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

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Оценочные материалы по дисциплине Процессы переноса в существенно неравновесных системах

Москва
2023

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Крюков А.П. Идентификатор: R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed	А.П. Крюков
(должность)	(подпись)	(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Дмитриев А.С. Идентификатор: R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaeae29	А.С. Дмитриев
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)
Заведующий выпускающей кафедры	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Пузина Ю.Ю. Идентификатор: Re86e9a56-Puzina-4d2acad1	Ю.Ю. Пузина
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(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 анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования

ИД-3 Умеет применять различные подходы к расчету процессов тепломассопереноса в зависимости от режимных параметров работы элементов энергетического оборудования

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия (Контрольная работа)
2. Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Методы и результаты исследования задач тепло- массопереноса на межфазных поверхностях (Коллоквиум)
2. Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз (Коллоквиум)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Постановка задач расчета испарения и конденсации					
Постановка задач расчета испарения и конденсации			+		
Методы расчета термических сопротивлений					
Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой		+			
Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена		+			
Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата		+			

Обзор методов решения кинетического уравнения				
Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации		+		
Результаты исследования задач испарения-конденсации				
Результаты исследования задач испарения-конденсации			+	+
Решение прикладных задач: кипение сверхтекучего гелия, процессы криовакуумирования, конденсация паров металлов				
Кипение сверхтекучего гелия	+		+	+
Процессы криовакуумирования	+		+	+
Конденсация паров металлов	+		+	+
Вес КМ:	25	20	35	20

$Общая часть/Для промежуточной аттестации$

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-З$_{ПК-1}$ Умеет применять различные подходы к расчету процессов тепломассопереноса в зависимости от режимных параметров работы элементов энергетического оборудования	Знать: способы расчета существенно неравновесных процессов переноса с целью применения их на практике для разработки энергонапряженного оборудования, машин и аппаратов высоких технологий расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования теплогидравлических процессов в условиях значительного отклонения от состояния термодинамического равновесия и принципы их моделирования в конкретных технических системах Уметь: применять современные	Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации (Контрольная работа) Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз (Коллоквиум) Методы и результаты исследования задач тепло- массопереноса на межфазных поверхностях (Коллоквиум) Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия (Контрольная работа)

		методы исследования, проводить технические испытания и (или) научные эксперименты анализировать информацию о технологиях осуществления существенно неравновесных процессов переноса	

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Расчет термических сопротивлений при испарении и конденсации

Формы реализации: Письменная работа
Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа
Вес контрольного мероприятия в БРС: 25
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа

Краткое содержание задания:
Развернуто ответить на поставленный вопрос

Контрольные вопросы/задания:

Знать: способы расчета существенно неравновесных процессов переноса с целью применения их на практике для разработки энергонапряженного оборудования, машин и аппаратов высоких технологий	1.Внешнее термические сопротивление. Его роль в зависимости от интенсивности процесса 2.Межфазное термические сопротивление. Его роль в зависимости от интенсивности процесса 3.Термические сопротивление пленки конденсата. Его роль в зависимости от интенсивности процесса

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-2. Применение кинетического уравнения Больцмана для решения задач тепло-массопереноса на границах раздела фаз

Формы реализации: Устная форма
Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум
Вес контрольного мероприятия в БРС: 20
Процедура проведения контрольного мероприятия: Коллоквиум

Краткое содержание задания:
Развернуто ответить на поставленный вопрос

Контрольные вопросы/задания:

Знать: расчетно-теоретические и экспериментальные методы	1.Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой

исследования теплогидравлических процессов в условиях значительного отклонения от состояния термодинамического равновесия и принципы их моделирования в конкретных технических системах	2.Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена 3.Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата 4.Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана 5.Прямое статистическое моделирование

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. Методы и результаты исследования задач тепло- массопереноса на межфазных поверхностях

Формы реализации: Устная форма
Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум
Вес контрольного мероприятия в БРС: 35
Процедура проведения контрольного мероприятия: Коллоквиум

Краткое содержание задания:
Развернуто ответить на поставленный вопрос

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: анализировать информацию о технологиях осуществления существенно неравновесных процессов переноса	1.Исследование задач испарения и конденсации на основе интегральной формулировки законов сохранения массы, импульса, энергии для сплошных сред 2.Применение законов сохранения в дифференциальном виде для решения задачи о конденсации чистого пара 3.Представление законов сохранения методами молекулярно-кинетической теории 4.Методика расчета интенсивностей соответствующих процессов переноса для диффузной схемы испарения и отражения молекул при произвольных значениях коэффициентов испарения и конденсации

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. Определение тепловых нагрузок и скоростей движения межфазных поверхностей при кипении сверхтекучего гелия

Формы реализации: Письменная работа
Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа
Вес контрольного мероприятия в БРС: 20
Процедура проведения контрольного мероприятия: Контрольная работа

Краткое содержание задания:
Решить поставленную задачу

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять современные методы исследования, проводить технические испытания и (или) научные эксперименты	1.В плоской пластине из нержавеющей стали толщиной *2 мм*, находящейся в окружающей среде при нормальном давлении, проделали *100* параллельных продольных сквозных зазоров, каждый из которых имеет толщину *10нм* (*1нм = 10-9 м*). Температура левой поверхности пластины равна *298* К , а правой *293 К*. Чему равна плотность теплового потока, передаваемого через пластину? Теплопроводность нержавеющей стали – *14 Вт/м·К*. 2.В капилляре диаметром 260 мкм находится объем сверхтекучего гелия, длина которого составляет *l* = 1,2 м. Температура гелия равна 1.60 К. При подаче к одной из межфазных поверхностей тепловой нагрузки 550 Вт/м2 перемычка He-II приходит в движение к источнику теплоты. При этом жидкий гелий испаряется с «холодной» межфазной поверхности. По прошествии времени t перемычка останавливается и изменяет направление движения. Определите значение времени t. Гелий II при T = 1,6 K

(кг/м3)	*η* (Па·с)	*S* (Дж/кг·К)	¢¢ (кг/м3)	*r* (кДж/кг)
145,20	1,26·10-6	284,00	0,23	22,70

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

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

1. Исследование задач испарения и конденсации на основе интегральной формулировки законов сохранения массы, импульса, энергии для сплошных сред
2. В капилляре находится объем сверхтекучего гелия, длина которого l составляет 10,4 см. Температура гелия равна 1,7 К . При подаче к одной из межфазных поверхностей тепловой нагрузки 60 Вт/м2 перемычка гелия II приходит в движение к источнику теплоты. Определите наибольший диаметр, при котором это возможно. Укажите направление движения перемычки и найдите ее скорость при вдвое большем диаметре.

Процедура проведения

Студент получает билет и готовится к ответу 60 минут, далее устный ответ по билету и на дополнительный вопрос.

I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-З$_{ПК-1}$ Умеет применять различные подходы к расчету процессов тепломассопереноса в зависимости от режимных параметров работы элементов энергетического оборудования

Вопросы, задания

1.Применение законов сохранения в дифференциальном виде для решения задачи о конденсации чистого пара
2.Представление законов сохранения методами молекулярно-кинетической теории. Расчет теплового потока для свободномолекулярного предела и переходной области
3.Описание испарения и конденсации методами физической кинетики. Линейная теория Д.А.Лабунцова
4.Результаты исследования процессов интенсивного испарения и конденсации методами молекулярно-кинетической теории
5.Коэффициенты испарения и конденсации. Определения этих понятий. Методика расчета интенсивностей соответствующих процессов переноса для диффузной схемы испарения и отражения молекул при произвольных значениях коэффициентов испарения и конденсации. Их предельные значения.
6.В плоской пластине из нержавеющей стали толщиной *2 мм*, находящейся в окружающей среде при нормальном давлении, проделали *100* параллельных продольных сквозных зазоров, каждый из которых имеет толщину *10нм* (*1нм = 10-9 м*). Температура левой поверхности пластины равна *298* К , а правой *293 К*. Чему равна плотность теплового потока, передаваемого через пластину? Теплопроводность нержавеющей стали – *14 Вт/м·К*.
7.На вертикальной медной стенке толщиной *δ=1мм* и высотой *H = 0,1м* конденсируется газообразный аргон при атмосферном давлении. С другой стороны эта стенка охлаждается потоком жидкого азота, находящимся в состоянии насыщения при атмосферном давлении и движущемся вдоль поверхности стенки с определенной скоростью. Чему должна быть равна величина этой скорости для того, чтобы на стенке формировался твердый аргон?

Жидкий азот
μN2 = 155·10-6Па·с ; ρ N2 = 804 кг/м3 ; CpN2 =2·103 Дж/(кг·К) ;
λ N2 = 0.17 Вт/(м·К) ; r = 2·105 Дж/кг ; Тнорм.нас =77.4К ; Ттройной т. =63.15 К
Жидкий аргон
μAr =240·10-6Па·с; ρAr = 1400 кг/м3 ; CpAr =1.2·103 Дж/(кг·К) ;
λAr = 0.13Вт/(м·К) ; r = 1.6·105 Дж/кг ; Тнорм.нас =87.3К ; Ттройной т. =83.
8.Получите решения уравнений сохранения импульса для задачи пленочной конденсации неподвижного в продольном направлении водяного пара на вертикальной поверхности высотой $H = 0.1м$. Найдите скорости движения пара и жидкости вблизи границы раздела фаз, если известно, что давление конденсирующегося пара *105 Па*, а температура поверхности, на которой осуществляется конденсация, поддерживается постоянной и равной Tw = 363К.

Вода (жидкость)
μH2O =282·10-6Па·с; ρH2O = 958 кг/м3 ; CH2O =4.22·103 Дж/(кг·К) ;
λH2O = 0.68Вт/(м·К) ; r = 2.26·106Дж/кг ; Тнорм.нас =373.1К
9.На межфазную поверхность, поддерживаемую при постоянной температуре Ts , натекает поток газообразного азота со скоростью, соответствующей числу Маха $M\infty = 0.65$, в режиме одномерной стационарной десублимации. При коэффициенте конденсации $\beta = 1$ отношение $P\infty/Ps = 8.0$, где Ps – давление насыщения, соответствующее температуре межфазной поверхности Ts , а $P\infty$ – давление натекающего аргона. Чему равно отношение температуры пара вдали от границы раздела фаз $T\infty$ к Ts? Для какого отношения давлений $P\infty/Ps$ возможно поддержание заданного числа Маха $M\infty = 0.65$ при $\beta = 0.9$ и $\beta = 0.8$?
10.На межфазную поверхность, поддерживаемую при постоянной температуре Ts , натекает поток газообразного аргона со скоростью, соответствующей числу Маха $M\infty = 0.7$, в режиме одномерной стационарной десублимации. При коэффициенте конденсации $\beta = 1$ отношение $P\infty/Ps = 5.0$, где Ps – давление насыщения, соответствующее температуре межфазной поверхности Ts , а $P\infty$ – давление натекающего аргона. Чему равно отношение температуры пара вдали от границы раздела фаз $T\infty$ к Ts? Для какого отношения давлений $P\infty/Ps$ возможно поддержание заданного числа Маха $M\infty = 0.7$ при $\beta = 0.93$ и $\beta = 0.85$?

Материалы для проверки остаточных знаний

1.Сколько термических сопротивлений возникает в общем случае при конденсации парогазовой смеси на охлаждаемой стенке теплообменника-конденсатора.

Ответы:
1. 3
2. 5
3. 6

Верный ответ: 3. 6

2.Сколько газодинамических величин надо задать для того, чтобы описать процесс одномерного стационарного испарения однокомпонентного вещества в полубесконечное пространство для досверхзвуковых скоростей?

Ответы:
1. 1
2. 2
3. 3

Верный ответ: 1. 1

3.Сколько газодинамических величин надо задать для описания одномерной стационарной конденсации однокомпонентного вещества из полубесконечного пространства для дозвуковых скоростей ?

Ответы:
1. 1
2. 2
3. 3

Верный ответ: 2. 2

4.Сколько газодинамических величин надо задать для описания одномерной стационарной конденсации однокомпонентного вещества из полубесконечного пространства для сверхзвуковых скоростей?

Ответы:
1. 1
2. 2
3. 3

Верный ответ: 3. 3

5.Из решения какого уравнения сохранения можно получить распределение плотности пара по координате при его одномерном стационарном натекании на конденсирующую поверхность через парогазовую среду?

Ответы:
1. Уравнения движения
2. Уравнения сохранения массы компонента
3. Уравнения сохранения массы смеси

Верный ответ: 2. Уравнения сохранения массы компонента

6.Перечислите параметры, определяющие степень неравновесности процессов переноса вблизи межфазных поверхностей.

Ответы:
1. Число Кнудсена
2. Число Кнудсена, отношение тепловых потоков
3. Число Кнудсена, отношение тепловых потоков, отношение характерных перепадов давления

Верный ответ: 3. Число Кнудсена, отношение тепловых потоков, отношение характерных перепадов давления

7.Как изменяется по нормальной к межфазной поверхности координате полная энтальпия пара и его скорость при одномерном стационарном испарении и конденсации?

Ответы:
1. Не изменяется
2. Линейно растет
3. Уменьшается обратно пропорционально второй степени расстояния

Верный ответ: 1. Не изменяется

8.От чего зависит плотность теплового потока при переносе теплоты через плоский слой газа в свободномолекулярном пределе?

Ответы:
1. От давления
2. От температур поверхностей
3. От температур поверхностей и давления

Верный ответ: 3. От температур поверхностей и давления

9.Какие методы решения кинетического уравнения Больцмана Вам известны?

Ответы:
1. Моментный, ПЧР, ПСМ, решение модельных уравнений, разложения по малому параметру
2. ПСМ
3.Интегральные

Верный ответ: 1. Моментный, ПЧР, ПСМ, решение модельных уравнений, разложения по малому параметру

10.Как изображаются в пространстве: относительная температура, плотность, число Маха равновесие, испарение, дозвуковая конденсация?

Ответы:

1. Испарение - поверхностью
2. Равновесие – точкой, испарение – линией, д/з конденсация - поверхностью
3.Конденсация - линией

Верный ответ: 2. Равновесие – точкой, испарение – линией, д/з конденсация - поверхностью

11.При каких условиях в режиме сверхзвуковой конденсации вблизи межфазной поверхности формируется скачок уплотнений?

Ответы:

1. При достижении минимально возможного отношения давлений $P\infty/PS$
2. При достижении максимально возможного отношения давлений $P\infty/PS$
3. При $T\infty > TS$

Верный ответ: 1. При достижении минимально возможного отношения давлений P∞/PS

12.Как зависит предельное значение коэффициента конденсации от величины числа Маха конденсируемого чистого пара.

Ответы:

1. Прямо пропорционально
2. Обратно пропорционально нелинейно
3.Обратно пропорционально линейно

Верный ответ: 2. Обратно пропорционально нелинейно

13.Чем отличаются экспериментальные зависимости плотности потока массы от разности температур пара и межфазной поверхности при конденсации паров металлов для относительно малых и больших чисел Маха?

Ответы:

1. Характером зависимостей и значениями плотностей потоков массы
2. Принципиально ничем.
3. Величинами плотностей потоков массы

Верный ответ: 1. Характером зависимостей и значениями плотностей потоков массы

14.Как связана интенсивность конденсации при криовакуумной откачке с температурой границы раздела фаз?

Ответы:

1. С ростом температурой границы раздела фаз интенсивность увеличивается
2. С ростом температурой границы раздела фаз интенсивность уменьшается линейно
3. С ростом температурой границы раздела фаз интенсивность уменьшается нелинейно

Верный ответ: 3. С ростом температурой границы раздела фаз интенсивность уменьшается нелинейно

15.Чем определяется интенсивность сонолюминесценции? При каком содержании неконденсируемого газа внутри схлопывающегося пузырька она максимальна?

Ответы:

1. Давлением пара и газа. При минимальном (желательно нулевом) содержании неконденсируемого газа
2. Давлением газа.
3. Давлением пара. При максимальном содержании неконденсируемого газа

Верный ответ: 1. Давлением пара и газа. При минимальном (желательно нулевом) содержании неконденсируемого газа

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70
Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4
Нижний порог выполнения задания в процентах: 60
Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3
Нижний порог выполнения задания в процентах: 50
Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу