

**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: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Динамика многофазных систем**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

| | | |
|--|--|------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Глазков В.В. |
| | Идентификатор | R43380c76-GlazkovVV-e4c0a72f |

(подпись)

В.В. Глазков

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

| | | |
|--|--|-----------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Яньков Г.Г. |
| | Идентификатор | Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc |

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

| | | |
|--|--|-------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Герасимов Д.Н. |
| | Идентификатор | Ra5495398-GerasimovDN-6b58615 |

(подпись)

Д.Н.
Герасимов

(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, используемые в атомной энергетике

ИД-1 Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Защита расчетного задания № 1, 2: Форма капли на горизонтальной пластине; Частота отрыва и размер пузыря на центре парообразования (Контрольная работа)
2. Защита расчетного задания № 3, 4: Форма поверхности жидкости в топливном баке на околоземной орбите; Параметры неустойчивости в эксперименте Льюиса (Контрольная работа)
3. Защита расчетного задания № 5, 6: Параметры стекающих ламинарных и турбулентных пленок; Скорость всплытия пузырей во флотаторе. (Контрольная работа)
4. Защита расчетного задания № 7, 8: Изменение параметров в жидкости в окрестности коллапсирующего пузыря; Расчет двухтрубного котла с естественной циркуляцией. (Контрольная работа)

БРС дисциплины

2 семестр

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % | | | | |
|---|---------------------------------|------|------|------|------|
| | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
| | Срок КМ: | 3 | 6 | 12 | 16 |
| Содержание и области рационального применения различных моделей двухфазных систем. | | | | | |
| 1 Метод контрольной ячейки, модель раздельного течения, модель взаимопроникающих континуумов, гомогенная модель. 2 Уравнения сохранения для двухфазных сред. 3 Универсальные условия совместности. Специальные условия совместности в задачах тепломассообмена. | + | | | | |
| Гидростатика газожидкостных систем | | | | | |
| 1 Уравнение гидростатического равновесия. Смачиваемость, краевой угол. Формула Лапласа. Высота подъема жидкости в капиллярах. 2 Осесимметричные равновесные поверхности раздела: особенности математического описания задач с положительными и отрицательными перегрузками, | + | | | | |

| | | | | |
|--|----|----|----|----|
| качественный анализ типовых прикладных задач. 3 Результаты численного решения уравнения гидростатического равновесия; максимальные участки устойчивости равновесных поверхностей раздела. Условия отрыва капель и пузырьков с плоской поверхности и со среза капилляра в гидростатическом приближении | | | | |
| Волны малой амплитуды на поверхности жидкости | | | | |
| 1 Классические задачи о гидродинамической устойчивости плоской границы раздела фаз. 2 Неустойчивость Гельмгольца. Неустойчивость Тейлора. 3 Приложения задач об устойчивости в теории теплообмена. | | + | | |
| Движение дискретной частицы в сплошной среде | | | | |
| 1 Классические задачи о движении сферы в идеальной жидкости. Присоединенная масса. 2 Стокса об обтекании сферы вязкой жидкостью. 3 Качественные закономерности движения газовых пузырьков в жидкости, скорость всплытия при характерных режимах обтекания. 4 Движение капель в потоке газа; скорость витания; условия дробления. Капли и пузырьки в турбулентных потоках несущей фазы. | | + | | |
| Общие закономерности стекания гравитационных пленок. | | | | |
| 1 Классические задачи о движении сферы в идеальной жидкости. Присоединенная масса. 2 Стокса об обтекании сферы вязкой жидкостью. 3 Качественные закономерности движения газовых пузырьков в жидкости, скорость всплытия при характерных режимах обтекания. 4 Движение капель в потоке газа; скорость витания; условия дробления. Капли и пузырьки в турбулентных потоках несущей фазы. | + | | + | |
| Динамика неустановившегося движения паровых пузырей в жидкости | | | | |
| 1 Уравнение Рэлея. Поле давлений в жидкости. Кавитационное схлопывание газовой полости. 2 Рост парового пузыря в объеме жидкости: анализ предельных схем, формула Плессета-Цвика, решение Скривена; аналитическое решение для области низких давлений. 3 Условие отрыва паровых пузырей от твердой стенки. | | | + | |
| Количественные характеристики двухфазных потоков в каналах. | | | | |
| Расходные и «истинные» паросодержания, скорости и плотности. Структура (режимы течения) двухфазных потоков; карты режимов течения; методы расчета границ режимов. 2 Одномерные уравнения сохранения для двухфазных потоков в каналах. | | | + | + |
| Расчет осредненных истинных параметров в потоках квазигомогенной структуры | | | | |
| 1 Гомогенная модель для расчета сопротивления. Модели кольцевых двухфазных течений. 2 Изменение структуры и закономерностей теплообмена по длине парогенерирующего канала. Кризисы кипения жидкостей при течении в трубах. | | | | + |
| Вес КМ: | 15 | 20 | 30 | 35 |

§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-1 _{ПК-1} Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок | <p>Знать:</p> <p>результаты экспериментальных и численных исследований процессов гидродинамики при течении многофазных потоков в каналах.</p> <p>– принцип действия и устройство основных приборов и установок, применяемых для определения параметров многофазных потоков;</p> <p>– методы расчета и расчетные соотношения для основных параметров, характеризующих течение и теплообмен многофазных потоков в энергетических устройствах;</p> <p>– методы решения задач динамики многофазных систем;</p> <p>– области рационального</p> | <p>Защита расчетного задания № 1, 2: Форма капли на горизонтальной пластине; Частота отрыва и размер пузыря на центре парообразования (Контрольная работа)</p> <p>Защита расчетного задания № 3, 4: Форма поверхности жидкости в топливном баке на околоземной орбите; Параметры неустойчивости в эксперименте Льюиса (Контрольная работа)</p> <p>Защита расчетного задания № 5, 6: Параметры стекающих ламинарных и турбулентных пленок; Скорость всплытия пузырей во флотаторе. (Контрольная работа)</p> <p>Защита расчетного задания № 7, 8: Изменение параметров в жидкости в окрестности коллапсирующего пузыря; Расчет двухтрубного котла с естественной циркуляцией. (Контрольная работа)</p> |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | <p>применения и системы уравнений, решаемых для различных моделей двухфазных систем;</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> -участвовать в проведении теплофизических экспериментов по изучению процессов гидродинамики многофазных потоков. -осуществлять поиск и анализировать научную и научно-техническую информацию в текущей научной периодике и в Интернет; -использовать стандартные программы для численного моделирования процессов кипения и динамики многофазных потоков. – самостоятельно выбирать адекватную задаче методику расчета типовых процессов тепло и массообмена с участием многофазных потоков, определять гидродинамические режимы течения многофазных потоков в элементах теплообменных | |
|--|--|--|--|

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | устройств; – составлять математическое описание процессов движения и взаимодействия многофазных сред применительно к типовым конструкциям и режимам работы энергетического и теплообменного оборудования. | |
|--|--|---|--|

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Защита расчетного задания № 1, 2: Форма капли на горизонтальной пластине; Частота отрыва и размер пузыря на центре парообразования

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в виде письменной работы в учебной аудитории

Краткое содержание задания:

– выполнение и защита расчетного задания: №1: Форма капли на горизонтальной пластине

Контрольные вопросы/задания:

| | |
|---|--|
| Знать: – методы расчета и расчетные соотношения для основных параметров, характеризующих течение и теплообмен многофазных потоков в энергетических устройствах; | 1. Какими уравнениями описывается форма капли на горизонтальной поверхности? |
| Знать: результаты экспериментальных и численных исследований процессов гидродинамики при течении многофазных потоков в каналах. | 1. Основное уравнение гидростатического равновесия, его безразмерная форма. |
| Уметь: -использовать стандартные программы для численного моделирования процессов кипения и динамики многофазных потоков. | 1. Как решается основное уравнение гидростатики в случае капли, находящейся на горизонтальной поверхности? |
| Уметь: – составлять математическое описание процессов движения и взаимодействия многофазных сред применительно к типовым конструкциям и режимам работы энергетического и теплообменного оборудования. | 1. Универсальные условия совместности на межфазных границах |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильной методики решения основного уравнения гидростатики и правильное численное значение

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильной методики решения основного уравнения гидростатики и ошибки в численном решении численное значение

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 30

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильной методики решения основного уравнения гидростатики

КМ-2. Защита расчетного задания № 3, 4: Форма поверхности жидкости в топливном баке на околоземной орбите; Параметры неустойчивости в эксперименте Льюиса

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в виде письменной работы в учебной аудитории.

Краткое содержание задания:

Выполнение и защита расчетного задания №2: Частота отрыва и размер пузыря на центре парообразования;

Контрольные вопросы/задания:

| | |
|--|--|
| Знать: – методы решения задач динамики многофазных систем; | 1.Каковы основные механизмы роста и отрыва паровых пузырей на центрах парообразования? |
| Уметь: -осуществлять поиск и анализировать научную и научно-техническую информацию в текущей научной периодике и в Интернет; | 1.Как производится расчет отрывных параметров пузыря при квазистатическом характере его роста? |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильной методики, по которой производится расчет отрывных параметров пузыря при квазистатическом характере его роста, и получение правильных численных значений параметров отрывного пузыря.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильной методики, по которой производится расчет отрывных параметров пузыря при квазистатическом характере его роста, и незначительные ошибки при получении численных значений параметров отрывного пузыря.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 30

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильной методики, по которой производится расчет отрывных параметров пузыря при квазистатическом характере его роста.

КМ-3. Защита расчетного задания № 5, 6: Параметры стекающих ламинарных и турбулентных пленок; Скорость всплытия пузырей во флотаторе.

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в виде письменной работы в учебной аудитории

Краткое содержание задания:

По известным зависимостям определяются параметры стекающих ламинарных и турбулентных пленок; определяется скорость всплытия пузырей во флотаторе;.

Контрольные вопросы/задания:

| | |
|---|--|
| Знать: – области рационального применения и системы уравнений, решаемых для различных моделей двухфазных систем; | 1. Пределы применимости формулы Стокса для пузырей. |
| Уметь: -участвовать в проведении теплофизических экспериментов по изучению процессов гидродинамики многофазных потоков. | 1. Определить установившуюся скорость всплытия пузырька диаметром 10 мкм в воде. |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильных теоретических зависимостей для скорости всплытия (установившейся и неустановившейся) твердых частиц и пузырей. Получение верных значений скорости всплытия как для дискретных частиц, так и для пузырей.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильных теоретических зависимостей для скорости всплытия (установившейся и неустановившейся) твердых частиц и пузырей. Получение верного численного значения скорости всплытия для дискретных частиц или для пузырей.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 30

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильных теоретических зависимостей для скорости всплытия (установившейся и неустановившейся) твердых частиц и пузырей.

КМ-4. Защита расчетного задания № 7, 8: Изменение параметров в жидкости в окрестности коллапсирующего пузыря; Расчет двухтрубного котла с естественной циркуляцией.

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 35

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменном виде в учебной аудитории

Краткое содержание задания:

Расчет параметров в жидкости в окрестности коллапсирующего пузыря; Расчет двухтрубного котла с естественной циркуляцией.

Контрольные вопросы/задания:

| | |
|--|--|
| Знать: – принцип действия и устройство основных приборов и установок, применяемых для определения параметров многофазных потоков; | 1. При каких условиях в движущейся жидкости возникают кавитационные пузыри? |
| Уметь: – самостоятельно выбирать адекватную задаче методику расчета типовых процессов тепло и массообмена с участием многофазных потоков, определять гидродинамические режимы течения многофазных потоков в элементах теплообменных устройств; | 1. Определить максимальный рост давления в окрестности коллапсирующего пузырька при изменении его радиуса в 10 раз при давлении в пузырьке на 0.1 атм. меньше, чем в окружающей среде. |

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильных зависимостей для расчета параметров в жидкости в окрестности коллапсирующего пузыря и расчета двухтрубного котла с естественной циркуляцией. Получение правильных численных результатов.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильных зависимостей для расчета параметров в жидкости в окрестности коллапсирующего пузыря и расчета двухтрубного котла с естественной циркуляцией. Получение правильных численных результатов хотя бы для одного из случаев.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 30

Описание характеристики выполнения знания: Выбор правильных зависимостей для расчета параметров в жидкости в окрестности коллапсирующего пузыря и расчета двухтрубного котла с естественной циркуляцией.

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Основное уравнение гидростатического равновесия.
2. Пределы применимости формулы Стокса для пузырьков.
3. Задача. Определить установившуюся скорость всплытия пузырька воздуха диаметром 100 мкм в воде.

Процедура проведения

Экзамен проводится в учебной аудитории. Студенты получают билет с двумя теоретическими вопросами и задачей. Время подготовки ответа - 90 минут.

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-1} Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок

Вопросы, задания

1. Экзаменационные вопросы по курсу ДМС

1. Система дифференциальных уравнений сохранения для континуума.
2. Устойчивость течения ламинарных гравитационных пленок.
3. Универсальные условия совместности на межфазных границах.
4. Поступательное установившееся движение сферы в идеальной жидкости, потенциал скорости, парадокс Даламбера.
5. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена.
6. Задача Стокса о движении сферы в вязкой жидкости.
7. Модели газожидкостных систем.
8. Движение сферической капли (пузырька) в жидкости при $Re \ll 1$.
9. Термодинамические характеристики поверхности раздела фаз. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение.
10. Турбулентные гравитационные пленочные течения.
11. Формула Лапласа (вывод).
12. Использование методов решения задач о течении жидкости со свободной поверхностью для анализа всплытия крупных газовых пузырей.
13. Условия смачиваемости жидкостью твердой поверхности.
14. Качественный анализ поведения газовых пузырей в потоке жидкости.
15. Основное уравнение гидростатического равновесия, его безразмерная форма.
16. Капли в потоке газа: скорость свободного падения, условия дробления.
17. Свободная поверхность жидкости в сосудах, высота подъема жидкости в капиллярах.
18. Использование теории подобия для анализа движения газовых пузырьков в жидкости.
19. Типичные формы осесимметричных поверхностей раздела, качественный анализ уравнения гидростатического равновесия для осесимметричных задач.

20. Одномерное уравнение импульса для кольцевых двухфазных потоков, трение по межфазной границе, расчет основных параметров течения.
21. Методы анализа уравнения гидростатического равновесия для осесимметричных поверхностей раздела. Результаты анализа для положительных перегрузок.
22. Качественный анализ закономерностей всплытия газовых пузырьков в спокойной жидкости.
23. Методы анализа уравнения гидростатического равновесия для осесимметричных поверхностей раздела. Результаты для отрицательных перегрузок.
24. Структура (режимы течения) двухфазных потоков в горизонтальных и вертикальных каналах.
25. Приближенные аналитические методы решения задач гидростатики для осесимметричных поверхностей.
26. Предельное значение критического теплового потока при течении недогретой жидкости в каналах.
27. Общая характеристика волновых движений поверхности раздела; содержание задачи об устойчивости границы раздела (линейное приближение).
28. Механизм и скорость кавитационного схлопывания сферической газовой полости. Поле давлений в жидкости при кавитации.
29. Постановка задачи, уравнения сохранения и условия совместности при анализе устойчивости горизонтальной поверхности раздела идеальных жидкостей.
30. Образование и отрыв газовых (паровых) пузырей от твердой поверхности. Квазистатический и инерционный механизмы отрыва.
31. Решение задачи об устойчивости горизонтальной поверхности раздела идеальных жидкостей.
32. Количественные характеристики парожидкостных потоков в каналах.
33. Волны на границе неподвижных фаз в устойчивой системе (дисперсионное уравнение, фазовая скорость).
34. Одномерные уравнения сохранения импульса и энергии для двухфазных потоков.
35. Неустойчивость Тейлора.
36. Истинное объемное паросодержание в потоках квазигомогенной структуры ("параметр распределения", учет локального скольжения фаз).
37. Неустойчивость Гельмгольца.
38. Эмпирические методы расчета двухфазных потоков (методика Мартинелли).
39. Содержание гидродинамической теории кризисов кипения жидкости на горизонтальной поверхности нагрева.
40. Модель кольцевого двухфазного течения.
41. Влияние трения со стороны потока газа на течение ламинарных пленок, "захлебывание".
42. Определение сечения начала кипения в парогенерирующем канале.
43. Гравитационное ламинарное течение жидкой пленки.
44. Изменение структуры парожидкостного потока по длине обогреваемого канала.
45. Ускоренное движение сферы в идеальной жидкости, присоединенная масса.
46. Расчет границ перехода различных структур двухфазных потоков.
47. Уравнение Релея для осесимметричного движения жидкости при расширении (схлопывании) газовой полости. Механизм кавитации, скорость кавитационного схлопывания.
48. Гомогенная модель для расчета гидравлического сопротивления трения в двухфазных потоках.

Материалы для проверки остаточных знаний

1.

1. Система дифференциальных уравнений сохранения для континуума.
2. Устойчивость течения ламинарных гравитационных пленок.
3. Универсальные условия совместности на межфазных границах.
4. Поступательное установившееся движение сферы в идеальной жидкости, потенциал скорости, парадокс Даламбера.
5. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена.
6. Задача Стокса о движении сферы в вязкой жидкости.
7. Модели газожидкостных систем.
8. Движение сферической капли (пузырька) в жидкости при $Re \ll 1$.
9. Термодинамические характеристики поверхности раздела фаз. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение.
10. Турбулентные гравитационные пленочные течения.
11. Формула Лапласа (вывод).
12. Использование методов решения задач о течении жидкости со свободной поверхностью для анализа всплытия крупных газовых пузырей.
13. Условия смачиваемости жидкостью твердой поверхности.
14. Качественный анализ поведения газовых пузырей в потоке жидкости.
15. Основное уравнение гидростатического равновесия, его безразмерная форма.
16. Капли в потоке газа: скорость свободного падения, условия дробления.
17. Свободная поверхность жидкости в сосудах, высота подъема жидкости в капиллярах.
18. Использование теории подобия для анализа движения газовых пузырьков в жидкости.
19. Типичные формы осесимметричных поверхностей раздела, качественный анализ уравнения гидростатического равновесия для осесимметричных задач.
20. Одномерное уравнение импульса для кольцевых двухфазных потоков, трение по межфазной границе, расчет основных параметров течения.

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Правильные и исчерпывающие ответы на два теоретических вопроса и правильный численный ответ при решении задачи.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: В целом правильные ответы на теоретические вопросы и правильный численный ответ в задаче.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 25

Описание характеристики выполнения знания: В целом правильный ответ хотя бы на один теоретический вопрос и незначительные ошибки при решении задачи.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка по курсу получается как среднее от оценки за успеваемость в семестре (вес 0.4) и оценки на экзамене (вес 0.6)