

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета машиностроения и  
аэрокосмической техники  
И.Г. Дроздов



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

«Математическое моделирование в нефтегазовом деле»

**Специальность** 21.05.06 Нефтегазовая техника и технологии

**Специализация** Машины и оборудование для транспортировки, переработки  
и хранения углеводородов

**Квалификация выпускника** Горный инженер (специалист)

**Нормативный период обучения** 5 лет и 6 м.

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2026

Автор программы  
Заведующий кафедрой  
Нефтегазового  
оборудования и  
транспортировки

Е.М. Оболонская

Руководитель ОПОП

С.Г. Валухов

С.Г. Валухов

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Целью изучения дисциплины является формирование у студента целостного системного подхода к математическому моделированию как к основному методу решения научно-исследовательских и проектных задач в нефтегазовом деле, а также развитие навыков самостоятельной постановки и компьютерной реализации сложных прикладных моделей для оптимизации технологических процессов и разработки новых технических решений.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

Сформировать способность к самостоятельной разработке, адаптации и применению математических моделей для аналитического и численного анализа стационарных и нестационарных режимов работы сложных трубопроводных систем и технологических объектов хранения углеводородов.

Сформировать навыки верификации и валидации математических моделей, критической оценки границ применимости, точности и достоверности получаемых результатов для обоснования инженерных и управленческих решений.

Приобретение опыта сквозного проектирования — от постановки технологической задачи до компьютерной реализации модели и анализа результатов — для решения практических задач в области проектирования, модернизации и эксплуатации систем транспорта и хранения углеводородов.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Математическое моделирование в нефтегазовом деле» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Математическое моделирование в нефтегазовом деле» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1 - Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий

ПК-13 - Способен организовывать и координировать работу по развитию рационализаторских предложений и изобретательской деятельности

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>
УК-1	Знать: - методы проведения анализа технических систем и технологических процессов нефтегазового дела; - принципы и методы верификации, валидации и оценки адекватности математических моделей, границы их применимости; - достоинства, недостатки и границы применимости

	<p>различных классов математических моделей для решения типовых задач нефтегазового дела.</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить критический анализ и сравнительную оценку различных математических подходов к решению одной прикладной задачи, обосновывая выбор оптимальной стратегии моделирования;</li> <li>- формулировать целостное видение проблемной ситуации, декомпозируя ее на взаимосвязанные задачи, решаемые методами математического моделирования;</li> <li>- разрабатывать и аргументировать стратегию численного эксперимента для комплексного исследования сложных объектов и процессов.</li> </ul> <p>Владеть :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками системного анализа производственной проблемы и разработки на его основе плана (стратегии) математического моделирования для ее решения;</li> <li>- методами критической оценки адекватности и точности результатов моделирования, в том числе при работе с противоречивыми или неполными исходными данными;</li> <li>- техниками представления результатов, обеспечивающими четкое разграничение расчетных данных, их интерпретации и практических рекомендаций.</li> </ul>
ПК-13	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы оптимизации и параметрического анализа для поиска и обоснования рационализаторских и изобретательских решений;</li> <li>- основы проектного подхода к организации работ по созданию новых технических решений с использованием математического моделирования;</li> <li>- критерии технико-экономической и патентной чистоты новых разработок.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать математические модели в качестве инструмента для генерации, проверки и сравнительного анализа новых технических идей и концепций;</li> <li>- проектировать и оптимизировать конструкции и технологические режимы на основе результатов параметрических исследований и многовариантных расчетов;</li> <li>- координировать этапы работы по созданию рацпредложения — от выявления проблемы через моделирование до оформления итоговой документации.</li> </ul> <p>Владеть:</p>

	<p>- навыками сквозного проектирования: от формулировки идеи -&gt; через построение и расчет модели -&gt; к технико-экономическому обоснованию предлагаемого решения;</p> <p>- методами подготовки всей необходимой расчетно-графической документации для подачи заявки на рационализаторское предложение или изобретение;</p> <p>- опытом комплексного обоснования эффективности и новизны предлагаемых решений, основанного на данных математического моделирования.</p>
--	--

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Математическое моделирование в нефтегазовом деле» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Методология моделирования и базовые модели трубопроводных систем.	Системный подход к моделированию в нефтегазовом деле. Классификация математических моделей. Базовые уравнения одномерных течений: сохранение массы, количества движения, энергии. Модели жидкостей и газов. Стационарные и нестационарные режимы. Тепловой режим трубопроводов. Введение в CFD-моделирование: цели, преимущества и ограничения по сравнению с одномерными моделями.	4	2	4	8	18
2	Моделирование работы ключевых объектов транспорта и хранения углеводородов.	Газоперекачивающие агрегаты (ГПА): Модели характеристик центробежных нагнетателей, анализ помпажа и рабочих зон. Основы	4	2	4	8	18

		3D-моделирования проточной части нагнетателя в CFD: постановка задачи, анализ результатов. Газораспределительные станции (ГРС): Модели процессов редуцирования, работы фильтров-сепараторов. CFD-анализ течений в арматуре и аппаратах						
3	Верификация, валидация и стратегия численного эксперимента.	Критический анализ достоверности моделей. Методы верификации (аналитические решения, сходимость сеток) и валидации (с натурными данными). Оценка границ применимости, чувствительности и неопределенностей. Стратегия планирования расчетов. Принятие решений на основе результатов моделирования.	4	2	4	8	18	
4	Математические модели в рационализаторской деятельности.	Моделирование как инструмент генерации идей. Использование параметрических CAD-моделей и CFD-расчетов для оптимизации гидравлики оборудования. Методы оптимизации для обоснования рацпредложений. Критерии технико-экономической эффективности.	2	4	2	10	18	
5	Основы патентных исследований и оформления результатов.	Патентная чистота и патентный поиск. Оформление результатов CFD-моделирования (визуализация потоков, графики характеристик) в составе расчетно-пояснительной записки. Техники презентации результатов, обеспечивающие четкое разграничение данных, интерпретаций и рекомендаций	2	4	2	10	18	
6	Комплексный кейс: разработка стратегии модернизации объекта.	Сквозной разбор проекта: анализ проблемной ситуации на реальном объекте. Декомпозиция задачи, обоснование выбора моделей, анализ результатов, формулирование аргументированных предложений по модернизации и оформление технико-экономического обоснования.	2	4	2	10	18	
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>108</b>	

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Параметрическое 3D-моделирование и гидравлический анализ проточной части трубопроводной арматуры
2. Моделирование изотермических турбулентных течений газа в элементах магистрального газопровода
3. Проектирование и анализ рабочего колеса центробежного насоса/нагнетателя ГПА с помощью ANSYS CFX
4. Построение универсальных гидравлических характеристик сложной трубопроводной системы методом CFD-моделирования

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной

работы.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

#### **7.1.1 Этап текущего контроля**

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Аттестован</b>	<b>Не аттестован</b>
УК-1	Знать: - методы проведения анализа технических систем и технологических процессов нефтегазового дела; - принципы и методы верификации, валидации и оценки адекватности математических моделей, границы их применимости; - достоинства, недостатки и границы применимости различных классов математических моделей для решения типовых задач нефтегазового дела.	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: - проводить критический анализ и сравнительную оценку различных математических подходов к решению одной прикладной задачи, обосновывая выбор оптимальной стратегии моделирования; - формулировать целостное видение проблемной ситуации, декомпозируя ее на взаимосвязанные задачи, решаемые методами математического моделирования; - разрабатывать и	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	аргументировать стратегию численного эксперимента для комплексного исследования сложных объектов и процессов.			
	<p>Владеть :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками системного анализа производственной проблемы и разработки на его основе плана (стратегии) математического моделирования для ее решения;</li> <li>- методами критической оценки адекватности и точности результатов моделирования, в том числе при работе с противоречивыми или неполными исходными данными;</li> <li>- техниками представления результатов, обеспечивающими четкое разграничение расчетных данных, их интерпретации и практических рекомендаций.</li> </ul>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-13	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы оптимизации и параметрического анализа для поиска и обоснования рационализаторских и изобретательских решений;</li> <li>- основы проектного подхода к организации работ по созданию новых технических решений с использованием математического моделирования;</li> <li>- критерии технико-экономической и патентной чистоты новых разработок.</li> </ul>	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать математические модели в качестве инструмента для генерации, проверки и сравнительного</li> </ul>	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<p>анализа новых технических идей и концепций;</p> <p>- проектировать и оптимизировать конструкции и технологические режимы на основе результатов параметрических исследований и многовариантных расчетов;</p> <p>- координировать этапы работы по созданию ращпредложения — от выявления проблемы через моделирование до оформления итоговой документации.</p>			
	<p>Владеть:</p> <p>- навыками сквозного проектирования: от формулировки идеи -&gt; через построение и расчет модели -&gt; к технико-экономическому обоснованию предлагаемого решения;</p> <p>- методами подготовки всей необходимой расчетно-графической документации для подачи заявки на рационализаторское предложение или изобретение;</p> <p>- опытом комплексного обоснования эффективности и новизны предлагаемых решений, основанного на данных математического моделирования.</p>	<p>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 9 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
УК-1	<p>Знать:</p> <p>- методы проведения</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%

	<p>анализа технических систем и технологических процессов нефтегазового дела;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принципы и методы верификации, валидации и оценки адекватности математических моделей, границы их применимости;</li> <li>- достоинства, недостатки и границы применимости различных классов математических моделей для решения типовых задач нефтегазового дела.</li> </ul>			
	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить критический анализ и сравнительную оценку различных математических подходов к решению одной прикладной задачи, обосновывая выбор оптимальной стратегии моделирования;</li> <li>- формулировать целостное видение проблемной ситуации, декомпозируя ее на взаимосвязанные задачи, решаемые методами математического моделирования;</li> <li>- разрабатывать и аргументировать стратегию численного эксперимента для комплексного исследования сложных объектов и процессов.</li> </ul>	<p>Решение стандартных практических задач</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p>	<p>Задачи не решены</p>
	<p>Владеть :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками системного анализа производственной проблемы и разработки на его основе плана (стратегии) математического моделирования для ее решения;</li> <li>- методами критической оценки адекватности и точности результатов</li> </ul>	<p>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p>	<p>Задачи не решены</p>

	<p>моделирования, в том числе при работе с противоречивыми или неполными исходными данными;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- техниками представления результатов, обеспечивающими четкое разграничение расчетных данных, их интерпретации и практических рекомендаций.</li> </ul>			
ПК-13	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы оптимизации и параметрического анализа для поиска и обоснования рационализаторских и изобретательских решений;</li> <li>- основы проектного подхода к организации работ по созданию новых технических решений с использованием математического моделирования;</li> <li>- критерии технико-экономической и патентной чистоты новых разработок.</li> </ul>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать математические модели в качестве инструмента для генерации, проверки и сравнительного анализа новых технических идей и концепций;</li> <li>- проектировать и оптимизировать конструкции и технологические режимы на основе результатов параметрических исследований и многовариантных расчетов;</li> <li>- координировать этапы работы по созданию рацпредложения — от выявления проблемы через моделирование до оформления итоговой документации.</li> </ul>	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками сквозного проектирования: от формулировки идеи -&gt; через построение и расчет модели -&gt; к технико-экономическому обоснованию предлагаемого решения;</li> <li>- методами подготовки всей необходимой расчетно-графической документации для подачи заявки на рационализаторское предложение или изобретение;</li> <li>- опытом комплексного обоснования эффективности и новизны предлагаемых решений, основанного на данных математического моделирования.</li> </ul>	<p>Решение прикладных задач в конкретной предметной области</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p>	<p>Задачи не решены</p>
--	---	---	---	-------------------------

## **7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### **7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

1. Математическая модель – это:

- а) Точная копия физического объекта;
- б) Упрощенное абстрактное описание объекта, выраженное на языке математики;**
- в) Компьютерная программа для проведения расчетов;
- г) Результат натурального эксперимента.

2. К преимуществам CFD-моделирования по сравнению с одномерным гидравлическим расчетом относится:

- а) Высокая скорость вычислений;
- б) Возможность получить детальное трехмерное поле скоростей и давлений;**
- в) Простота настройки и невысокие требования к вычислительным ресурсам;
- г) Возможность анализа локальных гидравлических сопротивлений и зон кавитации.**

3. Установите соответствие между классом математической модели и ее основной характеристикой:

Класс модели	Характеристика
1. Детерминированная	А) Учитывает случайный характер параметров и входных данных
2. Стохастическая	Б) Параметры и результаты моделирования не зависят от времени
3. Стационарная	В) Все параметры и связи между ними точно определены
4. Нестационарная	Г) Параметры системы изменяются во времени

**(Ответ: 1-В, 2-А, 3-Б, 4-Г)**

4. Явление резкого скачка давления в трубопроводе при быстром закрытии задвижки называется \_\_\_\_\_. *(Ответ: гидравлический удар)*

5. Опасное явление, возникающее в центробежном нагнетателе при работе в зоне малых подач, характеризующееся падением давления и вибрацией, называется \_\_\_\_\_. *(Ответ: помпаж)*

6. Выберите утверждение, описывающее верификацию математической модели?

**а) это процесс проверки того, правильно ли мы решаем уравнения (т.е. нет ли ошибок в численном методе, программном коде и сетке);**

б) это процесс проверки того, те ли самые уравнения мы решаем (т.е. насколько адекватно выбранная математическая модель описывает реальный физический процесс или объект).

7. Выберите утверждение, описывающее валидацию математической модели?

а) это процесс проверки того, правильно ли мы решаем уравнения (т.е. нет ли ошибок в численном методе, программном коде и сетке);

**б) это процесс проверки того, те ли самые уравнения мы решаем (т.е. насколько адекватно выбранная математическая модель описывает реальный физический процесс или объект).**

8. Математическая модель какого типа является наиболее подходящим инструментом для предварительного обоснования рационализаторского предложения по снижению энергозатрат насосной станции?

а) Статическая модель, описывающая установившийся режим.

б) Динамическая модель, описывающая пусковые режимы.

в) Статистическая модель, основанная на данных прошлых лет.

**г) Детерминированная модель, позволяющая рассчитать**

## **оптимальные параметры режима.**

9. Основной целью проведения анализа чувствительности математической модели является:

- а) Ускорение вычислений;
- б) Определение влияния исходных данных на результат и оценка рисков;**
- в) Упрощение модели;
- г) Проверка устойчивости численного метода.

10. При подготовке рацпредложения необходимо выбрать метод аппроксимации. Критерием выбора является:

- а) Минимальное количество исходных данных;
- б) Минимальная вычислительная сложность;
- в) Наилучшее соответствие экспериментальным данным;**
- г) Наиболее красивое графическое представление.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Для выбора стратегии моделирования гидравлического удара в трубопроводе необходимо учесть:

- а) Только диаметр трубопровода
- б) Упругие свойства материала трубы, скорость звука в жидкости, время закрытия арматуры**
- в) Только плотность перекачиваемой среды
- г) Стоимость моделирования

2. При моделировании сепаратора ГРС обнаружены зоны рециркуляции потока. Какой подход наиболее эффективен для анализа проблемы?

- а) Увеличить скорость потока в модели
- б) Провести параметрическое исследование геометрии отбойных устройств**
- в) Игнорировать как незначительный эффект
- г) Увеличить размер расчетной сетки

3. При валидации CFD-модели нагнетателя необходимо:

- а) Сравнить с паспортной характеристикой и экспериментальными данными для различных режимов**
- б) Только проверить сходимость по сетке
- в) Увеличить мощность вычислительного кластера
- г) Использовать данные из литературных источников

4. Критерием адекватности CFD-модели технологического аппарата считается:

- а) Красивая визуализация течения
- б) Совпадение расчетных и экспериментальных данных в пределах**

## 5-7% для ключевых параметров

- в) Быстрота расчета
- г) Использование самой сложной модели турбулентности

5. Необходимо оптимизировать температуру подогрева нефти на выходе из подогревательной станции. Известно, что с ростом температуры вязкость уменьшается, но растут затраты на подогрев. Критерий для выбора оптимальной стратегии:

- а) Минимальная температура подогрева
- б) Минимальные затраты на перекачку и подогрев**
- в) Максимальная температура, которую выдерживает оборудование
- г) Температура, рекомендуемая технологическим регламентом

6. При обработке данных эксперимента по исследованию зависимости вязкости нефти от температуры для рацпредложения по оптимизации подогрева, полученная аппроксимирующая кривая прошла точно через все экспериментальные точки, но между ними вела себя нефизично (осциллировала). Ваше решение:

- а) считать модель адекватной и использовать ее в расчетах.
- б) заменить интерполяционный полином Лагранжа на аппроксимацию сплайнами или методом наименьших квадратов с выбором более подходящей функции.**
- в) увеличить количество экспериментальных точек, не меняя метода.
- г) скорректировать экспериментальные данные вручную.

7. Приоритетным источником для выявления направлений рационализаторской деятельности является:

- а) Изучение годовых отчетов компании;
- б) Системный анализ технологического процесса и выявление узких мест;**
- в) Опрос мнения линейного персонала;
- г) Копирование решений с других предприятий.

8. Какая организационная ошибка была допущена, если при оптимизации работы компрессорной станции методом деформируемого многогранника расчет занял недопустимо много времени?

- а) Не был правильно задан критерий останова (точность расчет)**
  - а)
  - б) Не был проведен патентный поиск
  - в) Не были изучены геометрические характеристики трубопровода
  - г) Не было назначено ответственное лицо за проведение эксперимент
- а

9. При организации работы по разработке рацпредложения по модернизации узла редуцирования ГРС необходимо:

- а) Создать рабочую группу из технологов, конструкторов и**

### специалистов по CFD-моделированию;

- б) Поручить одному инженеру провести все расчеты;
- в) Закупить новое оборудование у поставщика;
- г) Обратиться в патентное бюро.

10. Результаты CFD-моделирования показали, что замена стандартного затвора на шаровой кран на участке трубопровода позволит снизить гидравлические потери на 15%. Какие последующие шаги необходимо предпринять для оформления этого решения как рационализаторского предложения? (Выберите все верные варианты)

- а) Провести патентный поиск на новизну предложенного технического решения.**
- б) Оформить расчетно-пояснительную записку с результатами моделирования и технико-экономическим обоснованием.**
- в) Немедленно внедрить изменение в эксплуатацию.
- г) Подготовить заявочные материалы в соответствии с положением о рационализаторской деятельности на предприятии.**

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. При анализе расхождений между результатами CFD-моделирования теплообменника и экспериментальными данными (15% по тепловому потоку), какова оптимальная последовательность действий?

- а) Немедленно скорректировать экспериментальные данные
- б) Провести верификацию сетки, проверить граничные условия, уточнить свойства материалов, затем провести валидацию**
- в) Увеличить количество экспериментальных точек
- г) Заменить CFD-пакет на другой

2. Для планирования ремонтных работ необходимо смоделировать последствия аварийного истечения нефти из трубопровода. Какой фактор будет иметь наибольшее влияние на стратегию моделирования:

- а) Цена нефти на бирже
- б) Рельеф местности и близость водных объектов**
- в) Время суток аварии
- г) Марка стали трубопровода

3. При моделировании работы системы "нефтепровод-насосная станция" обнаружены колебания давления. Ваша стратегия обеспечения устойчивости:

- а) Увеличить мощность насосов
- б) Проанализировать соответствие характеристик насосов и трубопровода, ввести регуляторы давления**
- в) Уменьшить расход перекачки
- г) Установить дополнительные запорные клапаны

4. При последовательной перекачке нефтепродуктов необходимо

минимизировать потери от смешения. Ключевой параметр для стратегии оптимизации:

а) Скорость перекачки

**б) Физико-химические свойства соседних продуктов и длина зоны смешения**

в) Время суток перекачки

г) Квалификация оператора

5. Критический анализ результатов CFD-моделирования работы нагнетателя выявил расхождение с паспортной характеристикой на 8% в зоне рабочих режимов. Первоочередные действия:

**а) Проверить адекватность модели турбулентности и качество сетки в зазорах**

б) Скорректировать паспортные данные

в) Увеличить мощность вычислительного кластера

г) Заменить ротор нагнетателя

6. При разработке рацпредложения по оптимизации работы сепаратора на КС получены противоречивые результаты CFD-моделирования. Ваша стратегия:

а) Выбрать наиболее красивые результаты

**б) Провести дополнительную верификацию моделей, проанализировать граничные условия, провести натурные испытания**

в) Отказаться от рацпредложения

г) Использовать усредненные данные

7. При внедрении рацпредложения по оптимизации работы технологической линии на основе CFD-моделирования обнаружено расхождение с фактическими параметрами. Первоочередные действия:

а) Скорректировать отчетные документы

**б) Провести анализ причин: точность модели, изменение технологических параметров, погрешности измерений**

в) Прекратить внедрение

г) Уволить разработчиков

8. Для обоснования рацпредложения по модернизации системы охлаждения масла ГПА необходимо:

а) Провести только тепловой расчет;

**б) Выполнить комплексное CFD-моделирование гидравлики и теплообмена, рассчитать экономический эффект, оформить ТЭО;**

в) Купить новый теплообменник;

г) Увеличить расход охлаждающей воды.

9. Результаты параметрического CFD-моделирования показали снижение гидравлических потерь на 25%. Первый документ для оформления рацпредложения:

- а) Патентную заявку на изобретение;
- б) Техническое задание на изготовление опытного образца;
- в) Расчетно-пояснительную записку с обоснованием экономического эффекта;**
- г) Договор с производственным предприятием.

10. При подготовке рацпредложения по снижению кавитации в насосе на основе CFD-анализа необходимо:

- а) Только визуализировать зоны кавитации;
- б) Провести верификацию модели, количественно оценить снижение кавитации, рассчитать увеличение ресурса оборудования;**
- в) Увеличить давление на входе в модель;
- г) Заменить материал рабочего колеса.

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Основные этапы математического моделирования технических систем.
2. Классификация математических моделей: детерминированные, стохастические, стационарные, нестационарные.
3. Системный подход к анализу проблемных ситуаций в нефтегазовом деле.
4. Роль математического моделирования в принятии инженерных решений.
5. Преимущества и ограничения CFD-моделирования по сравнению с одномерными моделями.
6. Основные этапы CFD-расчета (препроцессор, решатель, постпроцессор).
7. Уравнения Навье-Стокса и их физическая интерпретация.
8. Методы дискретизации уравнений в CFD-моделировании.
9. Базовые уравнения одномерных течений: сохранение массы, количества движения, энергии.
10. Моделирование стационарных и нестационарных режимов работы трубопроводов.
11. Гидравлический удар: причины, методы моделирования и защиты.
12. Тепловой режим трубопроводов и его учет в математических моделях.
13. Моделирование рабочих характеристик центробежных нагнетателей.
14. Анализ помпажа и методы его предотвращения.
15. Моделирование процессов редуцирования газа на ГРС.
16. CFD-анализ течений в арматуре и аппаратах.
17. Моделирование работы фильтров-сепараторов.
18. Тепловой режим аппаратов при редуцировании газа
19. Методы верификации математических моделей.
20. Методы валидации математических моделей.

21. Критерии адекватности и границы применимости моделей.
22. Оценка неопределенностей и погрешностей моделирования.
23. Методы параметрической оптимизации в проектировании оборудования.
24. Методы обоснования рационализаторских предложений на основе математического моделирования.
25. Патентный поиск и оценка новизны технических решений.
26. Проектный подход к организации работ по созданию новых технических решений.
27. Оформление расчетно-пояснительной записки для рационализаторского предложения.
28. Пример комплексного применения математического моделирования для модернизации объекта нефтегазовой отрасли.
29. Анализ успешных случаев применения математического моделирования для разработки рационализаторских предложений.

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 9 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Методология моделирования и базовые модели трубопроводных систем	УК-1, ПК-13	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
2	Моделирование работы ключевых объектов транспорта и хранения углеводородов	УК-1, ПК-13	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
3	Верификация, валидация и стратегия численного эксперимента	УК-1, ПК-13	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
4	Математические модели в рационализаторской деятельности	УК-1, ПК-13	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
5	Основы патентных исследований и оформления результатов	УК-1, ПК-13	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ
6	Комплексный кейс: разработка стратегии модернизации объекта	УК-1, ПК-13	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной

системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Е.В. Гливенко. Математическое моделирование в нефтегазовом деле: учеб. пособие. М.: ИЦ РГУ Нефти и газа, 2009. 172 с.
2. Ю.А. Булыгин, С.Г. Валюхов, М.И. Зайцева, А.В. Кретинин. Популярныe вычислительные методы в инженерных расчетах, 2007.
3. Ю.А. Булыгин, С.Г. Валюхов, Н.В. Заварзин, А.В. Кретинин. Математическое моделирование гидродинамических процессов в элементах проточной части нефтяного оборудования, 2013.
4. А.Г. Суслов Наукоемкие технологии в машиностроении. М: Машиностроение, 2012.- 528с. (ЭБС Лань)
5. Булыгин Ю.А., Валюхов С.Г., Кретинин А.В., Гуртовой А.А. Методическое руководство к выполнению практических заданий по курсу
6. Булыгин Ю.А., Валюхов С.Г., Кретинин А.В., Студеникин А.В. Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу
7. Булыгин Ю.А., Валюхов С.Г., Кретинин А.В., Гуртовой А.А. Методические указания для выполнения лабораторных работ по курсу «Основы математического моделирования». Ч. 2. 2015, Эл. ресурс.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Высш. шк., 2001, – 208 с.
9. ANSYS Documentation: User's Guide for ANSYS CFX (лицензионная документация)
10. Патентное законодательство РФ: основы для рационализаторской деятельности
11. Яворская, Е. Е. Основы сооружения объектов трубопроводного транспорта и хранения углеводородов : учебное пособие / Е. Е. Яворская, Е. В. Исупова. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. — 220 с. — ISBN 978-5-9729-1056-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL:

<https://e.lanbook.com/book/281744>

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

1. Электронная информационно-образовательная среда университета <https://old.education.cchgeu.ru/>
2. Консультирование посредством электронной почты
3. Использование презентаций при проведении лекционных занятий
4. Приобретение знаний в процессе общения со специалистами в области гидравлики и нефтегазовой гидромеханике на профильных специализированных сайтах (форумах)
5. Программное обеспечение: Лицензия ПО ANSYS (Лиц. № 1020620 ВГТУ); ПО Mathcad;
6. Рекомендуемая литература в виде электронных ресурсов представлена на сайте ВГТУ (электронный каталог научно-технической библиотеки): <https://cchgeu.ru/university/library/>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Реализация дисциплины «Математическое моделирование в нефтегазовом деле» требует учебной аудитории для проведения учебных занятий, оборудование:

комплект учебной мебели:

- рабочее место преподавателя (стол, стул);
- рабочие места обучающихся (столы, стулья)

Технические средства обучения: переносное техническое оборудование:

- проектор;
- экран;
- переносной компьютер.

Для самостоятельной работы используется «Помещение для самостоятельной работы»/«Методический кабинет»

Оборудование кабинета: комплект учебной мебели:

- рабочее место преподавателя (стол, стул);
- рабочие места обучающихся (столы, стулья);

Технические средства обучения:

- проектор;
- экран для проектора
- ноутбук

– персональный компьютер с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа к электронной

информационно-образовательной среде вуза.

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Математическое моделирование в нефтегазовом деле» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета технологических параметров объектов транспорта и хранения углеводородов с использованием математических методов моделирования и оптимизации. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>

Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.
---------------------------------------	---

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--