

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета машиностроения
и аэрокосмической техники

Ряжских В.И.

«19» июня 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Математическое моделирование»

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело

Программа Моделирование и оптимизация рабочих процессов
в энергетических системах газонефтепроводов

Квалификация (степень) выпускника магистр

Нормативный срок обучения 2 года / 2 года 4 мес

Форма обучения очная/заочная

Автор программы д.т.н., проф.  /Кретинин А.В./

Программа обсуждена на заседании кафедры нефтегазового оборудования
и транспортировки
«15» июня 2018 года **Протокол № 18**

Зав. кафедрой НГОТ,
д.т.н., профессор  /Валюхов С.Г./

Руководитель ОПОП,
д.т.н., профессор  /Валюхов С.Г./

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

формирование компетенций, необходимых для эффективного применения методов математического моделирования объектов и процессов нефтегазовой отрасли, отражающих основные характеристики реальных физических объектов

1.2. Задачи освоения дисциплины

изучить практические методы и технологии аналитического и приближенного численного анализа режимов функционирования сложных трубопроводных систем, комплексного решения производственных задач повышения безопасности, экологичности и эффективности объектов топливно-энергетического комплекса;

приобрести практические навыки и умения работы с популярными в нефтегазовых приложениях многопараметрическими моделями второго порядка для описания процессов переноса тепла, массы и импульса, а также методологией выбора приемлемой дифференциальной модели турбулентности на основе решения совокупности тестовых нефтегазовых задач, имеющих физические аналогии;

владеть навыками использования основных принципов построения и применения высокоточных гидро-, газо- и теплодинамических симуляторов транспорта сложных углеводородов по трубопроводным сетям;

уметь проводить моделирование сложного турбулентного многомерного течения и тепломассопереноса во внутренних системах с произвольной формой границы.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование» относится к дисциплинам базовой части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ОК-1 - способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу

ОПК-1 - способностью формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и практической деятельности

ОПК-4 - способностью разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОК-1	Знать методы синтеза и декомпозиции математического описания физических процессов;
	Уметь формализовать задачу математического моделирования и синтезировать математическую

	модель;
	Владеть приемами предварительного факторного анализа на этапе формирования структуры модели.
ОПК-1	Знать основную информацию, необходимую для построения математических моделей конкретных объектов нефтегазовой отрасли; основные математические модели, применяемые для описания трубопроводного транспорта углеводородов; основные подходы к постановке и решению задач моделирования рабочих процессов в насосных агрегатах и газоперекачивающих агрегатах
	Уметь подготовить исходные данные для моделирования конкретного физического объекта нефтегазовой отрасли; правильно выбирать и применять методы математического моделирования рабочих процессов в энергетических системах газонефтепроводов; строить решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих физические процессы в нефтегазовой отрасли
	Владеть методами дискретизации и алгебраизации исходных ДУЧП
ОПК-4	Знать функционал основных программных комплексов моделирования
	Уметь использовать возможности программного комплекса ANSYS для моделирования
	Владеть методиками синтеза математических моделей в среде ANSYS Workbench

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Математическое моделирование» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
Аудиторные занятия (всего)	42	42
В том числе:		
Лекции	14	14
Практические занятия (ПЗ)	28	28
Самостоятельная работа	111	111
Часы на контроль	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+

Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	180 5	180 5
--	----------	----------

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
Аудиторные занятия (всего)	6	6
В том числе:		
Лекции	2	2
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Самостоятельная работа	165	165
Контрольная работа	+	+
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	180 5	180 5

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.	СРС	Всего, час
1	Методы компьютерной динамики жидкости	Дифференциальные уравнения неразрывности, сохранения количества движения и энергии для вязкой сжимаемой среды. Дискретизация и алгебраизация ДУЧП. Метод конечных разностей. Метод маркеров и ячеек решения уравнений Навье-Стокса	4	4	18	26
2	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	Программный модуль CFX. Синтез математической модели гидродинамики в проточной части магистрального нефтяного насоса	2	4	18	24
3	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	Программный модуль CFX. Моделирование гидродинамических процессов в коллекторном теплообменном аппарате. Моделирование в изотермической постановке и с теплообменом	2	4	18	24
4	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	Программный комплекс Fluent. Моделирование горения воздушно-метановой смеси	2	4	18	24
5	Искусственные нейронные сети	Нейросетевые модели на основе многослойного персептрона. Обучение нейросетевой зависимости по коэффициентам гидравлического сопротивления трения	2	6	20	28

6	Искусственные нейронные сети	Нейросетевые суррогатные модели на основе экспериментальных данных рабочих процессов в энергетических системах ГНП	2	6	19	27
Итого			14	28	111	153

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Методы компьютерной динамики жидкости	Дифференциальные уравнения неразрывности, сохранения количества движения и энергии для вязкой сжимаемой среды. Дискретизация и алгебраизация ДУЧП. Метод конечных разностей. Метод маркеров и ячеек решения уравнений Навье-Стокса	2	-	26	28
2	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	Программный модуль CFX. Синтез математической модели гидродинамики в проточной части магистрального нефтяного насоса	-	-	28	28
3	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	Программный модуль CFX. Моделирование гидродинамических процессов в коллекторном теплообменном аппарате. Моделирование в изотермической постановке и с теплообменом	-	-	28	28
4	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	Программный комплекс Fluent. Моделирование горения воздушно-метановой смеси	-	-	28	28
5	Искусственные нейронные сети	Нейросетевые модели на основе многослойного персептрона. Обучение нейросетевой зависимости по коэффициентам гидравлического сопротивления трения	-	2	28	30
6	Искусственные нейронные сети	Нейросетевые суррогатные модели на основе экспериментальных данных рабочих процессов в энергетических системах ГНП	-	2	27	29
Итого			2	4	165	171

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОК-1	Знать методы синтеза и декомпозиции математического описания физических процессов;	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь формализовать задачу математического моделирования и синтезировать математическую модель;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть приемами предварительного факторного анализа на этапе формирования структуры модели.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-1	Знать основную информацию, необходимую для построения математических моделей конкретных объектов нефтегазовой отрасли; основные математические модели, применяемые для описания трубопроводного транспорта углеводородов; основные подходы к постановке и решению задач моделирования рабочих процессов в насосных агрегатах и газоперекачивающих агрегатах	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь подготовить исходные данные для моделирования конкретного физического объекта нефтегазовой отрасли; правильно выбирать и применять методы математического моделирования рабочих процессов в энергетических	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	системах газонефтепроводов; строить решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих физические процессы в нефтегазовой отрасли			
	Владеть методами дискретизации и алгебраизации исходных ДУЧП	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-4	Знать функционал основных программных комплексов моделирования	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать возможности программного комплекса ANSYS для моделирования	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методиками синтеза математических моделей в среде ANSYS Workbench	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 1 семестре для очной формы обучения, 1 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОК-1	Знать методы синтеза и декомпозиции математического описания физических процессов;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь формализовать задачу математического моделирования и синтезировать математическую модель;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть приемами предварительного	Решение прикладных	Задачи решены в	Продемонстрирован	Продемонстрирован	Задачи не решены

	факторного анализа на этапе формирования структуры модели.	задач в конкретной предметной области	полном объеме и получены верные ответы	верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	верный ход решения в большинстве задач	
ОПК-1	Знать основную информацию, необходимую для построения математических моделей конкретных объектов нефтегазовой отрасли; основные математические модели, применяемые для описания трубопроводного транспорта углеводородов; основные подходы к постановке и решению задач моделирования рабочих процессов в насосных агрегатах и газоперекачивающих агрегатах	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь подготовить исходные данные для моделирования конкретного объекта нефтегазовой отрасли; правильно выбирать и применять методы математического моделирования рабочих процессов в энергетических системах газонефтепроводов; строить решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих физические процессы в нефтегазовой отрасли	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами дискретизации и	Решение прикладных	Задачи решены в	Продемонстрирован	Продемонстрирован	Задачи не решены

	алгебраизации исходных ДУЧП	задач в конкретной предметной области	полном объеме и получены верные ответы	верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	верный ход решения в большинстве задач	
ОПК-4	Знать функционал основных программных комплексов моделирования	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь использовать возможности программного комплекса ANSYS для моделирования	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методиками синтеза математических моделей в среде ANSYS Workbench	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

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. Уравнение неразрывности выражает:

- закон сохранения энергии;
- закон сохранения массы;
- закон сохранения количества движения.

2. Замена частных производных в ДУЧП их конечно-разностными аппроксимациями называется:

- гармонизацией;
- симплификацией;
- дискретизацией.

3. В методе маркеров и ячеек при определении поправки давления на каждом итерационном шаге по времени решается:

- уравнение Пуассона;
- уравнение Лапласа;
- уравнение Харлоу и Вэлча.

4. Модуль ANSYS Vista CPD применяется:

- для решения уравнений гидродинамики в проточной части насоса;
- для проверки качества расчетной сетки;
- для начального проектирования скелетной геометрии насоса с помощью одномерных расчетов по средней линии.

5. ANSYS BladeModeler служит для:

- построения геометрии лопаточных аппаратов;
- моделирования гидродинамики в межлопаточном канале;
- построения конического диффузора отвода.

6. Задание начальных и граничных условий моделирования, их расстановка по границам расчетной области производится в модуле:

- CFX Post;
- CFX Pre;
- CFX Solver.

7. Какая модель не относится к моделированию турбулентности:

- $k-\epsilon$ модель;
- $k-\omega$ модель;
- VOF модель.

8. Процесс горения является химически равновесным, если:

- изобарно-изотермический потенциал продуктов сгорания принимает минимальное значение;
- состав продуктов сгорания успевает отслеживать изменение давления и температуры;
- процесс горения осуществляется в адиабатной постановке.

9. Многослойный персептрон - это:

- итоговый отчет по результатам численного моделирования в CFX Post;
- одна из структур искусственной нейронной сети;
- фрактальный многочлен с несколькими уровнями детализации границ.

10. Для обучения искусственной нейронной сети может применяться:

- метод ветвей и границ;
- метод Шиндлера;
- метод обратного распространения ошибки.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. На стенке закрытого сосуда с жидкостью установлены манометр и вакуумметр. Показания каждого из них 2,45 кПа, а расстояние между ними 0,5 м. Какая из жидкостей находится в резервуаре?

- а) бензин;

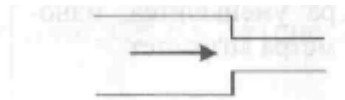
- б) вода;
- в) ртуть;
- д) сжиженный природный газ.

2. По вертикальной трубе жидкость течет сверху вниз. Показания манометров, установленных на трубе, возрастают по ходу течения. Оцените величину гидравлического уклона:

- а) $i > 1$;
- б) $i < 1$;
- в) $i < 0$;
- г) $i = 1$.

3. Во сколько раз увеличивается удельная кинетическая энергия жидкости при ее переходе в трубу меньшего диаметра, если отношение диаметров труб 3:1? Режим течения жидкости не изменяется.

- а) в 3 раза;
- б) в 9 раз;
- в) в 27 раз;
- г) в 81 раз.



4. Какова плотность смеси двух углеводородных жидкостей, если для нее взято 0,4 л нефти ($\rho_n = 850 \text{ кг/м}^3$) и 0,6 л керосина ($\rho_k = 800 \text{ кг/м}^3$)?

- а) 1650 кг/м^3 ;
- б) 825 кг/м^3 ;
- в) 820 кг/м^3 ;
- г) 810 кг/м^3 .

5. Открытый сосуд, заполненный до уровня h , попеременно поднимается и опускается с ускорением $a = g$. Что происходит при этом с избыточным давлением у его горизонтального дна?

- а) $p_u = \text{const}$;
- б) при подъеме p_u в 2 раза больше, чем при спуске;
- в) при подъеме p_u в 2 раза меньше, чем при спуске;
- г) при подъеме p_u в 2 раза больше, чем в покое; при спуске $p_u = 0$.

6. Какое избыточное давление испытывает тело, погруженное в воду на глубину 10 метров?

- а) 2 кгс/см^2 ; б) 1 бар; в) 1 Ат; г) 700 мм. рт. ст.

7. Для подъема воды из колодца с глубины 30 м предложены два способа: 1) Установить насос на поверхности воды в колодце; 2) установить насос на поверхности земли, спустив в колодец всасывающую трубу. Какой из способов пригоден?

- а) 1; б) 2; г) оба пригодны; д) оба не пригодны.

8. При постоянном расходе жидкости в трубопроводе его длину,

диаметр и толщину стенок уменьшили в 2 раза. Как это скажется на ударном повышении давления при прямом гидравлическом ударе?

- а) Останется без изменений;
- б) увеличится в 2 раза;
- в) увеличится в 4 раза;
- г) уменьшится в 2 раза.

9. Вода вытекает через насадок из открытого бака, в котором уровень $H=1$ м. Как изменится расход, если на поверхности жидкости в баке создать избыточное давление $p_{из}=30$ КПа?

- а) Расход увеличится в 2 раза;
- б) расход увеличится в 4 раза;
- в) для ответа надо знать вид насадка;
- г) расход не изменится.

10. Что происходит с равнодействующей всех сил давления на плоскую стенку небольшого сосуда, заполненного жидкостью, если его закрыть и над свободной поверхностью жидкости в нем создать постепенно возрастающий вакуум?

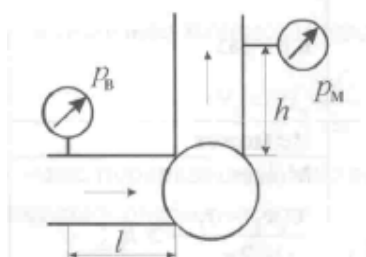
- а) Уменьшится;
- б) увеличится;
- в) сначала уменьшится, потом увеличится;
- г) сначала увеличится, потом уменьшится.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. К участку трубопровода присоединили лупинг той же длины и диаметра, после чего расход в трубопроводе увеличили в 2 раза. Что произойдет с потерями напора на этом участке по сравнению с начальными?

- а) Увеличились;
- б) уменьшились;
- в) остались прежними;
- г) зависит от расхода в трубопроводе.

2. Как изменятся показания вакуумметра и манометра, если их перенести к сечениям у насоса? Всасывающая линия расположена горизонтально, а нагнетательная - вертикально?



- а) Оба показания увеличатся;
- б) оба показания уменьшатся;
- в) показание вакуумметра уменьшится, а манометра увеличится;
- г) показание вакуумметра увеличится, а манометра уменьшится.

3. При бурении скважины вскрыт водоносный пласт с напорными водами. Устье скважины оборудовано манометром, который показывает избыточное давление $3,92 \cdot 10^4$ Па. Определить на какую высоту будет фонтанировать вода, если удельный вес воды 9810 Н/м .

- а) 26 м; б) 0,39 м; в) 0,0003995 м; г) 4 м.

4. Определить избыточное давление в забое скважины глубиной $h=200$ м, которая заполнена глинистым раствором плотностью 1250 кг/м^3 . Ускорение g прием равным 10 м/с^2 .

- а) 0,6 Па;
- б) 2,5 МПа;
- в) 0,004 кПа;
- г) 250 Па.

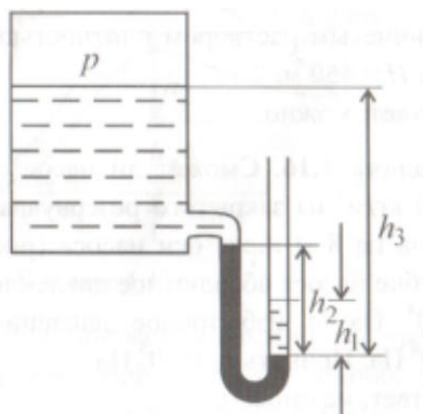
5. По горизонтальному трубопроводу ($l=50$ км, $d=500$ мм) перекачивается нефть ($\rho=840 \text{ кг/м}^3$, $\nu=0,5 \text{ см}^2/\text{с}$) с расходом $Q=0,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Эквивалентная шероховатость $\Delta=0,014$ мм. Пренебрегая местными потерями напора, определите потери давления в трубопроводе.

- а) 160,2 Па;
- б) 2,3 МПа;
- в) 13 кПа;
- г) 4,62 МПа.

6. Как изменятся потери напора на участке трубопровода ($l_1=1$ км, $d_1=100$ мм) перекачивается нефть ($\rho=860 \text{ кг/м}^3$, $\nu=0,5 \text{ см}^2/\text{с}$) с расходом $Q=8 \text{ дм}^3/\text{с}$, эквивалентная шероховатость $\Delta=0,014$ мм, если к нему подключить лупинг такой же длины и диаметра?

- а) уменьшатся в 2 раза;
- б) останутся прежними;
- в) уменьшатся в 3,36 раз;
- г) увеличатся в 1,28 раз.

7. В закрытом сосуде хранится жидкость плотностью $\rho=850 \text{ кг/м}^3$. Давление в сосуде измеряется ртутным манометром; в открытом конце манометрической трубки над ртутью имеется столб воды высотой $h_1=15$ см. Высоты $h_2=23$ см, $h_3=35$ см. Найти абсолютное давление на поверхности жидкости в сосуде p , если барометрическое давление равно 742 мм рт.ст. Плотность ртути $\rho_p=13600 \text{ кг/м}^3$



- а) $p=170 \text{ Па}$;
- б) $p=1,7 \text{ кПа}$;
- в) $p=68600 \text{ Па}$;
- г) $p=1,10 \text{ МПа}$

8. По горизонтальному трубопроводу ($l=200 \text{ км}$, $d=205 \text{ мм}$) перекачивается нефть ($\rho=824 \text{ кг/м}^3$, $\nu=0,05 \text{ см}^2/\text{с}$) с расходом $Q=40 \text{ дм}^3/\text{с}$. Эквивалентная шероховатость $\Delta=0,014 \text{ мм}$. Суммарная эквивалентная длина местных сопротивлений $l_{\text{экв}}=0,02l$. Определить необходимое число насосов на трассе, если каждый насос способен создать напор $H_{\text{нас}}=360 \text{ м}$, а давление на входе в насосы и на выходе из трубопровода $p_u=485 \text{ кПа}$.

- а) $n=3$;
- б) $n=4$;
- в) $n=5$;
- г) $n=6$.

9. По трубопроводу диаметром $d=100 \text{ мм}$ транспортируется нефть. Определить критическую скорость, соответствующую переходу ламинарного движения жидкости в турбулентное. Коэффициент кинематической вязкости принят равным $\nu = 8,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

- а) $15,6 \text{ м/с}$;
- б) $1,34 \text{ м/с}$;
- в) $0,156 \text{ м/с}$
- г) $0,186 \text{ м/с}$.

10. Цистерна диаметром $d=3 \text{ м}$ и длиной $l=6 \text{ м}$ заполнена нефтью плотностью 850 кг/м^3 . Определить массу нефти в цистерне.

- а) 12 т ;
- б) 36 т ;
- в) 38 т ;
- г) 120 т .

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Дифференциальные уравнения неразрывности, сохранения

количества движения и энергии для вязкой сжимаемой среды.

2. Дискретизация и алгебраизация ДУЧП. Метод конечных разностей.
3. Метод маркеров и ячеек решения уравнений Навье-Стокса.
4. Функционал программного модуля ANSYS CFX.
5. Функционал программного модуля ANSYS Fluent.
6. Синтез математической модели гидродинамики в проточной части магистрального нефтяного насоса.
7. Моделирование гидродинамических процессов в коллекторном теплообменном аппарате.
8. Моделирование сопряженных задач гидродинамики и теплообмена в модуле ANSYS CFX.
9. Моделирование горения воздушно-метановой смеси в модуле ANSYS Fluent.
10. Нейросетевые модели на основе многослойного персептрона.
11. Обучение нейросетевой зависимости в программном комплексе Statistica Neural Networks
12. Технология Response Surface Optimization.
13. Построение моделей по типу "поверхностей отклика" на основе экспериментальных данных
14. Моделирование турбулентности в программном комплексе ANSYS.
15. Моделирование многофазных течений в программном комплексе ANSYS.
16. Моделирование естественной конвекции в программном комплексе ANSYS.
17. Моделирование кавитации в центробежном насосе.
18. Метод обратного распространения ошибки.
19. Методы оптимизации структуры персептронов.
20. Уравнения состояния при моделировании движения сжимаемых сред.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Методы компьютерной динамики жидкости	ОК-1, ОПК-1, ОПК -4	Тест, контрольная работа
2	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	ОК-1, ОПК-1, ОПК -4	Тест, контрольная работа
3	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	ОК-1, ОПК-1, ОПК -4	Тест, контрольная работа
4	Моделирование задач гидродинамики и теплообмена в программном комплексе ANSYS	ОК-1, ОПК-1, ОПК -4	Тест, контрольная работа
5	Искусственные нейронные сети	ОК-1, ОПК-1, ОПК -4	Тест, контрольная работа
6	Искусственные нейронные сети	ОК-1, ОПК-1, ОПК -4	Тест, контрольная работа

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. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем

[Электронный ресурс] : учебник / В.П. Тарасик. — Электрон. дан. — Минск : Новое знание, 2013. — 584 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4324>.

2. Ю.А. Булыгин, С.Г. Валюхов, Н.В. Заварзин, А.В. Кретинин Математическое моделирование гидродинамических процессов в элементах проточной части нефтяного оборудования. - Воронеж: ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2013. 219 с.

3. Наукоемкие технологии в машиностроении [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный, Ю.С. Авраамов. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2012. — 528 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5795>.

4.Ряжских В.И., Бырдин А.П., Костина Т.И., Сидоренко А.А. Математическое моделирование в машиностроении: учеб. пособие. Воронеж, ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2015. 182 с.

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 <http://eios.vorstu.ru>

2. Консультирование посредством электронной почты

3. Использование презентаций при проведении лекционных занятий

4. Приобретение знаний в процессе общения со специалистами в области математического моделирования на профильных специализированных сайтах (форумах)

5. Программное обеспечение: **Лицензия ПО ANSYS** (Лиц. № 1020620 ВГТУ)

6. Рекомендуемая литература в виде электронных ресурсов представлена на сайте ВГТУ (электронный каталог научно-технической библиотеки):

http://catalog.vorstu.ru/MarcWeb/Work.asp?ValueDB=41&DisplayDB=vgtu_lib

7. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ с компьютеров ВУЗа) <http://e.lanbook.com>

8. Информационно-аналитическая система SCINCE INDEX <http://elibrary.ru/>

9. Сайт компании КАДФЕМ Россия <https://www.cadfecis.ru/knowledge/video-cadfec/cfd>

10. Международный научно-образовательный сайт EqWorld <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>

11. Журнал «Математическое моделирование» на Общероссийском математическом портале

http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=mm&wshow=details&option_lang=rus

12. Базовый курс. Вычислительная газо- и гидродинамика в ANSYS CFX https://cae-expert.ru/education_courses?taxonomy_vocabulary_4_tid

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Проектно-конструкторский центр по договору между ОАО Турбонасос и ФГБОУ ВПО ВГТУ №132/316-13 от 29 ноября 2013 года на создание и обеспечение деятельности базовой кафедры нефтегазового оборудования и транспортировки (базовой кафедры) созданной при базовой организации (компьютеры – 15 шт, МФУ А0))

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

По дисциплине «Математическое моделирование» читаются лекции, проводятся практические занятия.

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 характеристик нефтегазового оборудования. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов

	лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
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 экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.