

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора ИШПР

 Н.В. Гусева  
 «30» июня 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2018 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ заочная**

**Основы петрофизики и геофизический контроль в бурении и эксплуатации скважин**

|  |   |            |
|--|---|------------|
| Направление подготовки/<br>специальность       | <b>21.03.01 «Нефтегазовое дело»</b>                                 |            |
| Профиль подготовки                             | <b>«Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»</b> |            |
| Специализация                                  | <b>«Бурение нефтяных и газовых скважин»</b>                         |            |
| Уровень образования                            | высшее образование - бакалавриат                                    |            |
| Курс   | <b>4</b>  | <b>8</b>   |
| Трудоемкость в кредитах<br>(зачетных единицах) | <b>3</b>  |            |
| Виды учебной деятельности                      | Временной ресурс  |            |
| Контактная (аудиторная)<br>работа, ч           | Лекции  | <b>10</b>  |
|  | Практические занятия  | <b>8</b>   |
|  | Лабораторные занятия  |            |
|  | <b>ВСЕГО</b>  | <b>18</b>  |
| Самостоятельная работа, ч                      |   | <b>90</b>  |
| <b>ИТОГО, ч</b>                                |   | <b>108</b> |

|                              |                |                              |           |
|------------------------------|----------------|------------------------------|-----------|
| Вид промежуточной аттестации | <b>экзамен</b> | Обеспечивающее подразделение | <b>ОГ</b> |
|------------------------------|----------------|------------------------------|-----------|

|  |  |                |
|--|--|----------------|
| Заведующий кафедрой -<br>руководитель отделения<br>геологии на правах кафедры<br>Руководитель ООП<br>Преподаватель |  | Н.В. Гусева    |
|  |   | Ю.А. Максимова |
|  |   | С.В. Соколов   |

2020 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

| Код компетенции | Наименование компетенции   | Индикаторы достижения компетенций |  | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций) |  |
|-----------------|--|-----------------------------------|--|---|--|
|                 |  | Код индикатора                    | Наименование индикатора достижения   | Код   | Наименование   |
| ОПК(У)-1        | Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания | И.ОПК(У)-1.2                      | Применяет математический аппарат теории вероятностей и математической статистики инженерной деятельности   | ОПК(У)-1.2В1  | Владеет аппаратом математической статистики для проведения теоретического исследования и моделирования физических и химических процессов и явлений, а также, для решения профессиональных задач  |
|                 |  |                                   |  | ОПК(У)-1.2У1  | Умеет использовать вероятностные и статистические методы для обработки данных  |
|                 |  |                                   |  | ОПК(У)-1.2З1  | Знает основные определения, понятия и методы теории вероятности и математической статистики  |
| ПК(У)-4         | Способен применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности           | И.ПК(У)-4.1                       | Сочетает геолого-промышленную теорию и практику при совершенствовании технологических операций и осуществлении процессов нефтегазового производства в области строительства нефтяных и газовых скважин | ПК(У)-4.1В1   | Владеет навыками оперативного сопровождения технологических процессов нефтегазового производства с использованием процессного подхода в области строительства нефтяных и газовых скважин   |
|                 |  |                                   |  | ПК(У)-4.1У1   | Умеет выбирать ресурсосберегающие технологии для оперативного сопровождения технологических процессов нефтегазового производства в области строительства нефтяных и газовых скважин  |
|                 |  |                                   |  | ПК(У)-4.1З1   | Знает правила учета, систематизации и хранения геолого-промышленной информации, принципы и требования по сбережению ресурсов предприятий нефтегазового производства для оперативного сопровождения технологических процессов в области строительства скважин и новых стволов |

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Основы петрофизики и геофизический контроль в бурении и эксплуатации скважин» (Б1.ВМ3.1.3) относится к вариативной части вариативного междисциплинарного профессионального модуля Б1.ВМ3.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

| Планируемые результаты обучения по дисциплине |   | Компетенция                |
|---|---|----------------------------|
| Код   | Наименование  |                            |
| РД-1  | Знание законов распространения упругих деформаций в горных породах, взаимодействия горных пород с электромагнитными полями естественной и искусственной природы, протекания электрохимических процессов в них, радиоактивных превращений и взаимодействия $\alpha$ излучения с веществом. Умение решать на этой основе теоретические и прикладные задачи. | И.ОПК(У)-1.2<br>ИПК(У)-4.1 |
| РД-2  | Понимание уравнений Дахнова-Арчи, Нернста, Ларионова, Дарси, Козени-Кармана.  | И.ОПК(У)-1.2               |

|      |  |                            |
|------|--|----------------------------|
|      | Умение проводить на основе результатов лабораторных исследований и данных ГИС корреляционно-регрессионный анализ для построения петрофизических зависимостей типа «кern-ГИС», «кern-кern». Умение на фоне вмещающих пород различать коллекторы и зоны внутри них, насыщенные разными флюидами, используя для этого сведения о УЭС пластов, их диффузионно-адсорбционной активности, естественной радиоактивности, реакции на нейтронное и гамма облучение, времени пробега упругих волн. | ИПК(У)-4.1                 |
| РД-3 | Умение выделять интервалы притока/поглощения и определять характер насыщения пластов в обсаженных скважинах, оценивать техническое состояние скважины с выявлением возможных заколонных перетоков и интервалов негерметичности.  | И.ОПК(У)-1.2<br>ИПК(У)-4.1 |

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

## 4. Структура и содержание дисциплины

### Основные виды учебной деятельности

| Разделы дисциплины   | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|--|--|---------------------------|-------------------|
| <b>Раздел 1.<br/>Фильтрационно-емкостные свойства коллекторов</b>  | РД-1<br>РД-2                                 | Лекции                    | <b>4</b>          |
|  |  | Практические занятия      | <b>2</b>          |
|  |  | Самостоятельная работа    | <b>30</b>         |
| <b>Раздел 2.<br/>Физические свойства и петрофизические модели коллекторов</b>  | РД-1<br>РД-2<br>РД-3                         | Лекции                    | <b>4</b>          |
|  |  | Практические занятия      | <b>2</b>          |
|  |  | Самостоятельная работа    | <b>30</b>         |
| <b>Раздел 3.<br/>Геофизические методы изучения технического состояния скважин и контроля разработки месторождений углеводородов.</b> | РД-1<br>РД-2<br>РД-3                         | Лекции                    | <b>2</b>          |
|  |  | Практические занятия      | <b>4</b>          |
|  |  | Самостоятельная работа    | <b>30</b>         |

Содержание разделов дисциплины:

### **Раздел 1. ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЛЕКТОРОВ**

Цели и задачи освоения дисциплины. Коллекторы и их виды. Коллектор в структуре ловушек нефти и газа. Понятие фильтрационно-емкостных свойств коллектора: пористость, проницаемость, глинистость.

Диэлектрическая проницаемость флюидов, поверхностное натяжение, смачиваемость, капиллярное давление. Порометрия. Ёмкость катионного обмена, двойной электрический слой, удельная поверхность порового пространства, сорбционная ёмкость, показатель гидрофильности, набухаемость.

Дисперсная, структурная и слоистая глинистость. Коэффициенты массовой, объемной и относительной глинистости. Петрофизические типы глин (классификация по поверхностной активности). Значение глинистости в изменении фильтрационно-емкостных свойств коллекторов.

Влажность: химически связанная, физически связанная (пленочная, углов пор и тупиковых пор, капиллярно удержанная) вода. Структура поровой воды в глинах; свойства прочно связанной (аномальной) воды.

Пористость. Классификация пор по происхождению, по размерам. Структура порового пространства, влияние размера пор на процессы формирования и разработки залежи. Обобщенная модель поровой среды.

Флюидонасыщенность: нефтеносный, газоносный и водоносный коллекторы, коэффициенты флюидонасыщения, зона предельного нефтегазонасыщения, коэффициент связанной воды.

Линейный закон Дарси, абсолютная проницаемость, уравнение Козени-Кармана; фазовые (эффективные) и относительные проницаемости; определение фазовых проницаемостей по результатам измерения капиллярного давления; граничные и критические значения водонасыщенности коллекторов.

**Темы лекций:**

1. Введение в петрофизику м-ий УВ. Св-ва флюидов и пород на контакте с ними.
2. Глинистость. Вода в горных породах.
3. Пористость и характер насыщения порового пространства.
4. Проницаемость.

**Темы практических занятий:**

1. Структура порового пространства. Капиллярное давление.
2. Модели пористой среды коллектора.

## **Раздел 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОЛЛЕКТОРА**

Физические свойства пород-коллекторов нефти и газа. Физические параметры флюидов. Понятие петрофизической модели коллектора.

Электропроводность. Удельная электропроводность (удельное сопротивление). Классификация минералов по электропроводности: минералы проводники, полупроводники и диэлектрики. Факторы, влияющие на электропроводность горных пород: минеральный состав, структура, пористость и характер насыщения, температура и давление.

Модель электропроводности коллекторов. Исходные положения модели коллектора в отношении электропроводности. Модель полностью водонасыщенной породы (параметр пористости, влияние глинистости и минерализации пластовой воды); модель частично водонасыщенной породы (параметр насыщения, коэффициенты газо- и нефтенасыщенности). Петрофизические уравнения связи с пористостью и нефтенасыщенностью коллектора. Уравнение Арчи-Дахнова. Петроэлектрические критерии коллектора, выхода нефти, воды и воды с нефтью.

Естественная электрическая поляризация. Контактные разности потенциалов. Виды электрической поляризации неглинистых горных пород. Электродный потенциал и поляризация окислительно-восстановительной природы. Фильтрационные потенциалы.

Модель диффузионно-адсорбционной активности коллекторов: диффузионные и диффузионно-адсорбционные потенциалы; уравнение Нернста; процессы в тонких и широких капиллярах; влияние глинистости и песчаности коллекторов. Изменение диффузионно-адсорбционной поляризации в разрезе нефтяной залежи; условие связи с пористостью и проницаемостью коллекторов. Петрофизические уравнения связи; граничные значения относительного диффузионно-адсорбционного потенциала для коллекторов.

Явление радиоактивности, закон радиоактивного распада, радиоактивное равновесие. Содержания урана, тория и калия в осадочных горных породах, разделение глин по соотношению радиоактивных элементов. Подвижности радиоактивных элементов в эпигенетических процессах на месторождениях углеводородов; радиоактивность битумов, карбонатов. Влияние литологического состава скелета (песчаники, алевролиты, карбонаты, присутствие калиевых полевых шпатов), наличие и содержание глинистого и карбонатного цемента, состава

(поверхностной активности) глини на радиоактивность коллектора. Связь пористости и глинистости.

Нейтронные характеристики горных пород. Нейтроны, их взаимодействие с горными породами. Замедляющие и поглощающие свойства горных пород и флюидов.

Модель «нейтронной» пористости коллекторов. Физико-геологические основы взаимосвязи нейтронных характеристик горных пород и пористости. Водородосодержание, учет химически и физически связанной воды. Петрофизические уравнения.

Упругие свойства горных пород. Напряжения и деформации горных пород и флюидов. Упругие модули. Продольные и поперечные упругие колебания, скорости упругих волн, интервальное время, коэффициент затухания. Упругие модели горных пород. Упругие свойства осадочных горных пород, изменение с глубиной.

Акустические модели пористости: влияние глинистости и нефтенасыщенности. Физическое содержание коэффициентов в уравнениях регрессии.

#### **Темы лекций:**

1. Физические свойства коллекторов и флюидов. Электропроводность коллекторов.
2. Модель электропроводности коллектора. Модель диффузионно-адсорбционной активности коллектора.
3. Радиоактивность горных пород. Модель «нейтронной» пористости.
4. Упругие свойства пород-коллекторов. Акустическая модель коллектора.

#### **Темы практических занятий:**

1. Определение УЭС пластовых вод.
2. Качественная интерпретация петрофизических данных
3. Формирование петрофизической модели месторождения.

### **Раздел (модуль) 3. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СКВАЖИН И КОНТРОЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ.**

Назначение и комплексы геофизических методов для контроля за разработкой.

Термометрия. Барометрия. Выделение работающих интервалов, профиля притока (поглощения): гидродинамическая и термокондуктивная расходометрия. Геофизические методы контроля режима работы скважины и процессов интенсификации притока из пластов. Индикаторные методы оценки «приток-состава»: влагометрия диэлектрическая, индукционная резистивиметрия. Гамма-плотнометрия.

Методы оценки текущего нефтенасыщения пластов в обсаженных скважинах: стационарный нейтрон-нейтронный метод и нейтронный гамма-метод; импульсный спектрометрический нейтронный гамма-метод (углеродно-кислородный каротаж); импульсный нейтрон-нейтронный каротаж. Понятия об оптимальных временных задержках, особенности использования импульсных нейтронных методов.

Определение искривления и диаметра скважин. Определение уровня цемента в затрубном пространстве и качества цементирования обсадных колонн. Контроль технического состояния обсадных, буровых и насосно-компрессорных труб.

Определение мест притока воды в скважину, зон поглощения и затрубного движения жидкости. Оценка качества изоляции заколонного пространства – термометрия, шумометрия.

Перфорация, контроль за перфорацией.

**Темы лекций:**

1. Комплексы ГИС для контроля разработки нефтегазовых месторождений.
2. Методы контроля притока, насыщения и положения ВНК, ГНК.
3. Определение тех. состояния скважин.

**Темы практических занятий:**

1. Определение работающих толщин перфорированного пласта при помощи данных дебитометрии (расходомерии).
2. Контроль цементации скважин по методам СГДТ и АКЦ.

**5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Перевод текстов с иностранных языков;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ;
- Подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины****6.1 Методическое обеспечение*****Основная литература:***

1. Номоконова Г.Г. Петрофизика коллекторов нефти и газа: учебное пособие. – Томск. Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 146 с.
2. Меркулов В.П. Геофизические исследования скважин: учебное пособие для вузов. - Томск: Изд-во ТПУ, 2016. - 146с.
3. Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С. Общий курс геофизических исследований скважин: учебное пособие - М.: Альянс, 2015. - 432с.
4. Ипатов А. И., Кременецкий М. И. Геофизический и гидродинамический контроль разработки месторождений углеводородов. Серия Современные нефтегазовые технологии М.-Ижевск: Издательство «РХД» 2010, 780 стр
5. Коноплев Ю.В. Геофизические методы контроля за разработкой нефтяных и газовых месторождений. Учеб. Пособие. Краснодар: Кубанский гос. ун-т. 1999.

***Дополнительная литература:***

1. Кобранова В.Н. Петрофизика. - М.: Недра, 1986 - 392 с.
2. Физические свойства минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах: Справочник . - М.: недра. 1988. - 253 с.

3. Петрофизическая характеристика осадочного покрова нефтегазоносных провинций: Справочник. - М.: Недра, 1985. - 193 с.
4. Физические свойства вещества в термодинамических условиях литосферы. - Киев.: Наукова думка, 1986. - 197 с.
5. Орлов Л.И., Карпов Е.Н., Топорков В.Г. Петрофизические исследования коллекторов нефти и газа. - М.: Недра, 1987. - 320 с.
6. Элланский М.Н. Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. - М.: Недра, 1978. - 212с.
7. Барулин Г.И. Геофизические основы регионального прогноза нефтегазоносности. - М.: Недра, 1983. - 176 с.
8. Ржевский В.В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород: учебник для вузов - Москва : ЛЕНАНД, 2015 - 359 с. - (Классика инженерной мысли: горное дело).
9. Дон Уолкотт. Разработка и управление месторождениями при заводнении. М.: ЮКОС, 2001. – 144с.
10. Тер-Саркисов Р.М., Захаров А.А., Левитский К.О. и др. Контроль за разработкой ГКМ при нагнетании сухой газа в пласт. Геофизические и гидродинамические методы. - М: Недра- Бюнесцентр, 2001, 194 с.
11. Чоловский И.П., Тимофеев В.А., Методы геолого-промыслового контроля разработки нефтяных и газовых мксторождений. М., Недра, 1992, 176с.
12. Щелкачсв В.Н., Латтук Б.Б. Подземная гидравлика. - Ижевск: ННЦ «Регулярная и хаоти-ческая динамика», 2001, 736 с.

## 6.2 Информационное и программное обеспечение

### *Электронные учебники ТПУ:*

1. Номоконова Г.Г. Физика горных пород  
[http://e-le.lcg.tpu.ru/public/FGP\\_0651/index.html](http://e-le.lcg.tpu.ru/public/FGP_0651/index.html)
2. Номоконова Г.Г. Петрофизика  
[http://e-le.lcg.tpu.ru/public/PFP\\_0611/index.html](http://e-le.lcg.tpu.ru/public/PFP_0611/index.html)

### *Интернет-ресурсы:*

1. <http://www.oilcraft.ru> Сайт библиотеки учебников и монографий нефтегазовой сферы
2. <http://www.slb.ru/sis/Petrophysics/> Петрофизика в GeoFrame
3. <http://www.yagello.ru/catalog.php?cid=218> Каталог изданий для нефтегазового комплекса: петрофизика
4. <http://www.izdatgeo.ru/index.php?action=journal&id=1> Журнал «Геология и геофизика»
5. [http://www.karotazhnik.ru/htmls/ntv\\_karotazhnik.htm](http://www.karotazhnik.ru/htmls/ntv_karotazhnik.htm) Журнал «Каротажник»
6. <http://vniioeng.mcn.ru/inform/geolog/> Журнал «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений»
7. <http://www.izdatgeo.ru/index.php?action=journal&id=1> Журнал «Геофизика»
8. <http://www.oil-gas.com.ua/NEW/last.htm> Журнал «Нефть и газ»
9. <http://astropro.ru/science/?p=video&id=464> Сайт фильмов по физике, в том числе раздела «поверхностные явления и свойства»
10. <http://www.gubkin.ru> Сайт Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина.
11. <http://www.geoinform.ru> – журнал «Геология нефти и газа»
12. <http://www.ngtp.ru/> Нефтегазовая геология. Теория и практика. Электронное издание ВНИГРИ

## **Используемое программное обеспечение:**

7-Zip; Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; AkelPad; Cisco Webex Meetings; Google Chrome; Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic; Mozilla Firefox ESR; ownCloud Desktop Client; Tracker Software PDF-XChange Viewer; WinDjView; Zoom Zoom

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

### **Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины**

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических занятий:

| <b>№</b> | <b>Наименование специальных помещений</b>   | <b>Наименование оборудования</b>  |
|----------|---|---|
| 1.       | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2, строен.5, 422 | Комплект учебной мебели на 48 посадочных мест;Проектор - 1 шт.; Компьютер - 1 шт.   |
| 2.       | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 2, строен.5, 414 | Протонный магнитометр ММП-203 - 2 шт.;Измеритель магнитной восприимчивости КМ-7 - 1 шт.;Гамма-спектрометр GS-512 - 2 шт.;Ресивер(приемник) для метода вызванной поляризации GRX8-32 - 1 шт.;Комплект регистратора "Дельта-03"(4 канала) - 2 шт.;Измеритель вызванной поляризации электроразведочный TLR-IP-003 - 2 шт.;Магнитометр электронный портативный протонный GSM-19TW - 2 шт.;Электроразведочный генератор TLT-30 - 1 шт.;Сейсмоприемник акселерометр трехкомпонентный А0531 - 2 шт.;Трансммиттер(передатчик) вызванной поляризации TXII-3600W-2400V - 1 шт.;Осциллограф С 1-17 - 1 шт.;Генератор электроразведочный TLT-30 - 1 шт.;Доска аудиторная настенная - 1 шт.;Шкаф общелабораторный - 2 шт.;Шкаф для документов - 3 шт.;Тумба подкатная - 1 шт.;Стол лабораторный - 4 шт.;Комплект учебной мебели на 10 посадочных мест;Проектор - 1 шт.; Компьютер - 28 шт. |

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело», профиль «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», (приема 2018 г., заочная форма обучения).

Разработчик(и):

| Должность | ФИО          |
|-----------|--------------|
| Доцент    | С.В. Соколов |

Программа одобрена на заседании ОНД (протокол №22 от 25.06.2018)

И.о. заведующего кафедрой - руководителя  
ОНД на правах кафедры,  
д.г.-м.н., профессор

  
И.А. Мельник