



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

<b>1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ</b>	
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
<b>2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ</b>	
2.1. Учебный план.....	5
2.2. Рабочие программы (тематическое содержание) модулей .....	6
2.3. Календарный учебный график .....	8
<b>3. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ</b>	
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
<b>4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ</b>	
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, CO<sub>2</sub>, 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
	<b>ИТОГО</b>	<b>40</b>	<b>19.5</b>	<b>20.5</b>	

### **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					8	
11	Методика донасыщения пластового флюида	3						
12	Учет воды при PVT-моделировании. Влагосодержание и условия выпадения гидратов	2						
13	Итоговая аттестация	1						
<b>ИТОГО</b>		<b>40</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

#### ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

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