

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Техника и физика низких температур**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Механика двухфазных систем**

**Москва  
2021**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен проводить базовыми методами экспериментальные исследования и теоретическое описание основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании

ИД-2 Знает и умеет использовать аппарат механики сплошных сред для анализа основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании

2. ПК-3 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей низкотемпературных процессов

ИД-2 Владеет методами и подходами описания теплофизических процессов при низких температурах в установках специального назначения

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Гидродинамика вертикального газожидкостного потока (Лабораторная работа)
2. Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн (Лабораторная работа)
3. Определение истинного объемного паросодержания двухфазного потока в барботажном процессе (Лабораторная работа)
4. Определение размеров капель, испаряющихся в парогазовую среду (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы анализа и математического описания двухфазных систем (Домашнее задание)
2. Основы гидростатики газожидкостных систем (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Граничные условия на межфазной поверхности (Коллоквиум)

### БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	8	12	16	16	16	16
Механика двухфазных систем								
Общая формулировка законов сохранения в интегральной и дифференциальной формах.	+					+		

Условия совместности на границе раздела фаз.							
Основы гидростатики газожидкостных систем		+		+			
Математическое описание волнового движения жидкости. Устойчивость границы раздела фаз		+		+			
Гидродинамика жидких пленок			+				
Движение дискретной частицы, газовых пузырей в жидкости, и жидких капель в газовых потоках.			+		+		
Неустановившееся движение газовой полости в жидкости. Уравнение Рэлея.			+		+		
Классификация, количественные характеристики и структура двухфазных течений						+	+
Двухфазные течения в условиях теплообмена						+	+
Вес КМ:	15	25	20	10	10	10	10

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-2ПК-1 Знает и умеет использовать аппарат механики сплошных сред для анализа основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании	<p>Знать:</p> <p>методы анализа и математического описания двухфазных систем; общую формулировку законов сохранения в интегральной и дифференциальной формах, формулировку универсальных и специальных условий совместности на межфазных границах основы механики простых двухфазных систем</p> <p>Уметь:</p> <p>анализировать постановку задач в двухфазных системах с движущейся границей раздела фаз, выбирать метод анализа и способ решения выполнять математическое описание процессов, протекающих в</p>	<p>Методы анализа и математического описания двухфазных систем (Домашнее задание)</p> <p>Основы гидростатики газожидкостных систем (Контрольная работа)</p> <p>Граничные условия на межфазной поверхности (Коллоквиум)</p> <p>Определение размеров капель, испаряющихся в парогазовую среду (Лабораторная работа)</p>

		двухфазных системах на основе методов механики сплошных сред, условий совместности на границе раздела фаз	
ПК-3	ИД-2ПК-3 Владеет методами и подходами описания теплофизических процессов при низких температурах в установках специального назначения	Знать: основные характерные задачи с движением границы раздела фаз и методы их описания классификацию, количественные характеристики и структуру двухфазных течений в каналах, основы расчета динамики и теплопереноса в двухфазных течениях Уметь: проводить гидравлический и тепловой анализ двухфазных течений в вертикальных и горизонтальных каналах	Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн (Лабораторная работа) Гидродинамика вертикального газожидкостного потока (Лабораторная работа) Определение истинного объемного паросодержания двухфазного потока в барботажном процессе (Лабораторная работа)

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Методы анализа и математического описания двухфазных систем

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Самостоятельное решение задач, используя индивидуальные исходные данные

#### Краткое содержание задания:

Математическое описание двухфазных систем

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: методы анализа и математического описания двухфазных систем; общую формулировку законов сохранения в интегральной и дифференциальной формах, формулировку универсальных и специальных условий совместности на межфазных границах</p>	<p><b>1. Постановка задачи 1:</b> В горизонтальном щелевом канале высотой <math>d</math> текут две несмешивающиеся несжимаемые жидкости. Объёмный расход жидкости, движущейся в верхней части канала <math>V1</math> (на единицу ширины щели), её динамическая вязкость <math>m1</math>; жидкости, движущейся в нижней части канала, – <math>V2</math>, <math>m2</math>. На участке канала длиной <math>L</math> измеренный перепад давлений <math>DP</math>.</p> <p>Считая течение установившимся, определить расстояние от нижней стенки канала до границы раздела жидкостей <math>a</math> (представить все корни уравнения и зависимость функции <math>a(x)</math> в интервале от 0 до <math>d</math>) и расход <math>V1</math>. Построить график профиля скорости по сечению канала.</p> <p><b>2. Постановка задачи 2:</b> В щелевом канале высотой <math>d</math> течёт жидкость с постоянными физическими свойствами. Температуры стенок канала поддерживаются постоянными и равными <math>T1</math> и <math>T2</math> (<math>DT=T1-T2</math>). Нижняя стенка канала неподвижна и теплоизолирована (<math>q_{ст}=0</math>). Верхняя стенка перемещается со скоростью <math>V</math> параллельно оси канала вверх. Давление в сечениях канала, расположенных на расстоянии <math>L</math> равны <math>P1</math> и <math>P2</math>. Угол наклона канала к горизонту – <math>\alpha</math>. Течение стационарное, термически и гидродинамически стабилизированное.</p> <p>Определить давление <math>P2</math> и максимальную скорость жидкости в канале <math>u_{max}</math>. Построить график профиля скорости по сечению канала.</p>
--	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

## **КМ-2. Основы гидростатики газожидкостных систем**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное решение задач, индивидуальные задания

**Краткое содержание задания:**

Основы гидростатики газожидкостных систем: решение задач

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основы механики простых двухфазных систем</p>	<p>1.1. В стакан с гидрофобными стенками диаметром 150 мм налита вода. Определить максимальное отклонение мениска от зеркала жидкости.</p> <p>2. В перевернутом сосуде на поверхность жидкого азота наложена сетка. Определить размер ячейки этой сетки, если жидкость не вытекает, а скорость движения воздуха в помещении 1 м/с.</p> <p>2.1. В стакан диаметром 120 мм налит азот. Определить высоту поднятия жидкости вблизи стенки, если краевой угол смачивания <math>10^\circ</math>.</p> <p>2. Определить минимальную фазовую скорость на поверхности жидкого азота. Какая при этом будет длина волны?</p> <p>3.1. Цилиндрический открытый капилляр диаметром 100 мкм опущен одним концом в жидкий азот. Определить высоту поднятия жидкости, если краевой угол смачивания <math>10^\circ</math></p> <p>2. На поверхности раздела фаз азота распространяются волны со скоростью 0,5 м/с. Найти длину волны.</p> <p>4.1. На горизонтальной поверхности лежит капля воды. Диаметр мокрого контактного пятна 10,8 мм, краевой угол смачивания <math>90^\circ</math>. Определить объем капли.</p> <p>2. В перевернутом сосуде на поверхность жидкого азота наложена сетка. Определить размер ячейки этой сетки, если жидкость не вытекает.</p> <p>5.1. На горизонтальной поверхности лежит капля воды. Диаметр мокрого контактного пятна 10,8 мм, краевой угол смачивания <math>90^\circ</math>. Определить объем капли.</p> <p>2. Определить толщину пленки жидкого азота и среднюю скорость при свободно-гравитационном течении по вертикальной плоской стенке. <math>Re=20</math>.</p> <p>6.1. На горизонтальной поверхности лежит капля воды. Диаметр мокрого контактного пятна 13,5 мм, краевой угол смачивания <math>47^\circ</math>. Определить высоту</p>
---	--

	<p>капли.</p> <p>2. По наклонной плоскости стекает пленка азота. Определить угол наклона поверхности, если число Рейнольдса соответствует нарушению ламинарного режима, а толщина пленки 100 мкм</p> <p>7.1. На плоской крышке полностью заполненного сосуда с жидким азотом образовался пузырь с диаметром сухого пятна 4,2 мм. Определить объем пузыря, если контактный угол смачивания <math>15^\circ</math>.</p> <p>2. Определить расчетным путем скорость всплытия в азоте одиночного пузыря радиусом 0,1 мм.</p> <p>8.1. На плоской крышке полностью заполненного сосуда с жидким азотом образовался пузырь с диаметром сухого контактного пятна 2,1 мм. Определить максимально возможную высоту пузыря. Какой при этом будет краевой угол смачивания?</p> <p>2. Определить расчетным путем размер пузыря азота, при котором он теряет свою сферическую форму.</p> <p>9.1. Какой максимальный вертикальный размер равновесного пузыря возможен на плоском дне сосуда, заполненного водой? Какова должна быть поверхность – гидрофобная или гидрофильная?</p> <p>2. Определить расчетным путем размер пузыря азота, при котором его форма становится сферическим сегментом.</p> <p>10.1. Определить высоту водяной капли свисающей с горизонтальной плоской поверхности, если диаметр мокрого контактного пятна 5,4 мм, а краевой угол смачивания <math>97^\circ</math>.</p> <p>2. Определить размер капли аргона, при котором происходит ее дробление.</p>
--	--

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

#### **КМ-3. Граничные условия на межфазной поверхности**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Коллоквиум

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы на вопросы в устной форме

**Краткое содержание задания:**

Сформулировать условие совместности на границе раздела фаз

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выполнять математическое описание процессов, протекающих в двухфазных системах на основе методов механики сплошных сред, условий совместности на границе раздела фаз	1.Сформулировать граничные условия на межфазной поверхности Не-II - пар при пленочном кипении 2.Сформулировать граничные условия при движении двухфазного теплоносителя в канале теплообменника. 3.Сформулировать граничные условия при испарении капли на структурированной подложке.
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

#### **КМ-4. Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение экспериментально-расчетного задания

**Краткое содержание задания:**

Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные характерные задачи с движением границы раздела фаз и методы их описания	1.Основные характерные задачи с движением границы раздела фаз и методы их описания
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка: не зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

### **КМ-5. Определение размеров капель, испаряющихся в парогазовую среду**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение экспериментально-расчетного задания

**Краткое содержание задания:**

Определение размеров капель, испаряющихся в парогазовую среду

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: анализировать постановку задач в двухфазных системах с движущейся границей раздела фаз, выбирать метод анализа и способ решения	1.Выполнить анализ постановки задачи в двухфазных системах с движущейся границей раздела фаз 2.Выбрать метод анализа и способ решения
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

### **КМ-6. Гидродинамика вертикального газожидкостного потока**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение экспериментально-расчетного задания

**Краткое содержание задания:**

Исследование гидродинамики вертикального газожидкостного потока

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: проводить гидравлический и тепловой анализ двухфазных течений в вертикальных и горизонтальных каналах	1.Выполнить гидравлический и тепловой анализ двухфазных течений в вертикальных и горизонтальных каналах
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка: не зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

### **КМ-7. Определение истинного объемного паросодержания двухфазного потока в барботажном процессе**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение экспериментально-расчетного задания

#### **Краткое содержание задания:**

Определение истинного объемного паросодержания двухфазного потока в барботажном процессе

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: классификацию, количественные характеристики и структуру двухфазных течений в каналах, основы расчета динамики и теплопереноса в двухфазных течениях	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Классификация двухфазных течений</li><li>2.Количественные характеристики и структура двухфазных течений в каналах.</li><li>3.Принципы расчета динамики и теплопереноса в двухфазных течениях</li></ol>
---	--

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка: не зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

## Пример билета

1. Общая формулировка законов сохранения в механике сплошных сред. Закон сохранения массы.
2. Режимы течения, структуры потоков, карта режимов течения, модели описания двухфазных потоков.  
Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 5$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 50$  г/с,  $b = 0,95$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 5$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 2 \times 10^{-4}$  Па·с;  $h'' = 4 \times 10^{-5}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 0.3$  м (по гомогенной модели).

## Процедура проведения

Устные ответы на вопросы билета, письменное решение задачи

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-1</sub> Знает и умеет использовать аппарат механики сплошных сред для анализа основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании

## Вопросы, задания

1. Билет 1

1. Общая формулировка законов сохранения в механике сплошных сред. Закон сохранения массы.
2. Режимы течения, структуры потоков, карта режимов течения, модели описания двухфазных потоков.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 5$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 50$  г/с,  $b = 0,95$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 5$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 2 \times 10^{-4}$  Па·с;  $h'' = 4 \times 10^{-5}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 0.3$  м (по гомогенной модели).

2. Билет 2

1. Фазовая скорость гравитационных и капиллярных волн. Неустойчивость Тейлора.
2. Высота подъема жидкости в сосудах и капиллярах.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 6$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 80$  г/с,  $b = 0,80$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 3$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 5 \times 10^{-4}$  Па·с;  $h'' = 5 \times 10^{-5}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 1$  м (по гомогенной модели).

3. Билет 3

1. Вывод уравнения Рэлея (динамическая форма).
2. Расчет истинного паросодержания восходящего двухфазного потока.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 5$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание

смеси  $G = 50$  г/с,  $b = 0,95$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 5$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 2 \times 10^{-4}$  Па×с;  $h'' = 4 \times 10^{-5}$  Па×с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 0,3$  м (по модели отдельных цилиндров).

4.Билет 4

1. Специальные условия совместности для малоинтенсивных процессов на проницаемой для потока массы межфазной границе.

2. Теплообмен при течении двухфазного потока в обогреваемом канале.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 8$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 100$  г/с,  $b = 0,92$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 3$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 10^{-3}$  Па×с;  $h'' = 5 \times 10^{-5}$  Па×с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 0,8$  м (по гомогенной модели).

5.Билет 5

1. Вывод формулы Лапласа для скачка давлений на межфазной поверхности

2. Расчет истинного паросодержания двухфазного потока по модели, учитывающей локальное скольжение фаз.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 30$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 80$  г/с,  $b = 0,97$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 700$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 2$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 10^{-4}$  Па×с;  $h'' = 5 \times 10^{-6}$  Па×с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 10$  м (по гомогенной модели).

6.Билет 6

1. Уравнение гидростатического равновесия межфазной поверхности в размерной и безразмерной форме.

2. Кризис теплообмена при кипении жидкости в каналах.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 10$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 10$  г/с,  $b = 0,98$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 5$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 1,5 \times 10^{-4}$  Па×с;  $h'' = 5 \times 10^{-6}$  Па×с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 3$  м (по гомогенной модели).

### Материалы для проверки остаточных знаний

1.Какая схема наиболее часто используется для описания роста парового пузыря в объеме перегретой жидкости?

Ответы:

- 1) динамическая вязкая
- 2) энергетическая молекулярно-кинетическая
- 3) энергетическая тепловая

Верный ответ: энергетическая тепловая

2.Какая схема движения теплоносителей является наиболее эффективной?

Ответы:

- 1) Прямоток
- 2) Противоток
- 3) Перекрестный ток

Верный ответ: Противоток

3.Почему нельзя использовать формулу Фритца для оценки отрывного диаметра пузырька при кипении?

Ответы:

- 1) формула получена в условиях гидростатики при отсутствии теплообмена и движения
- 2) формула получена только для гидрофобных поверхностей
- 3) формулу можно использовать только при  $Re \ll 1$

Верный ответ: формула получена в условиях гидростатики при отсутствии теплообмена и движения

4. Дайте определение массовому расходному паросодержанию двухфазного потока?

Ответы:

- 1) отношение массового расхода пара к теплоте фазового перехода  $x = G''/h_{LG}$
- 2) отношение массового расхода пара к массовому расходу жидкости  $x = G''/G'$
- 3) отношение массового расхода пара к массовому расходу смеси  $x = G''/G$

Верный ответ: отношение массового расхода пара к массовому расходу смеси  $x = G''/G$

5. В каком случае истинное объемное паросодержание совпадает с объемным расходным паросодержанием?

Ответы:

- 1) скорость скольжения равна нулю
- 2) приведенная скорость пара равна нулю
- 3) скорость циркуляции равна нулю

Верный ответ: скорость скольжения равна нулю

6. Как изменится гидравлическое сопротивление горизонтального двухфазного потока при конденсации по сравнению с адиабатным двухфазным потоком?

Ответы:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Верный ответ: уменьшится

7. Как записывается специальное условие совместности в квазиравновесной схеме для фазовых переходов в однокомпонентной системе?

Ответы:

- 1)  $V_n'' = V_n' = C$
- 2)  $q'' = q'$
- 3)  $T'' = T' = T_s(P)$

Верный ответ:  $T'' = T' = T_s(P)$

8. Каким уравнением описывается закон концентрационной диффузии?

Ответы:

- 1) Закон Фика
- 2) Закон Фурье
- 3) Закон Фарадея

Верный ответ: Закон Фика

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-3</sub> Владеет методами и подходами описания теплофизических процессов при низких температурах в установках специального назначения

### Вопросы, задания

1. Билет 7

1. Уравнение Рэлея в энергетической форме. Радиус, соответствующий экстремуму давления в жидкости, окружающей расширяющуюся сферу.

2. Анализ численных решений уравнения гидростатического равновесия межфазных поверхностей типа I.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 40$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 500$  г/с,  $b = 0,85$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 5$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 10^{-3}$  Па·с;  $h'' = 3 \times 10^{-5}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 20$  м (по гомогенной модели).

2. Билет 8

1. Анализ опытных данных по всплыванию одиночных газовых пузырей в жидкости. Расчетные соотношения при  $Re \ll 1$ .

2. Общая формулировка законов сохранения в механике сплошных сред. Тензор плотности потока импульса.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 20$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 500$  г/с,  $b = 0,95$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 10$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 10^{-3}$  Па·с;  $h'' = 10^{-4}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 1,5$  м (по модели отдельных цилиндров).

3. Билет 9

1. Анализ опытных данных по всплыванию одиночных газовых пузырей в жидкости. Расчетные соотношения для 4 и 5 зон.

2. Основные подходы к расчету гидравлического сопротивления при течении одно- и двухфазной сред в пористых средах.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 5$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 50$  г/с,  $b = 0,95$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 5$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 2 \times 10^{-4}$  Па·с;  $h'' = 4 \times 10^{-5}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 0,3$  м (по гомогенной модели).

4. Билет 10

1. Фазовая скорость гравитационных и капиллярных волн. Неустойчивость Тейлора.

2. Высота подъема жидкости в сосудах и капиллярах.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 6$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 80$  г/с,  $b = 0,80$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 3$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 5 \times 10^{-4}$  Па·с;  $h'' = 5 \times 10^{-5}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 1$  м (по гомогенной модели).

5. Билет 11

1. Устойчивость ламинарного свободно-гравитационного течения пленки жидкости на вертикальной и наклонной плоскостях.

2. Анализ опытных данных по всплыванию одиночных газовых пузырей в жидкости. Расчетные соотношения при  $Re > 1$ .

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 25$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 60$  г/с,  $b = 0,93$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 4$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 2 \times 10^{-4}$  Па·с;  $h'' = 6 \times 10^{-6}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 5$  м (по гомогенной модели).

6. Билет 12

1. Анализ волнового движения неограниченной горизонтальной границы раздела неподвижных фаз (математическая постановка задачи).

2. Запись законов сохранения для контрольного объема в окрестности точки на поверхности раздела фаз.

Задача: В горизонтальном канале внутренним диаметром  $d = 20$  мм движется в адиабатных условиях двухфазная смесь. Массовый расход и объемное паросодержание смеси  $G = 500$  г/с,  $b = 0,95$ . Физические свойства жидкости и пара постоянны и равны:  $\rho' = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho'' = 10$  кг/м<sup>3</sup>;  $h' = 10^{-3}$  Па·с;  $h'' = 10^{-4}$  Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной  $L = 1,5$  м (по гомогенной модели).

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. При каком контактном угле смачивания поверхность считается гидрофильной?

Ответы:

- 1)  $Q < 90$
- 2)  $Q < 120$
- 3)  $Q > 90$

Верный ответ:  $Q < 90$

2. Определите капиллярную постоянную для воды в земных нормальных условиях

Ответы:

- 1) 100 мкм
- 2) 2,7 мм
- 3) 10 мм

Верный ответ: 2,7 мм

3. Чему равна безразмерная минимальная фазовая скорость?

Ответы:

- 1)  $\sqrt{2}$
- 2) 2
- 3)  $1/2$

Верный ответ:  $\sqrt{2}$

4. Чем отличается неустойчивость Тейлора и неустойчивость Гельмгольца?

Ответы:

- 1) Величиной фазовой скорости
- 2) Неустойчивость Гельмгольца возникает в системах с относительным движением фаз
- 3) Амплитудой колебания

Верный ответ: Неустойчивость Гельмгольца возникает в системах с относительным движением фаз

5. Какое критическое значение числа Рейнольдса при переходе к турбулентному течению в тонких пленках?

Ответы:

- 1) 1600
- 2) 2300
- 3) 20

Верный ответ: 1600

6. Как зависит скорость всплывания газовых пузырей в форме правильных сферических сегментов ( $V > 2 \text{ см}^3$ ) в жидкости от размера?

Ответы:

- 1) пропорционально  $R_{\text{экв}}$
- 2) пропорционально  $\sqrt{R_{\text{экв}}}$
- 3) обратно пропорционально  $R_{\text{экв}}$

Верный ответ: пропорционально  $\sqrt{R_{\text{экв}}}$

7. При каких размерах падающей капли происходит ее дробление?

Ответы:

- 1)  $(2-3)b$
- 2)  $(0,5-0,6)b$
- 3)  $(5-6)b$

Верный ответ:  $(2-3)b$

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Задача решена правильно. Даны полные ответы на вопросы в билетах. Даны полные ответы на дополнительные вопросы.*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задача решена правильно. Даны ответы на вопросы в билетах с незначительными ошибками

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Задача решена правильно. Даны неполные ответы на вопросы в билетах.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.