему жидкость впитывается в вертикальный капилляр?
- 5) Построение корреляционных зависимостей керн-керна, керн-ГИС.
- 6) Между двумя неподвижными плоскими параллельными пластинами под действием постоянного градиента давления движется вязкая несжимаемая жидкость. Приняв на твердой стенке условие проскальзывания Навье, найти расход жидкости в системе.
- 7) Метод ЯМР.
- 8) Почему жидкость при течении через пористый слой нагревается? Как называется этот эффект?
- 9) Основные понятия литологических и седиментологических исследований.
- 10) Виды лабораторных исследований керна.

#### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на билет и на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на билет и на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные знания учебной программы дисциплины при ответе на билет и на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется, если во время ответа на билет он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа на билет он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа на билет, он показал что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится путем организации специального опроса в устно-письменной форме.

При проведении зачета обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.

Во время проведения дифференцированного зачета при подготовке ответов на билеты обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций, Интернетом и любой литературой.

Во время проведения дифференцированного зачета при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций, Интернетом и любой другой литературой.