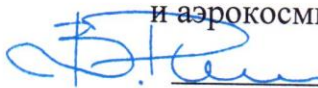


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета машиностроения  
и аэрокосмической техники



В.И. Ряжский

«25» ноября 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

«Математическое моделирование процессов хранения нефти и газа»

**Направление подготовки** 21.03.01 Нефтегазовое дело

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

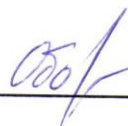
**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 5 лет


**Форма обучения** очная / очно-заочная

**Год начала подготовки** 2023

Автор программы

 / Е.М. Оболонская /

Заведующий кафедрой  
нефтегазового оборудования  
и транспортировки

 /С.Г. Валухов/

Руководитель ОПОП

 /С.Г. Валухов /

Воронеж 2022

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Цель изучения дисциплины – овладение методами математического моделирования в задачах нефтегазовой отрасли, понимание природы рассматриваемых тепло- и гидродинамических явлений при хранении сложных углеводородов, формирование навыков построения математических моделей сопряженных процессов в газонефтехранилищах.

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

1.2.1. Формирование у студентов базовых знаний по проблемам разработки практических методов и технологий аналитического и приближенного численного анализа режимов функционирования газонефтехранилищ, комплексного решения производственных задач повышения безопасности, экологичности и эффективности объектов топливно-энергетического комплекса.

1.2.2. Изложение методов моделирования сложного тепломассопереноса во внутренних системах с произвольной формой границы.

1.2.3. Знакомство с популярными в нефтегазовых приложениях многопараметрическими моделями второго порядка для описания процессов переноса тепла, массы и импульса; описание основных принципов построения и применения высокоточных гидро-, газо- и теплодинамических симуляторов процессов хранения сложных углеводородов.

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

Дисциплина «Математическое моделирование процессов хранения 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 хранения 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, теоретического и экспериментального исследования
	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 хранения нефти и газа» составляет 3 з.е.

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

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	48	48
В том числе:		
Лекции	24	24
Лабораторные работы (ЛР)	24	24
<b>Самостоятельная работа</b>	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
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	36	36
В том числе:		
Лекции	12	12
Лабораторные работы (ЛР)	24	24
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Давление в покое жидкости	Уравнения равновесия Эйлера. Плотность массовых сил. Напряжение массовых сил. Свободная поверхность. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Барометрическая формула и формула барометрического нивелирования. Пьезометрическая высота и пьезометрическая поверхность	4	4	10	18
2	Сила статического давления жидкости на плоскую стенку	Центры тяжести и давления. Момент инерции. Три варианта расположения центра давления относительно центра тяжести. Равнодействующая величина сил давления, воспринимаемых стенкой.	4	4	10	18
3	Сила статического давления жидкости на криволинейные стенки	Главный вектор и главный момент сил давления. Горизонтальная и вертикальная составляющая сил давления. Тело давления. Закон Архимеда. Устойчивость плавающих тел.	4	4	10	18
4	Относительный покой жидкости	Прямолинейно равноускоренное движение сосуда. Равномерное вращение сосуда вокруг вертикальной оси.	4	4	10	18
5	Истечение жидкости через отверстия и насадки	Тонкая стенка. Коэффициент сжатия. Коэффициент скорости. Коэффициент расхода. Теоретический расход. Насадки. Истечение при переменном уровне	4	4	10	18
6	Инженерные методы расчета нефтегазохранилищ	Резервуарный парк хранилищ нефти и нефтепродуктов. Подземные хранилища газов. Основные законы подземной гидромеханики. Прочностные расчеты.	4	4	10	18
<b>Итого</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>60</b>	<b>108</b>

## очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан..	СРС	Всего, час
1	Давление в покоящейся жидкости	Уравнения равновесия Эйлера. Плотность массовых сил. Напряжение массовых сил. Свободная поверхность. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Барометрическая формула и формула барометрического нивелирования. Пьезометрическая высота и пьезометрическая поверхность	2	4	12	18
2	Сила статического давления жидкости на плоскую стенку	Центры тяжести и давления. Момент инерции. Три варианта расположения центра давления относительно центра тяжести. Равнодействующая величина сил давления, воспринимаемых стенкой.	2	4	12	18
3	Сила статического давления жидкости на криволинейные стенки	Главный вектор и главный момент сил давления. Горизонтальная и вертикальная составляющая сил давления. Тело давления. Закон Архимеда. Устойчивость плавающих тел.	2	4	12	18
4	Относительный покой жидкости	Прямолинейно равноускоренное движение сосуда. Равномерное вращение сосуда вокруг вертикальной оси.	2	4	12	18
5	Истечение жидкости через отверстия и насадки	Тонкая стенка. Коэффициент сжатия. Коэффициент скорости. Коэффициент расхода. Теоретический расход. Насадки. Истечение при переменном уровне	2	4	12	18
6	Инженерные методы расчета нефтегазохранилищ	Резервуарный парк хранилищ нефти и нефтепродуктов. Подземные хранилища газов. Основные законы подземной гидромеханики. Прочностные расчеты.	2	4	12	18
<b>Итого</b>			<b>12</b>	<b>24</b>	<b>72</b>	<b>108</b>

### 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Расчет цилиндрического резервуара на прочность.
2. Моделирование свободной конвекции с использованием ANSYS Fluent.
3. Моделирование силы давления на плоскую стенку в ANSYS Mechanical.

4. Моделирование силы давления на криволинейную стенку в ANSYS Mechanical.
5. Моделирование истечения из резервуара через цилиндрический насадок в ANSYS.

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

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

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

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

#### **7.1.1 Этап текущего контроля**

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

«аттестован»;

«не аттестован».

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Аттестован</b>	<b>Не аттестован</b>
УК-1	Знать методы 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 определения и оценки практических последствий возможных решений задачи	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в 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 практически х задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть способностью использовать физикоматематический 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. Укажите выражение для определения гидростатического давления.

1)  $F/S$ ; 2)  $\rho \cdot S$ ; 3)  $\lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S}$ ;

2. Укажите размерность давления в СИ.

1)  $H$ ; 2)  $H/m^2$ ; 3) мм рт.ст.; 4) мм вод.ст.;  
5)  $Pa$ ; 6)  $кгс/см^2$ ; 7)  $кгс/м^2$ ;

3. Укажите основное уравнение гидростатики.

1)  $Xdx + Ydy + Zdz = 0$ ;  
2)  $\rho = \rho_0 + \gamma(z - z_0)$ ;  
3)  $\rho = \rho_0 + \gamma h$ , где  $\rho_0$  - давление на свободной поверхности.

4. Какое давление измеряется пьезометрами?

- 1) абсолютное;
- 2) избыточное;
- 3) вакуумметрическое.

5. Что определяет выбор рабочей жидкости в жидкостных манометрах?

- 1) барометрическое (атмосферное) давление;
- 2) вязкость;
- 3) предел измеряемых давлений.

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

- 1)  $2 \text{ кгс/см}^2$  ; 2) 1 ат ; 3) 10 м вод. ст. ;
- 4) 20 м вод. ст. ; 5) 1 атм. ;

7. Как изменяется давление при погружении в жидкость?

- 1) уменьшается;
- 2) остается постоянной;
- 3) возрастает.

8. Укажите значение физической атмосферы.

- 1)  $1 \text{ Па}$  ; 2)  $1 \text{ кгс/см}^2$  ; 3) 760 мм рт.ст.; 4) 10 м вод.ст.;
- 5)  $1 \text{ Н/м}^2$  ; 6) 735,6 мм рт.ст;

9. По какому выражению определяется вакуумметрическое давление?

- 1)  $P_{\text{бар.}} - P_{\text{изб.}}$  ;
- 2)  $P_{\text{изб.}} + P_{\text{бар.}}$  ;
- 3)  $P_{\text{бар.}} - P_{\text{абс.}}$  ;
- 4)  $\gamma h$  ;
- 5)  $P_{\text{бар.}} + \gamma h$  ; где  $P_{\text{бар.}}$  - барометрическое давление,  
 $P_{\text{изб.}}$  - избыточное давление.

10. Укажите максимальное теоретическое значение вакуума.

- 1)  $1 \text{ кгс/см}^2$  ; 2)  $-1 \text{ кгс/см}^2$  ; 3)  $0 \text{ кгс/см}^2$  ;
- 4)  $-2 \text{ кгс/см}^2$  ; 5)  $-156 \text{ кгс/см}^2$  ;

4. Какое давление измеряется пьезометрами?
- 1) абсолютное;
  - 2) избыточное;
  - 3) вакуумметрическое.
5. Что определяет выбор рабочей жидкости в жидкостных манометрах?
- 1) барометрическое (атмосферное) давление;
  - 2) вязкость;
  - 3) предел измеряемых давлений.
6. Какое избыточное давление испытывает тело, погруженное в воду на глубину 10 метров?
- 1)  $2 \text{ кгс/см}^2$  ; 2) 1 ат ; 3) 10 м вод. ст. ;
  - 4) 20 м вод. ст. ; 5) 1 атм. ;
7. Как изменяется давление при погружении в жидкость?
- 1) уменьшается;
  - 2) остается постоянной;
  - 3) возрастает.
8. Укажите значение физической атмосферы.
- 1)  $1 \text{ Па}$  ; 2)  $1 \text{ кгс/см}^2$  ; 3) 760 мм рт.ст.; 4) 10 м вод.ст.;
  - 5)  $1 \text{ Н/м}^2$  ; 6) 735,6 мм рт.ст.
9. По какому выражению определяется вакуумметрическое давление?
- 1)  $p_{\text{бар.}} - p_{\text{изб.}}$  ;
  - 2)  $p_{\text{изб.}} + p_{\text{бар.}}$  ;
  - 3)  $p_{\text{бар.}} - p_{\text{абс.}}$  ;
  - 4)  $\gamma h$  ;
  - 5)  $p_{\text{бар.}} + \gamma h$  ; где  $p_{\text{бар.}}$  - барометрическое давление,  $p_{\text{изб.}}$  - избыточное давление.
10. Укажите максимальное теоретическое значение вакуума.
- 1)  $1 \text{ кгс/см}^2$  ; 2)  $-1 \text{ кгс/см}^2$  ; 3)  $0 \text{ кгс/см}^2$  ;
  - 4)  $-2 \text{ кгс/см}^2$  ; 5)  $-156 \text{ кгс/см}^2$  ;

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. На сколько увеличится объем нефти при нагревании ее от 20 до 30°C? Коэффициент температурного расширения нефти  $\beta_{20}^{\circ} = 0,00060 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

- а) 0,2%;
- б) 0,4%;
- в) 0,6%;
- г) 0,8%.

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

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

3. Определить плотность смеси жидкостей, имеющей следующий массовый состав: керосина – 30 %, мазута – 70 %, если плотность керосина  $\rho_k = 790 \text{ кг/м}^3$ , а мазута  $\rho_m = 900 \text{ кг/м}^3$

- а)  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;
- б)  $\rho = 863,9 \text{ кг/м}^3$ ;
- в)  $\rho = 868,2 \text{ кг/м}^3$ ;
- г)  $\rho = 856,8 \text{ кг/м}^3$ .

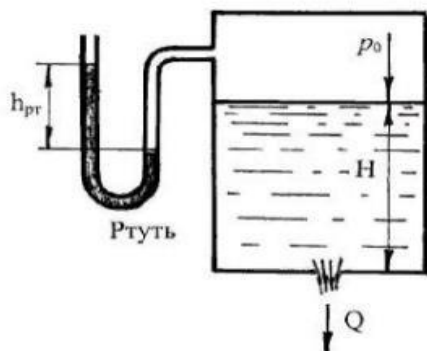
4. Определить возможный дебит скважины, если площадь фильтрации равна  $300 \text{ м}^2$ , гидравлический уклон  $0,004$ ; коэффициент фильтрации  $0,06 \text{ м/с}$ .

- а)  $0,072 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- б)  $7,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- в)  $2 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- г)  $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ .

5. Определите, какую мощность должен иметь электродвигатель привода водяного насоса, если насос при подаче  $Q=0,05 \text{ м}^3/\text{с}$  создает напор  $H=40 \text{ м}$ , а его полный КПД  $\eta=0,6$ . Плотность воды  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ .

- а)  $256 \text{ Вт}$ ;
- б)  $13,4 \text{ кВт}$ ;
- в)  $32,7 \text{ кВт}$ ;
- г)  $0,21 \text{ МВт}$ .

6. . Определить объемный расход жидкости ( $\rho=800 \text{ кг/м}^3$ ), вытекающей из бака через отверстие площадью  $S=1 \text{ см}^2$ . Показание ртутного манометра  $h=268 \text{ мм}$ , высота  $H=2 \text{ м}$ , коэффициент расхода отверстия  $\mu=0,60$ .



- а)  $0,68 \text{ л/с}$ ;
- б)  $13,22 \text{ см}^3/\text{с}$ ;
- в)  $0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- г)  $14,26 \text{ кг/с}$

7. Из резервуара через отверстие происходит истечение жидкости с турбулентным режимом. Напор  $H = 38 \text{ см}$ , коэффициент сопротивления отверстия  $\xi = 0,6$ . Чему равна скорость истечения жидкости?

- а)  $4,62 \text{ м/с}$ ;
- б)  $1,69 \text{ м/с}$ ;
- в)  $4,4$ ;
- г)  $0,34 \text{ м/с}$ .

8. Какое избыточное давление испытывает тело, погруженное в воду на глубину  $10 \text{ метров}$ ?

- а)  $2 \text{ кгс/см}^2$ ;
- б)  $1 \text{ бар}$ ;
- в)  $1 \text{ ат}$ ;
- г)  $700 \text{ мм. рт. ст.}$

9. Какова плотность смеси двух углеводородных жидкостей, если для нее взято  $0,4 \text{ л}$  нефти ( $\rho_n=850 \text{ кг/м}^3$ ) и  $0,6 \text{ л}$  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)  $810 \text{ кг/м}^3$ .



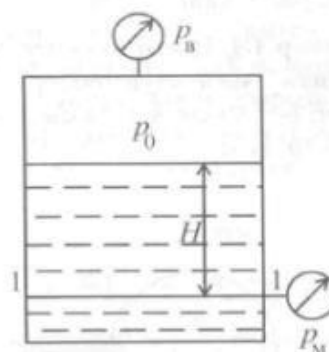
10. Открытый сосуд, заполненный до уровня  $h$ , попеременно поднимается и опускается с ускорением  $a=g$ . Что происходит при этом с избыточным давлением у его горизонтального дна?

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

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1.

В закрытом резервуаре с нефтью  $\rho = 880 \text{ кг/м}^3$  вакуумметр, установленный на его крышке, показывает  $p_v = 1,18 \cdot 10^4 \text{ Па}$



Определить показание манометра  $p_m$ , присоединённого к резервуару на глубине  $H = 6 \text{ м}$  от поверхности жидкости

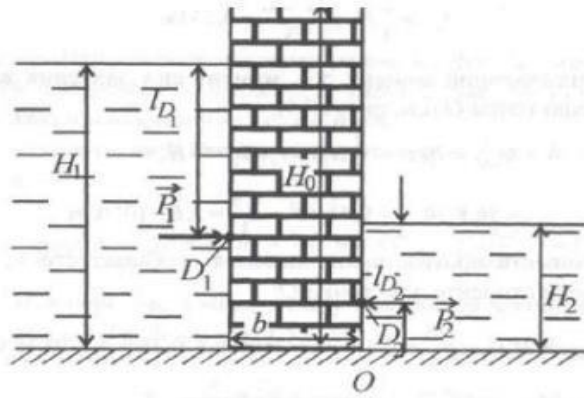
- а)  $3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;
- б)  $4 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;
- в)  $5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;
- г)  $4,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .

2. Для условий предыдущей задачи определить положение пьезометрической плоскости относительно свободной поверхности

- а) 1,2 м;
- б) 0 м;
- в) -1,37 м;
- г) -2,5 м.

3.

Вертикальная стенка (рис. 1. ) длиной  $l = 3 \text{ м}$  (в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа), шириной  $b = 0,7 \text{ м}$  и высотой  $H_0 = 2,5 \text{ м}$  разделяет бассейн с водой на две части. В левой части поддерживается уровень воды  $H_1 = 2 \text{ м}$ , в правой –  $H_2 = 0,8 \text{ м}$ .



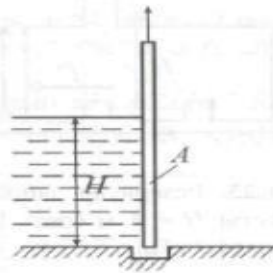
Найти величину опрокидывающего момента, действующего на стенку, а также определить, будет ли стенка устойчива против опрокидывания, если плотность материала стенки  $\rho_{ст} = 2500 \text{ кг/м}^3$ .

- а)  $2,13 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;
- б)  $2,89 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;
- в)  $3,31 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;
- г)  $3,67 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

4.

Вертикальный щит  $A$  (рис. 1.18), перекрывающий водослив плотины, может перемещаться в пазах вверх и вниз. Глубина жидкости  $H = 1,4 \text{ м}$ , ширина щита  $b = 2,6 \text{ м}$ .

Какую силу нужно приложить, чтобы поднять щит, если вес его  $G = 32 \text{ кН}$ , а коэффициент трения между щитом и поверхностью пазов  $f = 0,3$ .

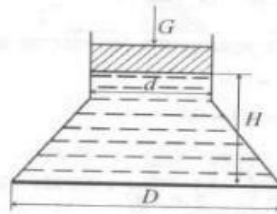


- а) 39,5 кН;
- б) 45 кН;
- в) 53,2 кН;
- г) 66 кН.

5.

$D = 1 \text{ м}$   
 $d = 0,5 \text{ м}$ .

Найти силу давления воды на дно сосуда диаметром , если глубина  $H = 0,7 \text{ м}$ , вес поршня  $G = 300 \text{ Н}$ ,



- а) 6,16 кН;
- б) 6,58 кН;
- в) 6,88 кН;
- г) 12 кН.

6.

Шаровой резервуар диаметром  $d = 1$  м целиком за-  
полнен жидкостью плотностью  $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. В верхней точке жид-  
кости в резервуаре давление атмосферное.

Определить величины и направления сил, действующих на верх-  
нюю полусферы.

- а) 0,76 кН, вниз;
- б) 1,12 кН, вниз;
- в) 1,12 кН, вверх;
- г) 1,28 кН, вверх.

7.

Вертикальный цилиндрический резервуар ( $d = 2$  м)  
закрыт сверху полусферической крышкой того же диаметра весом  
19,6 кН и целиком заполнен водой. Затем в отверстие в верхней час-  
ти крышки ввернули вертикальную трубку пренебрежимо малого  
диаметра и залили в нее воду.

Определить: 1) при какой высоте воды в трубке вертикальная со-  
ставляющая силы давления жидкости уравновесит вес крышки?

- а) 0,201 м;
- б) 0,303 м;
- в) 0,352 м;
- г) 0,382 м.

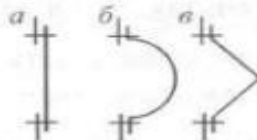
В верхней и боковой стенках кубического резервуа-  
ра прорезаны круглые люковые отверстия радиуса  $r$ , закрываемые  
крышками. Резервуар целиком заполнен жидкостью так, что в его  
верхней части избыточное давление  $p_n > \rho g r$ .

Определить, при какой форме крышек (плоской, полусфериче-  
ской или конической с высотой, равной радиусу), растягивающие  
усилия, действующие на болты, будут минимальными.

- а) плоская;
- б) полусферическая;
- в) коническая.

9.

Круглое отверстие в боковой вертикальной  
плоской стенке резервуара с жидкостью мо-  
жет быть закрыто одной из крышек  
: плоской (а), полусферической (б)  
или конической (в). Покажите соотношение  
растягивающих болты усилий для этих  
крышек.



$$P_a > P_b > P_a$$

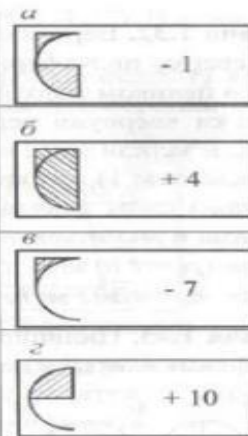
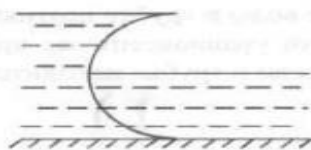
$$P_a = P_b = P_a$$

Все зависит от со-  
отношения объе-  
мов, ограниченных  
крышками б и в



10.

Канал перегороден полусцилиндрической твердой поверхностью. По одну ее сторону вода налита до верха, по другую – до середины. Изобразите объем результирующего тела давления и укажите знак вертикальной силы (+ вверх, – вниз)



### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Уравнения равновесия Эйлера. Плотность массовых сил. Напряжение массовых сил. Свободная поверхность.
2. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля.
3. Барометрическая формула и формула барометрического нивелирования. Пьезометрическая высота и пьезометрическая поверхность
4. Центры тяжести и давления. Момент инерции.
5. Три варианта расположения центра давления относительно центра тяжести.
6. равнодействующая величина сил давления, воспринимаемых стенкой.
7. Главный вектор и главный момент сил давления.
8. Горизонтальная и вертикальная составляющая сил давления. Тело давления.
9. Закон Архимеда. Остойчивость плавающих тел.
10. Прямолинейно равноускоренное движение сосуда.
11. Равномерное вращение сосуда вокруг вертикальной оси.
12. Тонкая стенка. Коэффициент сжатия. Коэффициент скорости. Коэффициент расхода. Теоретический расход.
13. Насадки. Истечение при переменном уровне.
14. Резервуарный парк хранилищ нефти и нефтепродуктов.
15. Подземные хранилища газов.
16. Основные законы подземной гидромеханики.
17. Прочностные расчеты резервуаров

## 7.2.5 Примерный перечень вопросов 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	Давление в покоящейся жидкости	УК-1, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
2	Сила статического давления жидкости на плоскую стенку	УК-1, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
3	Сила статического давления жидкости на криволинейные стенки	УК-1, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
4	Относительный покой жидкости	УК-1, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата
5	Истечение жидкости через отверстия и насадки	УК-1, ПК-5	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата

6	Инженерные методы расчета нефтегазохранилищ	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. Сбор, транспорт и хранение нефти, нефтепродуктов и газа : учебное пособие / Н.Ю. Башкирцева, Р.Р. Рахматуллин, Р.Р. Мингазов, А.А. Мухаметзянова. — Казань : КНИТУ, 2016. — 132 с. — ISBN 978-5-7882-2107-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/101894>

2. Гаджиев, Г.М. Расчет резервуарного парка нефтебаз и нефтеперекачивающих станций в системе магистрального нефтепровода : учебно-методическое пособие / Г.М. Гаджиев, Ю.А. Горинев, А.М. Кайдаков. — Йошкар-Ола : ПГТУ, 2019. — 56 с. — ISBN 978-5-8158-2079-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121698>

### **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. ANSYS Student (бесплатная студенческая версия) [www.ansys.com/Industries/Academic/Student+Product](http://www.ansys.com/Industries/Academic/Student+Product)

ПО: ANSYS TurboGrud, ANSYS CFD PrePost, ANSYS CFX Solver, ANSYS DesignModeler, ANSYS DesignXplorer, ANSYS GeometryInteufa, ANSYS HPC Pak, ANSYS Mechanical PrePo, ANSYS Mtchanical Solve, ANSYS Professional NLT, ANSYS Vista TF

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=vgt>

[u lib](#)

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

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

109/2, Лаборатория оптимизационного анализа энергетических нефтегазовых транспортных систем: компьютер в составе Intel P-4 D-3,0 512Mb/160Gd/FD (6 шт.)

Принтер HP Laser Jet 1000W Проектор INGOCUS IN26+,

306/2: Лаборатория моделирования процессов нефтегазовой гидромеханики и теплотехники: доска магнитно-маркерная, компьютер Торнадо SIG-32450/К/М/21.5( 4 шт.), Моноблок Lenovo S710 21.5, Мультимедиа-проектор; виртуальная лаборатория гидромеханики, гидравлических машин и гидроприводов.

## **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; 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.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

