



Негосударственное образовательное учреждение
«Академия инжиниринга нефтяных и газовых месторождений»

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель проекта по развитию
и обучению персонала
НОУ «Академия ИНГМ»
М.С. Найденкова
_____ 2025 г.



ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА

ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«МЕТОДЫ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ»

Разработал:
преподаватель Н.В. Дубиня, к.ф.-м.н.

г. Томск

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

1.1. Нормативные основания разработки программы	3
1.2. Цель	3
1.3. Задачи	3
1.4. Планируемые результаты обучения.....	3
1.5. Характеристика профессиональной деятельности слушателей	4

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

2.1. Учебный план.....	4
2.2. Рабочие программы (тематическое содержание) модулей	5
2.3. Календарный учебный график	7

3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

3.1. Категория слушателей	7
3.2. Технологии и методы обучения.....	7
3.3. Учебно-методическое обеспечение.....	7
3.4. Материально-техническое обеспечение.....	8
3.5. Кадровое обеспечение.....	8
3.6. Информационное обеспечение.....	8
3.7. Электронные ресурсы.....	9
3.8. Документ о квалификации.....	9

4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

4.1. Формы аттестации.....	9
4.2. Оценочные материалы.....	9
4.3. Оценка результатов аттестации	11

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

Нормативные основания разработки программы:

1. Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 г.
2. Приказ Министерства образования и науки РФ № 499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам» от 01.07.2013 г.
3. Профессиональные стандарты Код 19 «Добыча, переработка, транспортировка нефти и газа».
4. Проекты примерных образовательных программ по направлениям бакалавриата 210000 «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия».
5. ФГОС ВО по направлениям бакалавриата и магистратуры 210000 «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия».

Цель:

совершенствование профессиональных компетенций специалистов в области решения прикладных задач геомеханики месторождений углеводородов для повышения эффективности освоения и разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений.

Задачи:

- понять теоретические основы механики деформируемого твердого тела;
- изучить основные этапы построения модели механических свойств массива горных пород по данным разномасштабных геофизических исследований;
- рассмотреть подходы к расчету напряженно-деформированного состояния массива горных пород;
- научиться решать основные задачи геомеханики месторождений углеводородов, в частности, расчет устойчивости ствола скважины;
- ознакомиться с современными решениями комплексных задач геомеханики месторождений, таких как оптимизация разработки с учетом механических процессов, прогноз зон развитой трещиноватости, дизайн гидроразрыва пласта.

Планируемые результаты обучения:

усовершенствованные профессиональные компетенции, выраженные в способностях:

- понимать теоретические основы механических процессов, протекающих на различных этапах освоения и разработки месторождений углеводородов;
- уметь определять необходимый и достаточный набор предварительных исследований, требующихся для получения достоверных решений прикладных задач геомеханики месторождений углеводородов;
- выполнять построение одномерных и трехмерных моделей механических свойств на основании комплексирования экспериментов по определению механических свойств образцов пород, геофизических исследований скважин и данных сейсмических исследований;
- численно оценивать значения параметров, характеризующих напряженное состояние пород, слагающих месторождения углеводородов, по данным геофизических исследований.

Характеристика профессиональной деятельности слушателей:

Область профессиональной деятельности слушателей, освоивших программу курса повышения квалификации, включает реализацию и управление технологическими процессами и производством, методологию и методы проектирования и конструирования, научные исследования и разработки в сегменте топливной энергетики, в т.ч. освоение месторождений, транспортирование и хранение углеводородов, исследование недр и поверхности Земли, рациональное использование и охрана земельных и углеводородных ресурсов и др.

Объектами профессиональной деятельности слушателей являются технологические процессы и устройства для строительства, ремонта, восстановления, добычи, промыслового контроля, транспортирования, хранения и сбыта нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов, поверхность и недра Земли, геодинамические явления и процессы, территориально-административные образования, информационные системы и инновационные технологии и др.

Виды профессиональной деятельности слушателей: производственно-технологическая, организационно-управленческая, экспериментально-исследовательская, проектная, проектно-изыскательская, научно-исследовательская.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Учебный план дополнительной профессиональной программы определяет перечень, трудоемкость, последовательность и распределение учебных модулей, иных видов учебной деятельности обучающихся и формы аттестации.

Учебный план:

№	Наименование модулей	Количество часов			Форма аттестации
		Всего	в том числе:		
			лекционные занятия	практические занятия	
1	Цели и задачи геомеханического моделирования	1	1	-	Текущий контроль
2	Напряжённо-деформированное состояние геологической среды	7	5	2	Текущий контроль
3	Создание модели механических свойств месторождения	7	6	1	Текущий контроль
4	Расчёт напряжённо-деформированного состояния месторождений углеводородов	7	5	2	Текущий контроль
5	Оптимизация параметров бурения на основе оценок напряжённо-деформированного состояния пластов; снижение рисков при бурении	6	5	1	Текущий контроль
6	Нелинейные эффекты в геомеханике месторождений углеводородов. Моделирование трещинообразования, обрушения стволов скважин и др.	4	4	-	Текущий контроль
7	Прогноз зон развития трещиноватости и продуктивности скважин на основе оценок напряжённо-	3	3	-	Текущий контроль

	деформированного состояния геологической среды				
8	Сопряженное геомеханическое и флюидодинамическое моделирование. Постоянно действующая флюидно-геомеханическая модель месторождения. Оптимизация параметров разработки месторождения.	3	3	-	Текущий контроль
9	Итоговая аттестация	2	-	2	Тестирование
	ИТОГО	40	32	8	

Рабочие программы (тематическое содержание) модулей:

Цели и задачи геомеханического моделирования.

Краткое описание задач геомеханики месторождений, возникающих на этапах освоения и разработки: оптимизация бурения, расчет устойчивости ствола скважины, дизайн гидроразрыва пласта, прогноз зон развитой трещиноватости, эволюция фильтрационно-емкостных свойств насыщенных пород по мере разработки месторождения, проседание Земной поверхности и др. Описание основных подходов к решению этих задач, определение основных понятий.

Напряжённо-деформированное состояние геологической среды

- Основы механики сплошных сред: понятия напряжений и деформаций, основы тензорного анализа, уравнения равновесия, условия совместности деформаций, реологические соотношения, статические и динамические процессы, упругие, пластические и вязкие среды, упругие и остаточные деформации, модели пластического течения, разрушение сплошных сред, механика трещинообразования, изотропные и анизотропные среды.

- Параметры напряженно-деформированного состояния геологической среды, их физический смысл и значение при разведке и разработке месторождений УВ: главные напряжения, их направления и величины, разномасштабность механических свойств горных пород.

Создание модели механических свойств месторождения

- Необходимый и оптимальный набор данных для создания качественной ММС месторождения; подготовка данных для создания ММС. Особенности проведения экспериментов на образцах керна для определения механических свойств горных пород, псевдотрехосный и истинно трехосный тест, эксперименты по определению прочностных параметров. Интерпретация данных геофизических исследований скважин для определения механических свойств пород околоскважинной зоны. Основные подходы при интерпретации сейсмических данных.

- Методы создания 1D ММС: построение зависимостей между статическими и динамическими упругими модулями горных пород на разных масштабах. Связь между упругими модулями и прочностными свойствами. Методы перемасштабирования керновых и скважинных оценок механических свойств. Подходы теории эффективных сред.

- Создание 3D ММС: объединение одномерных моделей механических свойств с данными сейсмических исследований, создание кубов механических свойств в масштабах сеймики.

Расчёт напряжённно-деформированного состояния месторождений углеводородов

- Основные численные методы расчёта НДС, их преимущества и недостатки. Методы оценки параметров напряженного состояния пород околоскважинной зоны по данным скважинных исследований, их сравнение. Модели реконструкции профилей напряжений вдоль траекторий скважин. Общий подход к моделированию трехмерных полей напряжений, проблемы начальных и граничных условий. Конечно-разностный, конечно-элементный и конечно-объемный методы численного решения задач механики деформируемого твердого тела. Особенности численного решения задач геомеханики.

- Основные программные продукты для расчёта НДС

Оптимизация параметров бурения на основе оценок напряжённно-деформированного состояния пластов; снижение рисков при бурении.

Построение детальной одномерной геомеханической модели. Расчеты профилей главных напряжений вдоль траектории скважины. Механика вывалообразования и возникновения трещин растяжения при бурении. Влияние плотности бурового раствора на напряженное состояние пород околоскважинной зоны, концентрация напряжений. Выбор оптимальной плотности бурового раствора для снижения рисков при бурении. Количественная оценка рисков при бурении, вызванных неоднозначностью параметров напряженного состояния пород околоскважинной зоны.

Нелинейные эффекты в геомеханике месторождений углеводородов. Моделирование трещинообразования, обрушения стволов скважин и др.

Упругое и упруго-пластическое деформирование горных пород. Пластический потенциал. Ассоциированный и неассоциированный законы пластического течения. Дилатансия и упрочнение горных пород. Хрупкое и нехрупкое разрушение пород по мере накопления пластических деформаций. Прогноз геометрических особенностей трещин, образующихся и развивающихся в ходе необратимого деформирования горных пород.

Прогноз зон развития трещиноватости и продуктивности скважин на основе оценок напряжённно-деформированного состояния геологической среды.

Гипотеза критически напряженных трещин. Связь пластических деформаций и степени выраженности трещиноватости горной породы. Пространственная ориентация активных трещин для произвольного тензора напряжений, действующих в трещиноватой среде. Прогноз пространственной ориентации флюидопроводящих трещин по результатам трехмерного и четырехмерного геомеханического моделирования.

Сопряженное геомеханическое и флюидодинамическое моделирование. Постоянно действующая флюидно-геомеханическая модель месторождения. Оптимизация параметров разработки месторождения.

Связь между механическими и гидродинамическими процессами. Модель пороупругости Био. Экспериментальные и теоретические работы о связи актуального напряженно-деформированного состояния горной породы и ее текущими фильтрационно-емкостными свойствами. Методы совмещения гидродинамического и геомеханического моделирования. Влияние геомеханических процессов на показатели разработки месторождения.

Календарный учебный график:

№	Наименование модулей	Всего часов	Учебные дни				
			1	2	3	4	5
1	Цели и задачи геомеханического моделирования	1	8				
2	Напряжённо-деформированное состояние геологической среды	7					
3	Создание модели механических свойств месторождения	7		8			
4	Расчёт напряжённо-деформированного состояния месторождений углеводородов	7					
5	Оптимизация параметров бурения на основе оценок напряжённо-деформированного состояния пластов; снижение рисков при бурении	6			8		
6	Нелинейные эффекты в геомеханике месторождений углеводородов. Моделирование трещинообразования, обрушения стволов скважин и др.	4				8	
7	Прогноз зон развития трещиноватости и продуктивности скважин на основе оценок напряжённо-деформированного состояния геологической среды	3					8
8	Сопряженное геомеханическое и флюидодинамическое моделирование. Постоянно действующая флюидно-геомеханическая модель месторождения. Оптимизация параметров разработки месторождения.	3					
9	Итоговая аттестация	2					
ИТОГО		40	8	8	8	8	8

ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Трудоемкость:	40 часов
Форма обучения:	очная
Виды занятий:	лекционные, практические
Формы аттестации:	текущий контроль, итоговое тестирование
Режим занятий:	8 академических часов в день
Срок обучения:	5 дней

Категория слушателей:

Курс повышения квалификации могут пройти лица, имеющие (получающие) высшее или среднее профессиональное образование по соответствующей специальности либо прошедшие профессиональную переподготовку по соответствующему направлению.

Технологии и методы обучения:

лекция, семинар, беседа, кейс-стади, демонстрация, упражнения, решение задач, проведение расчетов.

Учебно-методическое обеспечение:

презентации по модулям курса, раздаточный материал: учебники, научные статьи по тематике курса.

Материально-техническое обеспечение:

аудитория, столы, стулья, ноутбуки с доступом в Интернет, мультимедийный проектор и экран, презентер, магнитно-маркерная доска, комплект лицензионного программного обеспечения (MS Power Point, Word, Excel и др.)

Кадровое обеспечение:

Образовательный процесс обеспечивается научно-педагогическими кадрами, имеющими базовое образование, соответствующее профилю программы, и ученую степень или опыт деятельности в соответствующей профессиональной сфере и систематически занимающимися научной и/или научно-методической деятельностью, преподаватели из числа действующих руководителей и ведущих работников профильных организаций.

Информационное обеспечение:

1. Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов. Изд. 7., М.: «Государственное издательство физико-математической литературы», 1960. – 345 с.
2. Гафаров Р.Х., Жернаков В.С. Что нужно знать о сопротивлении материалов. М.: «Машиностроение», 2001. – 276 с.
3. Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. М.: «ГЕОС», 2016 г. – 424 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. Изд. 4., М.: «Наука», 1987. – 245 с.
5. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. М.: «Мир», 1974. – 319 с.
6. Афанасьев И.С., Никитин А.Н., Латыпов И.Д., Хайдар А.М., Борисов Г.А. Прогноз геометрии трещины гидроразрыва пласта // Нефтяное хозяйство. 2009. Т. 11. С. 62–66.
7. Белоусов Т. П., Мухамедиев Ш. А. К реконструкции палеонапряжений по трещиноватости горных пород // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1990. Т. 2. С. 16-29.
8. Динник А.Н. О давлении горных пород и расчет крепи вертикальной шахты // Инж. работник. 1925. №7. С. 1–23.
9. Мухамедиев Ш.А. О дискретном строении геосреды и континуальном подходе к моделированию ее движения // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7. № 3. С. 347–381.
10. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. М.: Недра. 1986. 304 с.
11. Agheshlui H., Matthai S. Uncertainties in the estimation of in situ stresses: effects of heterogeneity and thermal perturbation // Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour. 2017. V. 3. P. 415–438.
12. Amadei B., Savage W.Z., Swolfs H.S. Gravitational stresses in anisotropic rock masses // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics. 1987. V. 24 № 1. P. 5–14.
13. Anderson E.M. The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain. Edinburgh: Oliver and Boyd. 1951. 206 p.
14. Hickman S.H., Zoback M.D. The interpretation of hydraulic fracturing pressure-time data for in situ stress determination // Hydraulic Fracturing Measurements. 1983. P. 44–54.
15. ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии
16. ГОСТ 21153.3-85 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении

17. ГОСТ 21153.8-88 Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии
18. ГОСТ 26447-85 Породы горные. Метод определения механических свойств глинистых пород при одноосном сжатии
19. ГОСТ 28985-91 Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии
20. D7012-14 Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures

Электронные ресурсы:

1. <http://www.world-stress-map.org/> - Открытые базы данных по оценке напряжений в верхних слоях Земной коры – проект World Stress Map;
2. <https://www.icdp-online.org/support/service/data-and-sample-management/drilling-information-system/> - Открытая база данных исследовательского бурения ICDP (International Continental Scientific Drilling Program);
3. <http://publications.icdp.org/> - Открытая база данных исследовательского бурения IODP (Integrated Ocean Drilling Program).

Документ о квалификации:

Лицам, успешно освоившим соответствующую дополнительную профессиональную программу и прошедшим итоговую аттестацию, выдается удостоверение о повышении квалификации. При освоении дополнительной профессиональной программы параллельно с получением среднего и (или) высшего образования удостоверение о повышении квалификации выдается одновременно с получением соответствующего документа об образовании и о квалификации.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Формы аттестации:

1. Предварительный контроль в форме опроса устного.
2. Текущий контроль в форме опроса устного, решения и проверки задач.
3. Итоговый контроль в форме опроса, решения и проверки задач, тестирования.

Оценочные материалы:

Вопросы для устного опроса для предварительного контроля, тест для итогового контроля, комплект задач.

Образец вопросов для предварительного контроля:

1. Что такое напряжение?
2. Чем отличаются скалярные, векторные и тензорные величины?
3. Сколько независимых величин характеризует напряженное состояние элемента среды?

Образец вопросов для текущего контроля:

1. Какие точки ограничивает круг Мора?
2. Сколько уравнений описывает напряженно-деформированное состояние массива горных пород?
3. Почему соотношение между значениями вертикальных и горизонтальных напряжений определяет, какие разломы будут активными, а какие нет?

Образец задач для текущего контроля:

1. Найти нормальное и касательное напряжение, действующие на площадке заданной пространственной ориентации для заданного тензора напряжений.
2. Найти связь между скоростями пробега продольных и поперечных упругих волн с модулем Юнга, коэффициентом Пуассона для изотропной среды.
3. Найти эффективные упругие модули слоистой среды по известным механическим свойствам слоев.

Образец вопросов для итогового контроля:

1. В каких случаях следует применять пороупругую, а в каких – кусочно-линейную модель реконструкции профилей напряжений?
2. Какие методы оценки напряжений позволят достоверно оценить значения напряжений в условиях безаварийного бурения и отсутствия данных о гидроразрыве? Какие методы в каких условиях будут предпочтительны?
3. Какие существуют механизмы взаимодействия трещины гидроразрыва с естественными трещинами и границами раздела слоев в слоистой среде?

Образец задач для итогового контроля:

1. Определить предпочтительное направление фильтрации по трещинам для заданного поля напряжений, действующих в трещиноватой среде.
2. Определить интервал плотности бурового раствора, безопасный с точки зрения бурения, для заданной одномерной модели механических свойств и точечных замеров минимального горизонтального напряжения.
3. Определить геометрию трещины повторного гидроразрыва для заданных тектонических напряжений и параметров закачки.

Образец тестов для итогового контроля:

1. Пластические деформации начинают накапливаться в среде при преодолении напряжениями предела:
 - текучести
 - пластичности
 - упругости
 - прочности
2. Если давление закрытия трещины ГРП на заданной глубине не превышает вертикального напряжения, можно предположить, что на этой глубине реализуется режим:
 - сброса
 - взброса
 - сдвига
 - надвига
3. Рост эффективных напряжений ведет к тому, что текущая проницаемость породы:
 - растет
 - падает
 - растет до определенной величины, а затем падает
 - падает до определенной величины, а затем растет

Оценка результатов аттестации:

Для определения результатов аттестации устанавливается диапазон баллов, которые необходимо набрать для того, чтобы получить отличную, хорошую, удовлетворительную или неудовлетворительную оценки.

Шкала перевода результатов тестирования в оценку результатов аттестации:

<i>Процент выполненных заданий теста</i>	<i>Оценка</i>	<i>Результат аттестации</i>
85-100	Отлично	Слушатель аттестован
65-84	Хорошо	
50-64	Удовлетворительно	
0-49	Неудовлетворительно	Слушатель не аттестован