

**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
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Ю.Ю.
Пузина

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

А.П.
Крюков

Заведующий
выпускающей кафедрой

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

Ю.Ю.
Пузина

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. ОПК-1 Способен проводить 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-2 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

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Методы анализа и математического описания двухфазных систем (Домашнее задание)
- КМ-2 Основы гидростатики газожидкостных систем (Контрольная работа)
- КМ-3 Граничные условия на межфазной поверхности (Коллоквиум)
- КМ-4 Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн (Лабораторная работа)

- КМ-5 Определение размеров капель, испаряющихся в парогазовую среду (Лабораторная работа)
 КМ-6 Гидродинамика вертикального газожидкостного потока (Лабораторная работа)
 КМ-7 Определение истинного объемного паросодержания двухфазного потока в барботажном процессе (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

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

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
ОПК-1	ИД-2 _{ОПК-1} Знает и умеет использовать аппарат механики сплошных сред для анализа основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании	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 основы механики простых двухфазных систем Уметь: анализировать постановку задач в двухфазных системах с движущейся границей раздела фаз, выбирать метод анализа и способ решения выполнять математическое описание процессов, протекающих в	КМ-1 Методы анализа и математического описания двухфазных систем (Домашнее задание) КМ-2 Основы гидростатики газожидкостных систем (Контрольная работа) КМ-3 Граничные условия на межфазной поверхности (Коллоквиум) КМ-5 Определение размеров капель, испаряющихся в парогазовую среду (Лабораторная работа)

		двухфазных системах на основе методов механики сплошных сред, условий совместности на границе раздела фаз	
ПК-2	ИД-2 _{ПК-2} 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	КМ-4 Измерение коэффициента поверхностного натяжения методом капиллярных волн (Лабораторная работа) КМ-6 Гидродинамика вертикального газожидкостного потока (Лабораторная работа) КМ-7 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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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	1.Постановка задачи 1: В горизонтальном щелевом канале высотой d текут две несмешивающиеся несжимаемые жидкости. Объёмный расход жидкости, движущейся в верхней части канала V_1 (на единицу ширины щели), её динамическая вязкость m_1; жидкости, движущейся в нижней части канала, – V_2, m_2. На участке канала длиной L измеренный перепад давлений DP. Считая течение установившимся, определить расстояние от нижней стенки канала до границы раздела жидкостей a (представить все корни уравнения и зависимость функции $a(x)$ в интервале от 0 до d) и расход V_1. Построить график профиля скорости по сечению канала. 2.Постановка задачи 2: В щелевом канале высотой d течёт жидкость с постоянными физическими свойствами. Температуры стенок канала поддерживаются постоянными и равными T_1 и T_2 ($DT=T_1-T_2$). Нижняя стенка канала неподвижна и теплоизолирована ($q_{ст}=0$). Верхняя стенка перемещается со скоростью V параллельно оси канала вверх. Давление в сечениях канала, расположенных на расстоянии L равны P_1 и P_2. Угол наклона канала к горизонту – α. Течение стационарное, термически и гидродинамически стабилизированное. Определить давление P_2 и максимальную скорость жидкости в канале u_{max}. Построить график профиля скорости по сечению канала.

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:

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

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	6.1. На горизонтальной поверхности лежит капля воды. Диаметр мокрого контактного пятна 13,5 мм, краевой угол смачивания 47°. Определить высоту капли. 2. По наклонной плоскости стекает пленка азота. Определить угол наклона поверхности, если число Рейнольдса соответствует нарушению ламинарного режима, а толщина пленки 100 мкм 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 15°. 2. Определить расчетным путем скорость всплытия в азоте одиночного пузыря радиусом 0,1 мм. 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? 2. Определить расчетным путем размер пузыря азота, при котором он теряет свою сферическую форму. 9.1. Какой максимальный вертикальный размер равновесного пузыря возможен на плоском дне сосуда, заполненного водой? Какова должна быть поверхность – гидрофобная или гидрофильная? 2. Определить расчетным путем размер пузыря азота, при котором его форма становится сферическим сегментом. 10.1. Определить высоту водяной капли свисающей с горизонтальной плоской поверхности, если диаметр мокрого контактного пятна 5,4 мм, а краевой угол смачивания 97°. 2. Определить размер капли аргона, при котором происходит ее дробление.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: классификацию, количественные характеристики и структуру двухфазных течений в каналах, основы расчета динамики и теплопереноса в двухфазных течениях	1.Классификация двухфазных течений 2.Количественные характеристики и структура двухфазных течений в каналах. 3.Принципы расчета динамики и теплопереноса в двухфазных течениях

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/м³; $\rho'' = 5$ кг/м³; $h' = 2 \times 10^{-4}$ 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_{ОПК-1} 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/м³; $\rho'' = 5$ кг/м³; $h' = 2 \times 10^{-4}$ 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/м³; $\rho'' = 3$ кг/м³; $h' = 5 \times 10^{-4}$ 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/м³; $\rho'' = 5$ кг/м³; $h' = 2 \times 10^{-4}$ 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/м³; $\rho'' = 3$ кг/м³; $h' = 10^{-3}$ 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/м³; $\rho'' = 2$ кг/м³; $h' = 10^{-4}$ 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/м³; $\rho'' = 5$ кг/м³; $h' = 1,5 \times 10^{-4}$ 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_{ПК-2} 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/м³; $\rho'' = 5$ кг/м³; $h' = 10^{-3}$ 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/м³; $\rho'' = 10$ кг/м³; $\eta' = 10^{-3}$ Па·с; $\eta'' = 10^{-4}$ Па·с. Рассчитать перепад давлений на участке канала длиной $L = 1,5$ м (по модели раздельных 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/м³; $\rho'' = 5$ кг/м³; $\eta' = 2 \times 10^{-4}$ Па·с; $\eta'' = 4 \times 10^{-5}$ 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/м³; $\rho'' = 3$ кг/м³; $\eta' = 5 \times 10^{-4}$ Па·с; $\eta'' = 5 \times 10^{-5}$ 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/м³; $\rho'' = 4$ кг/м³; $\eta' = 2 \times 10^{-4}$ Па·с; $\eta'' = 6 \times 10^{-6}$ 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/м³; $\rho'' = 10$ кг/м³; $\eta' = 10^{-3}$ Па·с; $\eta'' = 10^{-4}$ 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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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.