

**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

В.И. Ряжских

«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Математическое моделирование процессов транспортирования
нефти и газа»

Направление подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело

Профиль Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения
нефти, газа и продуктов переработки

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 5 лет

Форма обучения очная / очно-заочная

Год начала подготовки 2021

Автор программы  /А.М. Слиденко/

Заведующий кафедрой
нефтегазового оборудования
и транспортировки  /С.Г. Валюхов/

Руководитель ОПОП  / С.Г. Валюхов /

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: овладение методами математического моделирования в задачах нефтегазовой отрасли, понимание природы рассматриваемых тепло- и гидродинамических явлений при движении сложных углеводородов, формирование навыков построения математических моделей сопряженных процессов в термодинамических системах типа «рабочее тело – стенка - окружающая внешняя среда».

1.2. Задачи освоения дисциплины:

формирование у студентов базовых знаний по проблемам разработки практических методов и технологий аналитического и приближенного численного анализа режимов функционирования сложных трубопроводных систем, комплексного решения производственных задач повышения безопасности, экологичности и эффективности объектов топливно-энергетического комплекса;

изложение методов моделирования сложного турбулентного многомерного течения и тепломассопереноса во внутренних системах с произвольной формой границы;

знакомство 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;

описание основных принципов построения и применения высокоточных гидро-, газо- и теплодинамических симуляторов транспорта сложных углеводородов по трубопроводным сетям.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование процессов транспортирования нефти и газа» 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 процессов транспортирования нефти и газа» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез

информации, применять системный подход для решения поставленных задач

ПК-5 - Способен проводить прикладные научные исследования по проблемам нефтегазовой отрасли в сфере эксплуатации и обслуживания объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
УК-1	Знать методы постановки и анализа прикладных задач, различные варианты решения задач, их достоинства и недостатки
	Уметь грамотно, логично, аргументировано формировать собственные суждения и оценки при построении математических моделей.
	Владеть методами анализа задачи, выделяя ее базовые составляющие, методами определения и оценки практических последствий возможных решений задачи
ПК-5	Знать методы анализа информации по технологическим процессам и работе технических устройств в нефтегазовой отрасли в сфере эксплуатации и обслуживания объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки
	Уметь планировать и проводить необходимые эксперименты, обрабатывать, в том числе с использованием прикладных программных продуктов, интерпретировать результаты и делать соответствующие выводы
	Владеть способностью использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Математическое моделирование процессов транспортирования нефти и газа» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
Аудиторные занятия (всего)	48	48
В том числе:		
Лекции	24	24
Лабораторные работы (ЛР)	24	24
Самостоятельная работа	60	60
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

очно-заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		10
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	12	12
Лабораторные работы (ЛР)	24	24
Самостоятельная работа	72	72
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	108 3	108 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	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Основные уравнения гидрогазодинамики	Система дифференциальных уравнений в частных производных неразрывности, импульса и энергии. Принципы численного решения ДУЧП. Граничные и начальные условия. Сходимость, согласованность и устойчивость. Дискретизация и алгебраизация задачи. Составление модели. Проверка замкнутости модели. Идентификация модели. Разработка процедуры вычисления внутренних характеристик модели	4	4	10	18
2	Потенциальные течения. Уравнения фильтрации	Уравнения потенциального течения. Уравнения линейной фильтрации. Моделирование притока флюида к скважине и группе скважин при сложной форме границ. Использование ТФКП для описания потенциальных течений. Численное решение уравнения Лапласа. Понятие о решении задач Дирихле и Неймана для уравнения Лапласа сведением к системе линейных уравнений с последующим ее решением	4	4	10	18
3	Движение вязкой несжимаемой жидкости. Simple-подобные лгоритмы. Одномерные течения газа. Адиабатическое и изотермическое течения	Решение дифференциальных уравнений в частных производных с помощью построения разностных схем. Методы конечных элементов, методы взвешенных невязок (основные понятия). Явные, неявные разностные схемы. Метод маркеров и ячеек. Начальные и граничные условия. Развитие	4	4	10	18

		метода МАС. Решение системы уравнений Навье-Стокса для двумерных ламинарных изотермических течений вязкой несжимаемой жидкости. Уравнение Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Уравнение одномерного течения вязкого газа. Решения уравнения энергии для адиабатического и изотермического течений.				
4	Турбулентные течения жидкости и газа. Моделирование турбулентности. Математическое моделирование неньютоновских жидкостей. Реологические уравнения	Осреднение параметров при записи уравнений Рейнольдса. Турбулентные напряжения. Модели турбулентности. Модель Буссинеска. «Новая» теория Прандтля. Длина пути перемешивания. Турбулентный пограничный слой на пластине. Турбулентные течения в круглых трубах. Динамическая скорость турбулентного потока. Вывод формул Никурадзе и Альтшуля. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Степенная жидкость Освальда. Псевдопластические и дилатантные жидкости. Модель Шведова-Бингама. Ламинарное течение неньютоновской степенной жидкости (система ДУЧП и метод решения)	4	4	10	18
5	Инженерные методы расчета трубопроводного транспорта нефти и газа	Трубопроводы, вставки, лупинги, отводы. Гидравлические характеристики работы насосов и насосных станций. Совместная работа НПЗ и трубопровода. Истечение жидкости из трубопровода при его повреждении. Неустановившиеся режимы работы трубопроводов. Перекачка высоковязких нефтей и нефтепродуктов с подогревом. Стационарные режимы работы простых и сложных трубопроводов	4	4	10	18
6	Разработка инженерных баз данных для типовых расчетов при проектировании газонефтепроводов	Нейросетевые базы данных. Теплофизические свойства флюидов. Построение нейросетевой базы данных термодинамических свойств реальных газов. Информационные базы данных со встроенным интеллектуальным алгоритмом поиска на основе метода взвешенных невязок на базе нейросетевых пробных функций	4	4	10	18
Итого			24	24	60	108

очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Основные уравнения гидрогазодинамики	Система дифференциальных уравнений в частных производных неразрывности, импульса и энергии. Принципы численного решения ДУЧП. Граничные и начальные условия. Сходимость, согласованность и устойчивость. Дискретизация и алгебраизация задачи. Составление модели. Проверка замкнутости модели.	2	4	12	18

		Идентификация модели. Разработка процедуры вычисления внутренних характеристик модели				
2	Потенциальные течения. Уравнения фильтрации	Уравнения потенциального течения. Уравнения линейной фильтрации. Моделирование притока флюида к скважине и группе скважин при сложной форме границ. Использование ТФКП для описания потенциальных течений. Численное решение уравнения Лапласа. Понятие о решении задач Дирихле и Неймана для уравнения Лапласа сведением к системе линейных уравнений с последующим ее решением	2	4	12	18
3	Движение вязкой несжимаемой жидкости. Simple-подобные алгоритмы. Одномерные течения газа. Адиабатическое и изотермическое течения	Осреднение параметров при записи уравнений Рейнольдса. Турбулентные напряжения. Модели турбулентности. Модель Буссинеска. «Новая» теория Прандтля. Длина пути перемешивания. Турбулентный пограничный слой на пластине. Турбулентные течения в круглых трубах. Динамическая скорость турбулентного потока. Вывод формул Никурадзе и Альтшуля. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Степенная жидкость Освальда. Псевдопластические и дилатантные жидкости. Модель Шведова-Бингама. Ламинарное течение неньютоновской степенной жидкости (систему ДУЧП и метод ее решения)	2	4	12	18
4	Турбулентные течения жидкости и газа. Моделирование турбулентности. Математическое моделирование неньютоновских жидкостей. Реологические уравнения	Трубопроводы, вставки, лупинги, отводы. Гидравлические характеристики работы насосов и насосных станций. Совместная работа НПЗ и трубопровода. Истечение жидкости из трубопровода при его повреждении. Неустановившиеся режимы работы трубопроводов. Перекачка высоковязких нефтей и нефтепродуктов с подогревом. Стационарные режимы работы простых и сложных трубопроводов	2	4	12	18
5	Инженерные методы расчета трубопроводного транспорта нефти и газа	Трубопроводы, вставки, лупинги, отводы. Гидравлические характеристики работы насосов и насосных станций. Совместная работа НПЗ и трубопровода. Истечение жидкости из трубопровода при его повреждении. Неустановившиеся режимы работы трубопроводов. Перекачка высоковязких нефтей и нефтепродуктов с подогревом. Стационарные режимы работы простых и сложных трубопроводов	2	4	12	18
6	Разработка инженерных баз данных для типовых расчетов при проектировании газонефтепроводов	Нейросетевые базы данных. Теплофизические свойства флюидов. Построение нейросетевой базы данных термодинамических свойств реальных газов. Информационные базы данных со	2	4	12	18

		встроенным интеллектуальным алгоритмом поиска на основе метода взвешенных невязок на базе нейросетевых пробных функций				
Итого			12	24	72	108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Применение системы Mathcad для реализации методов решения начальных задач с уравнениями первого и второго порядков.
2. Решение задач оптимизации с применением методов градиентного спуска в системе Mathcad.
3. Реализация алгоритмов методов Фурье и разностного метода для решения начально-краевых задач с уравнением теплопроводности
4. Построение параметризованных расчетных моделей на платформе ANSYS Workbench.
5. Моделирование изотермических турбулентных течений в среде ANSYS CFX.

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
УК-1	Знать методы постановки и анализа прикладных задач, различные варианты решения задач, их достоинства и недостатки	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь грамотно, логично, аргументировано формировать собственные суждения и оценки при построении математических моделей.	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть методами анализа задачи, выделяя ее базовые составляющие, методами	Решение прикладных задач в	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в

	определения и оценки практических последствий возможных решений задачи	конкретной предметной области		рабочих программах
ПК-5	Знать методы анализа информации по технологическим процессам и работе технических устройств в нефтегазовой отрасли в сфере эксплуатации и обслуживания объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь планировать и проводить необходимые эксперименты, обрабатывать, в том числе с использованием прикладных программных продуктов, интерпретировать результаты и делать соответствующие выводы	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть способностью использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	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 8 семестре для очной формы обучения, 10 семестре для очно-заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
УК-1	Знать методы постановки и анализа прикладных задач, различные варианты решения задач, их достоинства и недостатки	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь грамотно, логично, аргументировано формировать собственные суждения и оценки при построении математических моделей.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами анализа задачи, выделяя ее базовые составляющие, методами определения и оценки практических последствий возможных решений задачи	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

ПК-5	Знать методы анализа информации по технологическим процессам и работе технических устройств в нефтегазовой отрасли в сфере эксплуатации и обслуживания объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь планировать и проводить необходимые эксперименты, обрабатывать, в том числе с использованием прикладных программных продуктов, интерпретировать результаты и делать соответствующие выводы	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть способностью использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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

- а) сохранения массы; б) сохранения количества движения;
- в) сохранения энергии.

2. Уравнения Навье-Стокса выражают закон

- а) сохранения массы; б) сохранения количества движения;
- в) сохранения энергии.

3. Уравнение Бернулли выражает закон

- а) сохранения массы; б) сохранения количества движения;
- в) сохранения энергии.

4. Дискретизация ДУЧП состоит в

- а) замене размерных параметров безразмерными критериями;
- б) замене частных производных их дискретными аналогами;
- в) приведением ДУЧП к алгебраической форме.

5. Уравнение Дарси выражает

- а) линейный закон фильтрации;
- б) закон сохранения энергии при движении жидкости по трубам;
- в) уравнение состояния фильтрующейся жидкости.

6. Направление теплового потока и градиента температуры...
а) совпадают; б) противоположны; в) независимы.
7. Какой порядок точности имеют "правые" и "левые" разностные производные?
а) первый; б) второй; в) четвертый.
8. В методе маркеров и ячеек для определения давления используется
а) явный алгоритм; б) уравнение Пуассона; в) неявный алгоритм.
9. Формула Никурадзе служит для расчета
а) коэффициента динамической скорости; б) коэффициента перемешивания;
в) коэффициента гидравлического сопротивления трения.
10. В направлении градиента функция двух переменных...
а) возрастает; б) убывает; в) принимает постоянное значение; г) принимает отрицательное значение.
- .

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Определить коэффициенты проницаемости и фильтрации для цилиндрического образца пористой среды, представленного кварцевым песком. Данные для расчета следующие: длина образца $l=40$ см; диаметр поперечного сечения $d=2,5$ см; расход жидкости $Q=4$ см³/мин; абсолютные давления на концах образца $p_1=1,68$ ат, $p_2=1$ ат; вязкость жидкости $\mu=3,45$ сП; плотность $\rho=860$ кг/м³; жидкость фильтруется по закону Дарси.
а) 1,515 Дарси; б) 2,755 Дарси; в) 3,145 Дарси.
2. Найдите приближенное значение производной функции $y=x^2$ в точке $x=1$ по формуле правой разности при $\Delta x=0.1$:
а) 2; б) 1,9; в) 2,1.
3. Давление и температура воздуха в сосуде равны соответственно $p_0=0,5$ МПа, $T_0=300$ К. Газ вытекает через сходящийся насадок с площадью выходного сечения $s_1=3$ см² в среду с давлением $p_1=0,3$ МПа. Определить массовый расход истекающего газа.
а) 0,122 кг/с; б) 0,346 кг/с; в) 0,416 кг/с.
4. Снаряд летит на высоте 9 км с числом Маха, равным 2,42. Найти температуру торможения на носу снаряда, считая течение

изоэнтропическим, если температура воздуха на высоте 9 км равна $-43,8^{\circ}\text{C}$.

- а) 473 К; б) 488 К; в) 498 К.

5. Для выявления свойств нефти проводят эксперименты по свободному истечению порции нефти объемом 100 мл из камеры вискозиметра. В первом опыте истечение происходит через цилиндрический капилляр с внутренним радиусом 1 мм, а во втором - через аналогичный капилляр радиусом 1,5 мм. В первом опыте время истечения оказалось равным 1000 с, во втором - 180 с.

Моделируя свойства нефти свойствами степенной жидкости, найти константы n и $\frac{k}{\rho}$ модели.

- а) 0,65 и $0,59 \cdot 10^{-6}$; б) 0,77 и $0,82 \cdot 10^{-6}$; в) 0,81 и $0,92 \cdot 10^{-6}$.

6. Какой максимальный дифференциальный напор может развить центробежный насос с радиально расположенными лопатками рабочего колеса, имеющего диаметр 0,5 м и вращающегося с частотой 3000 об/мин?

- а) 314,4 м; б) 344,2 м; в) 336,8 м

7. Найти значение коэффициента Z сверхсжимаемости газа ($p_{кр}=4,6$ МПа, $T_{кр}=190$ К), находящегося при давлении 7,5 МПа и температуре 288 К.

- а) 0,8; б) 0,85; в) 0,9; г) 0,95.

8. Кинематическая вязкость летнего дизельного топлива при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ равна 5 сСт, а при температуре 0°C она увеличивается до 8 сСт. Какая вязкость того же дизельного топлива при температуре $+10^{\circ}\text{C}$?

- а) 6 сСт; б) 6,3 сСт; в) 7,1 сСт; г) 6,5 сСт.

9. Вычислить коэффициент гидравлического сопротивления трения нефти ($\nu=25$ сСт) при ее течении в круглой трубе с диаметром 50 мм и расходом 1 л/с.

- а) 0,046; б) 0,059; в) 0,063; г) 0,081.

10. Нефть ($\rho_0=870$ кг/м³, $K=1500$ МПа) течет со скоростью $v=1$ м/с в стальном трубопроводе ($d_0=0,8$ м, $\delta=10$ мм, $E=2 \cdot 10^5$ МПа). Определить, насколько повысится давление в сечении трубопровода, находящегося перед внезапно закрывшейся задвижкой.

- а) 0,801 МПа; б) 0,805 МПа; в) 0,903 МПа; г) 1,107 МПа.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Два последовательно соединенных насоса НМ 1250-260, $(Q-H)$ – характеристики которых имеют вид: $H=331-0,451 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$ (H - в м, Q - в $\text{м}^3/\text{ч}$), осуществляют перекачку дизельного топлива (плотностью ρ и вязкостью ν) по участку трубопровода ($L=120$ км, $D=530 \times 8$ мм, $\Delta=0,2$ мм, $z_0=50$ м, $z_L=100$ м).

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$	710	730	750	770	790	810	840	850	870	890
$\nu, \text{сСт}$	8	8,2	8,4	8,6	8,8	8,8	9	9,4	9,6	9,8

Для седьмого варианта задания найти расход перекачки, если давление p_L в конце участка составляет 0,3 МПа, подпор $h_{\text{п}}$ перед станцией равен 30 м и, кроме того, известно, что самотечных участков в трубопроводе нет.

а) $563 \text{ м}^3/\text{ч}$; б) $829 \text{ м}^3/\text{ч}$; в) $1071 \text{ м}^3/\text{ч}$; г) $1235 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2. Для предыдущего варианта задания найти давление в начале участка

а) 4,85 МПа; б) 5,12 МПа; в) 5,44 МПа; г) 6,02 МПа.

3. Перекачка сырой нефти (плотностью ρ и вязкостью ν) ведется двумя насосами: НМ 2500-230 с характеристикой $H=251-0,812 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2$ и НМ 3600-230 с характеристикой $H=273-0,125 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$, соединенными последовательно. Известно, что $(Q-H)$ – характеристика обвязки НПС имеет вид $H=0,15 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$. Определить (для девятого варианта) расход перекачки, если известно, что участок нефтепровода ($L=150$ км, $D=820 \times 10$ мм, $z_H=80$ м, $z_K=120$ м, $h_{\text{п}}=70$ м, $h_K=40$ м). Потери на местные сопротивления составляют на участке $\sim 2\%$ от потерь напора на трение.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$	710	730	750	770	790	810	840	850	870	890
$\nu, \text{сСт}$	25	26	27	28	29	30	30	29	25	22

а) $1564 \text{ м}^3/\text{ч}$; б) $1972 \text{ м}^3/\text{ч}$; в) $2182 \text{ м}^3/\text{ч}$; г) $2246 \text{ м}^3/\text{ч}$.

4. Для определения вязкости нефти (плотность нефти ρ) в нее брошена металлическая дробинка диаметром $d=0,5$ мм (плотность дробинки $\rho_{\text{д}}$), которая под действием силы тяжести медленно опускается вниз с постоянной скоростью $0,5$ см/с. Определить кинематический коэффициент вязкости нефти (для седьмого варианта).

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ , $кг/м^3$	710	730	750	770	790	810	900	850	870	890
ρ_0 , $кг/м^3$	8900	8700	8500	8300	8100	7900	7800	7500	7300	7100

а) 188 сСт; б) 209 сСт; в) 226 сСт; г) 242 сСт.

5. Профиль участка нефтепродуктопровода ($L=120$ км, $D=530 \times 8$ мм, $\Delta=0,15$ мм) представлен таблицей:

$x, км$	0	10	15	20	30	40	60	80	120
$z, м$	50	100	50	150	100	200	50	75	0

(x - координата сечения; z - геодезическая отметка). Давление p_k в конце участка равно 0,3 МПа. Какой минимальный расход нефтепродукта (плотностью ρ и вязкостью ν) должен быть в трубопроводе, чтобы в нем не возникали самотечные участки (для седьмого варианта). Давление насыщенных паров нефтепродукта $p_v=0,01$ МПа.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho, кг/м^3$	710	730	750	770	790	810	840	850	870	890
$\nu, сСт$	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5	5,4	5,6	5,8

а) 612 м³/ч; б) 775 м³/ч; в) 852 м³/ч; г) 1046 м³/ч.

6. Плотность нефти при температуре 20 °С равна ρ_0 . Для восьмого варианта вычислить плотность той же нефти при температуре 5 °С, пользуясь справочной таблицей № 1.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho, кг/м^3$	710	730	750	770	790	810	830	845	870	890

Таблица 1

Коэффициент объемного расширения ξ

Плотность $\rho, кг/м^3$	$\xi, 1/°C$	Плотность $\rho, кг/м^3$	$\xi, 1/°C$
700-719	0,001225	820-839	0,000882
720-739	0,001183	840-859	0,000831
740-759	0,001118	860-879	0,000782
760-779	0,001054	880-899	0,000734
780-799	0,000995	900-919	0,000688
800-819	0,000937	920-939	0,000645

а) 847,4 кг/м³; б) 849,9 кг/м³; в) 852,4 кг/м³; г) 855,5 кг/м³

7. Данные о профиле нефтепровода, транспортирующего сырую нефть плотностью ρ , приведены в нижеследующей таблице:

$x, \text{ км}$	0	20	40	60	80	100	120
$z, \text{ м}$	100	150	200	100	50	50	150
$p, \text{ МПа}$	5,0						0,5

(x - координата сечения; z - геодезическая отметка). Найти давления в сечениях, пропущенных в таблице. Укажите в ответе давление в нефтепроводе при $x=60$ км. Упругостью насыщенных паров нефти пренебречь. Плотность нефти 850 кг/м^3 .

а) 2,805 МПа; б) 2,985 МПа; в) 2,695 МПа; г) 2,015 МПа.

8. Перекачка газа по 100-км участку газопровода постоянного диаметра ведется в стационарном изотермическом режиме. Известны давления в начале p_0 и в конце p_k участка, а также скорость в начале участка v_0 (см. 6 вариант)

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$p_0, \text{ МПа}$	5	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9
$p_k, \text{ МПа}$	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3,5	3,2	3,4	3,6	3,8
$v_0, \text{ м/с}$	5	5,2	5,4	5,6	5,8	5	5,9	5,8	5,7	5,6

Заполнить пустующие ячейки нижеследующей таблицы

$x, \text{ км}$	0	20	40	60	80	100	120
$p, \text{ МПа}$	p_0						p_k
$v, \text{ м/с}$	v_0						

Укажите в ответе давление в газопроводе при $x=60$ км

а) 5,16 МПа; б) 4,8 МПа; в) 4,41 МПа; г) 3,98 МПа.

9. Для условий предыдущей задачи найдите скорость в газопроводе при $x=60$ км

а) 7,86 м/с; б) 6,91 м/с; в) 6,24 м/с; г) 5,73 м/с.

10.

Выполнить проверочный расчет и определить эквивалентный диаметр промышленного нефтепровода протяженностью $L=15000$ м и состоящего из трех участков (рис. 1.):

первый участок – $D_{H1}=273$ мм; $\delta_1=7$ мм; $\ell_1=5000$ м;
 второй участок – $D_{H2}=219$ мм; $\delta_2=7$ мм; $\ell_2=5500$ м;
 третий участок – $D_{H3}=219$ мм; $\delta_3=6$ мм; $\ell_3=4500$ м.

Начальная и конечная высотные отметки нефтепровода составляют соответственно $z_H=80$ м и $z_K=120$ м ($\Delta z=z_K-z_H=40$ м).

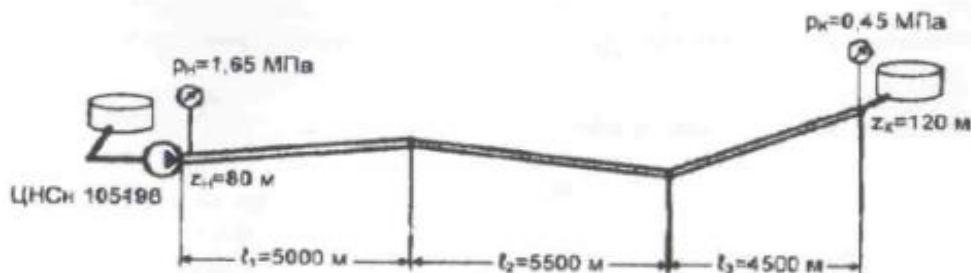


Рис. 1. Расчетная схема промышленного нефтепровода

По нефтепроводу насосом ЦНСн 105-196 перекачивается нефть со свойствами: $\rho_{293}=851$ кг/м³, $\nu_{273}=30,2$ мм²/с, $\nu_{293}=12,4$ мм²/с. Фактическая производительность перекачки составляет $Q=105$ м³/ч. На выходе из насосной станции давление и температура нефти по данным измерений составили соответственно $p_H=1,65$ МПа и $T_H=281$ К; в конце нефтепровода $p_K=0,45$ МПа и $T_K=281$ К. Напорная характеристика насоса представлена в табл.

Подача $Q, \text{ м}^3 / \text{ч}$	80	90	100	110	120	130
Напор $h, \text{ м}$	223	213	201	188	175	160

а) 0,162 м; б) 0,204 м; в) 0,236 м; г) 0,188 м.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Система дифференциальных уравнений в частных производных неразрывности, импульса и энергии.

2. Принципы численного решения ДУЧП. Граничные и начальные условия. Сходимость, согласованность и устойчивость.

3. Дискретизация и алгебраизация задачи. Составление модели. Идентификация модели.

4. Уравнения потенциального течения. Уравнения линейной фильтрации.

5. Моделирование притока флюида к скважине и группе скважин при сложной форме границ.

7. Численное решение уравнения Лапласа. Понятие о решении задач Дирихле и Неймана для уравнения Лапласа сведением к системе

линейных уравнений с последующим ее решением

8. Решение дифференциальных уравнений в частных производных с помощью построения разностных схем.

9. Методы конечных элементов, методы взвешенных невязок (основные понятия).

10. Явные, неявные разностные схемы.

11. Метод маркеров и ячеек. Начальные и граничные условия. Развитие метода МАС. Решение системы уравнений Навье-Стокса для двумерных ламинарных изотермических течений вязкой несжимаемой жидкости.

12. Уравнение Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Уравнение одномерного течения вязкого газа.

13. Решения уравнения энергии для адиабатического и изотермического течений.

14. Осреднение параметров при записи уравнений Рейнольдса. Турбулентные напряжения.

15. Модели турбулентности. Модель Буссинеска. «Новая» теория Прандтля. Длина пути перемешивания.

16. Турбулентный пограничный слой на пластине.

17. Турбулентные течения в круглых трубах. Динамическая скорость турбулентного потока.

18. Вывод формул Никурадзе и Альтшуля.

19. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Степенная жидкость Освальда.

20. Псевдопластические и дилатантные жидкости.

21. Модель Шведова-Бингама.

22. Ламинарное течение неньютоновской степенной жидкости (система ДУЧП и метод решения)

23. Трубопроводы, вставки, лупинги, отводы.

24. Гидравлические характеристики работы насосов и насосных станций. Совместная работа НПС и трубопровода.

25. Истечение жидкости из трубопровода при его повреждении.

26. Неустановившиеся режимы работы трубопроводов.

27. Перекачка высоковязких нефтей и нефтепродуктов с подогревом.

28. Стационарные режимы работы простых и сложных трубопроводов

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и 2 задачи. 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 – 25.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент

набрал менее 8 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 8 до 15 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 15 до 20 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 20 до 25 баллов.)

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные уравнения гидрогазодинамики	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
2	Потенциальные течения. Уравнения фильтрации	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
3	Движение вязкой несжимаемой жидкости. Одномерные течения газа. Адиабатическое и изотермическое течения	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
4	Турбулентные течения жидкости и газа. Моделирование турбулентности. Математическое моделирование неньютоновских жидкостей. Реологические уравнения	ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
5	Инженерные методы расчета трубопроводного транспорта нефти и газа	УК-1, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
6	Разработка инженерных баз данных для типовых расчетов при проектировании газонефтепроводов	УК-1, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата

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 методике 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 методике 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 методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие. М.: ИЦ РГУ Нефти и газа, 2012. 456 с.
2. Гливенко Е.В. Математическое моделирование в нефтегазовом деле: учеб. пособие. М.: ИЦ РГУ Нефти и газа, 2009. 172 с.
3. Математическое моделирование гидродинамических процессов в элементах проточной части нефтяного оборудования // Ю.А. Булыгин, С.Г. Валухов, Н.В. Заварзин, А.В. Кретинин. Воронеж. гос. техн. ун-т., 2013. 134 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 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):*
http://catalog.vorstu.ru/MarcWeb/Work.asp?ValueDB=41&DisplayDB=yqt_u_lib
7. *Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ с компьютеров ВУЗа) <http://e.lanbook.com>*

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 процессов транспортирования нефти и газа» читаются лекции, проводятся лабораторные работы.

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

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; 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.
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: 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: - 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	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться

аттестации	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

[illegible]