

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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



**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. декана факультета машиностроения  
и аэрокосмической техники

Ряжских В.И.

«29» августа 2017 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 5 мес.

**Форма обучения** очная/заочная

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

Программа обсуждена на заседании кафедры нефтегазового оборудования  
и транспортировки  
«28» августа 2017 года Протокол № 1

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

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

#### 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
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	42	42
В том числе:		
Лекции	14	14
Практические занятия (ПЗ)	28	28
<b>Самостоятельная работа</b>	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
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	6	6
В том числе:		
Лекции	2	2
Практические занятия (ПЗ)	4	4
<b>Самостоятельная работа</b>	165	165
<b>Контрольная работа</b>	+	+
Часы на контроль	9	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	0 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	2	6	20	28

		гидравлического сопротивления трения				
6	Искусственные нейронные сети	Нейросетевые суррогатные модели на основе экспериментальных данных рабочих процессов в энергетических системах ГНП	2	6	19	27
<b>Итого</b>			<b>14</b>	<b>28</b>	<b>111</b>	<b>153</b>

### **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
<b>Итого</b>			<b>2</b>	<b>4</b>	<b>165</b>	<b>171</b>

## **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	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	энергетических 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 факторного анализа на этапе	Решение прикладных задач в конкретной	Задачи решены в полном объеме и	Продемонстрирован верный ход решения	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

	формирования структуры модели.	предметной области	получены верные ответы	всех, но не получен верный ответ во всех задачах	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 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	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 алгебраизации исходных ДУЧП	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

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 (типовые 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 успеваеет отслеживать изменение давления и температуры;
- процесс горения осуществляется в адиабатной постановке.

9. Многослойный перцептрон - 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.

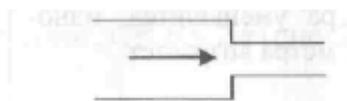
2. По вертикальной трубе жидкость течет сверху вниз. Показания

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)  $1650 \text{ кг/м}^3$ ;
- б)  $825 \text{ кг/м}^3$ ;
- в)  $820 \text{ кг/м}^3$ ;
- г)  $810 \text{ кг/м}^3$ .

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)  $2 \text{ кгс/см}^2$ ; 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?

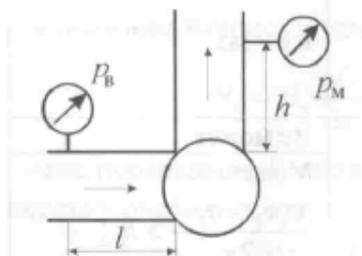
- а) Уменьшится;
- б) увеличится;
- в) сначала уменьшится, потом увеличится;
- г) сначала увеличится, потом уменьшится.

### 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<sup>3</sup>. Ускорение  $g$  примем равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.

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

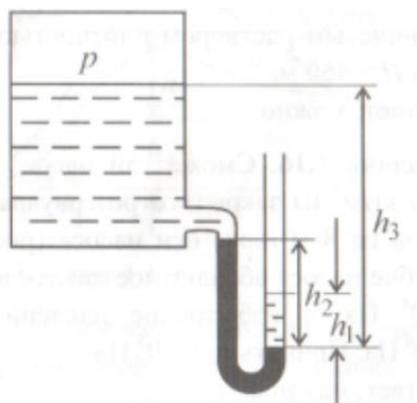
5. По горизонтальному трубопроводу ( $l=50$  км,  $d=500$  мм) перекачивается нефть ( $\rho=840$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu=0,5$  см<sup>2</sup>/с) с расходом  $Q=0,4$  м<sup>3</sup>/с. Эквивалентная шероховатость  $\Delta=0,014$  мм. Пренебрегая местными потерями напора, определите потери давления в трубопроводе.

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 ( $\rho=860$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu=0,5$  см<sup>2</sup>/с) с расходом  $Q=8$  дм<sup>3</sup>/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  $\rho=850$  кг/м<sup>3</sup>. 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  $\rho_p=13600$  кг/м<sup>3</sup>



- 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  $850 \text{ кг/м}^3$ . Определить массу нефти в цистерне.

- а)  $12 \text{ т}$ ;
- б)  $36 \text{ т}$ ;
- в)  $38 \text{ т}$ ;
- г)  $120 \text{ т}$ .

#### 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. Валухов, 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. Научно-технологические 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. Рязских 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](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-cadfecis/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](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](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; 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.
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 экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.