



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по образовательной
деятельности НОУ «Академия
ИНГМ»
И.В. Пчелинцева
« 23 » 2024 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА

ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«PVT-МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ»

Разработал:
Т.С. Ющенко, к.ф.-м.н.

г. Москва
2025 г

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.....	5
2.2. Рабочие программы (тематическое содержание) модулей	6
2.3. Календарный учебный график	8
3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	
3.1. Категория слушателей	8
3.2. Технологии и методы обучения.....	8
3.3. Учебно-методическое обеспечение.....	9
3.4. Материально-техническое обеспечение.....	9
3.5. Кадровое обеспечение.....	9
3.6. Информационное обеспечение.....	9
3.7. Электронные ресурсы.....	9
3.8. Документ о квалификации.....	9
4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ	
4.1. Формы аттестации.....	10
4.2. Оценка результатов аттестации	10

Название: PVT-моделирования с использованием уравнения состояния.

Сложность: Продвинутый курс для тех, кто освоил программу базового курса и занимался созданием PVT-моделей.

Продолжительность: 5 дней, 40 часов

Цель курса: Совершенствование профессиональных компетенций специалистов нефтегазовых компаний в области моделирования поведения пластовых флюидов (PVT-моделирование).

Задачи:

- Научиться создавать и адаптировать PVT-модели пластовых углеводородных флюидов с использованием кубических уравнений состояния и математических методов расчета фазового равновесия в многокомпонентных системах;
- Изучить специальные исследования пластовых флюидов для моделирования методов увеличения нефтеотдачи. Тройная диаграмма, минимальное давление смесимости и т.д.;
- Научиться адаптировать PVT-модели на специальные эксперименты для МУН по закачке газа (ПНГ, CO₂, дымовой газ и т.д.);
- Использовать PVT-модели для расчета распределения компонентного состава и PVT-свойства пластового флюида по глубине, как для однофазных, так и для двухфазных залежей;
- Освоить методику оценки влияния наличия неподвижной жидкой фазы на поведение газоконденсатной системы в процессе разработки с использованием адекватных PVT-моделей. Учет наличие рассеянной жидкой углеводородной фазы в пласте для газоконденсатных систем;
- Освоить методику восстановления предельно насыщенной пластовой системы по данным некондиционных проб, отобранных в двухфазном потоке на основе PVT-моделирования;
- Освоить методику идентификации компонентного состава пластовой нефти и свободного газа двухфазной залежи при ограниченной исходной информации с использованием PVT-моделирования;
- Использовать методы PVT-моделирования для решения специальных задач для околокритических природных углеводородных систем;
- Изучение моделирования трехфазного парожидкостного равновесия в системе «вода – углеводородный флюид». Расчет влагосодержания. Изучения критериев выпадения гидратов.

Для практических занятий используется по PVT дизайнер tNavigator. Для практических занятий возможно использование данных реальных залежей от слушателей.

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 по гидродинамическому и PVT-моделированию в области моделирования пластовых флюидов.

Задачи:

- понять цели и задачи моделирования пластовых углеводородных флюидов;
- рассмотреть экспериментальные исследования пластовых углеводородных флюидов, необходимые для создания и адаптации PVT-моделей;
- изучить специальные исследования пластовых флюидов для моделирования методов увеличения нефтеотдачи;
- научиться создавать и адаптировать PVT-модели пластовых углеводородных флюидов с использованием кубических уравнений состояния и математических методов расчета фазового равновесия в многокомпонентных системах. Для практических занятий используется ПО PVT дизайнер tNavigator.
- использовать методы PVT-моделирования для оценки и идентификации свойств пластовых флюидов двухфазных залежей;
- использовать PVT-модели для расчета распределения компонентного состава и PVT-свойства пластового флюида по глубине, как для однофазных, так и для двухфазных залежей;
- использовать методы PVT-моделирования для решения специальных задач для сложных природных углеводородных систем (околокритические смеси, системы с рассеянной нефтью, предельно насыщенные системы);

Планируемые результаты обучения:

Усовершенствованные профессиональные компетенции по следующим направлениям:

- работа с техническим отчётом по PVT исследованию пластового флюида в российском и зарубежном варианте;
- теория и практика математического моделирования пластовых флюидов (пластовая нефть, газоконденсатные системы);
- понимание цели и применение различных методов создания модели пластового флюида;
- работа в PVT симуляторе;
- определение причины изменения свойств пластового флюида и соответствующие выводы для их математического описания
- использование математического моделирования для расчета изменения состава с глубиной для пластовых нефтей, газоконденсатных систем и двухфазных залежей;

- использование PVT-модели для идентификации компонентного состава и свойств флюидов двухфазной залежи при ограниченной исходной информации
- адаптация PVT-модели на эксперименты для МУН (набухание, тонкая трубка) с целью корректного моделирования МУН в ГДМ;
- учет влияния рассеянной нефти на поведение газоконденсатной системы с использованием PVT-моделирования
- изучения принципов вытеснения нефти газами, моделирование в PVT-симуляторе;
- изучение методики донасыщения пластового флюида для восстановления свойств предельно насыщенной залежи;
- изучение моделирования трехфазного парожидкостного равновесия в системе «вода – углеводородный флюид». Расчет влагосодержания. Изучения критериев выпадения гидратов.

Характеристика профессиональной деятельности слушателей:

Область профессиональной деятельности слушателей, освоивших программу курса повышения квалификации, включает использование навыков PVT-моделирования для решения практических задач по прогнозированию и мониторингу гидродинамического моделирования разработки месторождений нефти и газа, интерпретации гидродинамических исследований скважин и моделирования течения в скважинах и промысловых нефтепроводах.

Виды профессиональной деятельности слушателей: анализ, интерпретация и прогнозирование разработки месторождений, работы скважин, а также обустройство промысла (в том числе системы сепарации) и бассейновое моделирование.

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	PVT-моделирование: цели и задачи	1	0.5	0.5	Входной тест
2	Уравнения состояния. Постановка задач расчета парожидкостного равновесия.	4	4	-	Текущий контроль
3	Промысловые и лабораторные исследования пластовой нефти и газоконденсатных систем	4	4	-	Текущий контроль, PVT-модель
4	Создание и адаптация PVT-модели пластовой нефти в ПО PVT дизайнер tNavigator	4	1	3	PVT-модель
5	Создание и адаптация PVT-модели пластовой газоконденсатной системы в ПО PVT дизайнер tNavigator	4	1	3	PVT-модель
6	Гравитационное распределения изменения состава и свойств пластового флюида по разрезу	4	1	3	PVT-модель

	(для однофазных и двухфазных залежей)				
7	Идентификация компонентного состава и PVT-свойств пластовых флюидов двухфазных залежей при ограниченной исходной информации	4	1	3	PVT-модель
8	Моделирование влияние рассеянной нефти на PVT-свойства добываемого флюида предельно насыщенной газоконденсатной залежи	3	1	2	PVT-модель
9	Особенности моделирования околокритических смесей	2	1	1	PVT-модель
10	Принципы вытеснения нефти газами. Теория и моделирование	4	2	2	PVT-модель
11	Методика донасыщения пластового флюида	3	2	1	PVT-модель
12	Учет воды при PVT-моделировании. Влажность и условия выпадения гидратов	2	1	1	PVT-модель
13	Итоговая аттестация	1	-	1	Выходной тест
	ИТОГО	40	19.5	20.5	

Рабочие программы (тематическое содержание) модулей:

PVT-моделирование. Цели и задачи.

Для чего необходимо моделировать свойства пластовых флюидов? Области применения PVT-моделей пластовых флюидов. Основные задачи, которые невозможно решить без данных о составе и свойствах пластовых флюидов

Уравнения состояния. Постановка задач расчета парожидкостного равновесия.

Развитие уравнения состояния: от уравнения идеального газа до кубических трёхпараметрических уравнений состояния Пенга-Робинсона и Соаве-Редлиха-Квонга. Методы применения уравнения состояния для природных углеводородных систем. Основные параметры современных уравнений состояния, используемых на практике при моделировании PVT-свойств пластовых флюидов. Постановка задачи парожидкостного уравнения и способы решения системы уравнений. Необходимые исходные данные для применения уравнений состояния в PVT-симуляторах на практике.

Промысловые и лабораторные исследования пластовых флюидов

Основные PVT-свойства пластовых флюидов (пластовая нефть, газоконденсатная система, жирный и сухой газ): определение и способы получения. Методы определения компонентного состава пластовых флюидов. Описание лабораторных исследований. Зависимости свойств пластового флюида от давления при постоянной температуре. Подсчетные параметры и как их получать. Практическая работа по созданию PVT-модели и основных экспериментов в PVT-симуляторе tNavigator.

Создание и адаптация PVT-модели пластовой нефти в ПО PVT дизайнер tNavigator

Описание поэтапного инженерного метода создания и адаптации PVT-модели пластовой нефти в ПО tNavigator. Совместное создание PVT-модели одной из реальных пластовых систем на основе разработанной инструкции. Практическая работа по адаптации

PVT-модели на основные PVT-свойства в ПО tNavigator. Отработка метода адаптации моделей самостоятельно на втором примере реальной пробы пластовой нефти.

Создание и адаптация PVT-модели пластовой газоконденсатной системы в ПО PVT дизайнер tNavigator

Описание поэтапного инженерного метода создания и адаптации PVT-модели пластовой газоконденсатной системы в ПО tNavigator. Совместное создание PVT-модели одной из реальных пластовых систем на основе разработанной инструкции. Практическая работа по адаптации PVT-модели на основные PVT-свойства в ПО tNavigator. Отработка метода адаптации моделей самостоятельно на втором примере реальной пробы пластовой газоконденсатной системы.

Гравитационное распределения изменения состава и свойств пластового флюида по разрезу (для однофазных и двухфазных залежей)

Физические основы наличия гравитационного градиента изменения состава и свойств пластового флюида по разрезу. Постановка задачи и методы решения. Существующие современные подходы моделирования гравитационного распределения в PVT-симуляторах. Особенности распределения свойств по разрезу для залежей большой мощности. Определение ГНК с помощью PVT-модели. Практическая работа по моделированию гравитационного градиента в ПО tNavigator.

Идентификация компонентного состава и PVT-свойств пластовых флюидов двухфазных залежей при ограниченной исходной информации

Физические основы термодинамического равновесия в двухфазных залежах. Возможность оценки свойств газа газовой шапки по имеющимся данным о свойствах нефти нефтяной оторочки с использованием PVT-моделирования. Практический пример использования подхода.

Моделирование влияние рассеянной нефти на PVT-свойства добываемого флюида предельно насыщенной газоконденсатной залежи

Теоретические основы возможности наличия рассеянной нефти в предельно насыщенных газоконденсатных залежах. Возможности учета рассеянной в PVT-модели для прогнозирования потенциального содержания стабильного конденсата в добываемом газе. Практические примеры и работа в ПО tNavigator.

Особенности моделирования околокритических смесей

Описание особенностей околокритического флюида по сравнению с системами пластовой нефти и газоконденсатными системами. Особенности поведения флюидов близко к критической температуре. Моделирование околокритических флюидов и работа с экспериментальными данными. Практические примеры и моделирование закритического фазового перехода в двухфазной залежи большой мощности.

Принципы вытеснения нефти газами. Теория и моделирование

Теоретические основы смешивающегося вытеснения. Тройная диаграмма. Описание специализированных экспериментов для МУН по закачке газов в пласт (набухание, тонкая трубка). Моделирование экспериментов в PVT-симуляторе. Адаптация PVT-модели на результаты экспериментов. Прогнозирование достижения минимального давления смеси. Практические примеры и работа в ПО tNavigator.

Методика донасыщения пластового флюида

Проблема с получением представительных проб пластового флюида для предельно насыщенных залежей. Методика восстановления начального состава и определение свойств предельно насыщенных пластовых флюидов по частично неrepresentative пробам.

Использование PVT-модели для восстановления компонентного состава и оценки свойств предельно насыщенной пластовой нефти и газа газовой шапки. Практические примеры и работа в ПО tNavigator.

Учет воды при PVT-моделировании. Влагосодержание и условия выпадения гидратов

Возможность моделирования трехфазного парожидкостного равновесия с использованием кубических уравнений состояния. Настройка PVT-модели на влагосодержание углеводородных фаз. Особенности поведения пластовой углеводородной системы при наличии воды. Корреляции для оценки влагосодержания газа. Образование гидратов, теория и корреляции для прогнозирования.

Календарный учебный график:

№	Наименование модулей	Всего часов	Учебные дни					
			1	2	3	4	5	
1	PVT-моделирование: цели и задачи	1	8					
2	Уравнения состояния. Постановка задач расчета парожидкостного равновесия.	4						
3	Промысловые и лабораторные исследования пластовой нефти и газоконденсатных систем	4						
4	Создание и адаптация PVT-модели пластовой нефти в ПО PVT дизайнер tNavigator	4		8				
5	Создание и адаптация PVT-модели пластовой газоконденсатной системы в ПО PVT дизайнер tNavigator	4						
6	Гравитационное распределения изменения состава и свойств пластового флюида по разрезу (для однофазных и двухфазных залежей)	4			8			
7	Идентификация компонентного состава и PVT-свойств пластовых флюидов двухфазных залежей при ограниченной исходной информации	4						
8	Моделирование влияние рассеянной нефти на PVT-свойства добываемого флюида предельно насыщенной газоконденсатной залежи	3				8		
9	Особенности моделирования околокритических смесей	2						
10	Принципы вытеснения нефти газами. Теория и моделирование	4						
11	Методика донасыщения пластового флюида	3					8	
12	Учет воды при PVT-моделировании. Влагосодержание и условия выпадения гидратов	2						
13	Итоговая аттестация	1						
ИТОГО		40	8	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, а также имеющие знания о лабораторных исследованиях и методах отбора пластовых флюидов.

Технологии и методы обучения:

Лекция, решение задач, проведение расчетов, построение графиков, мозговой штурм, тренинг, упражнения, мастер-класс

Учебно-методическое обеспечение:

Презентации по модулям курса, раздаточный материал, тесты, примеры для решения задач, документы в электронном формате, ПО PVT дизайнер tNavigator

Материально-техническое обеспечение:

Аудитория, столы, стулья, ноутбуки с доступом в Интернет, мультимедийный проектор и экран, презентер, аудиокolonки, магнитно-маркерная доска, комплект лицензионного программного обеспечения (MS Excel, Word, Power Point, и др.). Специальная программа моделирования свойств пластовых флюидов (PVT) PVT дизайнер tNavigator– лицензия для лектора и каждого участника курса на время проведения курса.

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. Брусиловский А.И. Фазовые равновесия при разработке месторождений нефти и газа/ М.: Издательский дом «Грааль». – 2002. – 575 с.
2. Pedersen, K. S. Phase behavior of petroleum reservoir fluids. – Taylor & Francis Group, 2007
3. Whitson C. H., Brulé M. R. Phase Behavior. SPE Monograph Series. – Texas, Richardson, 2000.
4. Ali Danesh. Pvt and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids. – Elsevier, 1998.
5. Ahmed, T. Equations of State and PVT Analysis. Applications for Improved Reservoir Modeling. - Houston, Texas, 2007
6. Ющенко Т.С., Брусиловский А.И. Поэтапный подход к созданию и адаптации PVT-моделей пластовых углеводородных систем на основе уравнения состояния/ Георесурсы, 24(3). – 2022. - с. 164–181.
7. Ющенко Т.С. Математическое моделирование парожидкостного равновесия природных углеводородных смесей/ канд. дисс. к.ф.-м.н. – 2016. – 131 с.

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 письменного
2. Текущий контроль в форме решения и проверки задач, наблюдения за слушателями
3. Итоговый контроль в форме опроса письменного

Оценочные материалы:

Тест для предварительного контроля, тест для итогового контроля.

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