

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Одобрено на заседании

Ученого совета ИАТЭ

НИЯУ МИФИ

Протокол от 24.04.2023 №23.4

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

**Тепломассообмен в ядерных энергетических установках**

*название дисциплины*

для направления подготовки

**14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

*код и направления подготовки*

образовательная программа

**Монтаж, наладка и ремонт оборудования АЭС**

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2023 г.**

### **Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Тепломассообмен в ядерных энергетических установках» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

### **Цели и задачи фонда оценочных средств**

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Тепломассообмен в ядерных энергетических установках» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1. В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| <i>Код компетенций</i> | <i>Наименование компетенции</i>   | <i>Код и наименование индикатора достижения компетенции</i>  |
|------------------------|---|--|
| ПК-2                   | Способен к участию в проведении физического и численного эксперимента, к подготовке соответствующих экспериментальных стендов | З-ПК-2 Знать: методы проведения физического и численного эксперимента, и подготовки соответствующих экспериментальных стендов;<br>У-ПК-2 Уметь: проводить физический и численный эксперимент, подготовить соответствующие экспериментальные стенды;<br>В-ПК-2 Владеть: методами проведения физического и численного эксперимента и подготовки соответствующих экспериментальных стендов. |

### 1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП бакалавриата

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см. РПД).

### 1.3. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

| <b>№ п/п</b>                         | <b>Контролируемые разделы (темы) дисциплины</b> | <b>Индикатор достижения компетенции</b> | <b>Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации</b> |
|--------------------------------------|---|---|--|
| <b>Текущая аттестация, 6 семестр</b> |   |   |  |

|  |   |                        |  |
|--|---|------------------------|--|
| 1.   | Стационарная теплопроводность без внутренних источников тепла | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест  |
| 2.   | Стационарная теплопроводность с внутренним тепловыделением    | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест.                      |
| 3.   | Нестационарная теплопроводность                               | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест  |
| 4.   | Теория теплового подобия                                      | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест                       |
| 5.   | Теплообмен при вынужденной конвекции                          | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест. |
| 6.   | Теплообмен при свободной конвекции                            | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест  |
| <b>Промежуточная аттестация, 6 семестр</b> |   |                        |  |
|  | Зачет   | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Вопросы к зачету   |
| <b>Текущая аттестация, 7 семестр</b>       |   |                        |  |
| 1.   | Теплообмен при конденсации                                    | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест                       |
| 2.   | Теплообмен при кипении  | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест                       |
| 3.   | Теплообмен излучением   | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа,                    |
| 4.   | Основы расчета теплообменных аппаратов                        | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа,                    |
| <b>Промежуточная аттестация, 7 семестр</b> |   |                        |  |
|  | Экзамен   | 3-ПК-2; У-ПК-2; В-ПК-2 | Вопросы к экзамену   |

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

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

| Уровни   | Содержательное описание уровня  | Основные признаки выделения уровня   | БРС, % освоения | ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета |
|--|---|--|-----------------|--|
| <b>Высокий</b><br><i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>         | Творческая деятельность   | <i>Включает нижестоящий уровень.</i><br>Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий                 | 90-100          | A/<br>Отлично/<br>Зачтено                          |
| <b>Продвинутый</b><br><i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i> | Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы  | <i>Включает нижестоящий уровень.</i><br>Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения. | 85-89           | B/<br>Очень хорошо/<br>Зачтено                     |
|  |   |  | 75-84           | C/<br>Хорошо/<br>Зачтено                           |
| <b>Пороговый</b><br><i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>   | Репродуктивная деятельность   | Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.  | 65-74           | D/Удовлетворительно/<br>Зачтено                    |
|  |   |  | 60-64           | E/Посредственно<br>/Зачтено                        |
| <b>Ниже порогового</b>   | Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях. |  | 0-59            | Неудовлетворительно/<br>Незачтено                  |

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

| Уровень сформированности компетенции | Текущий контроль       | Промежуточная аттестация |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| высокий                              | <b>высокий</b>         | <b>высокий</b>           |
|                                      | <i>продвинутый</i>     | <i>высокий</i>           |
|                                      | <i>высокий</i>         | <i>продвинутый</i>       |
| продвинутый                          | <i>пороговый</i>       | <i>высокий</i>           |
|                                      | <i>высокий</i>         | <i>пороговый</i>         |
|                                      | <b>продвинутый</b>     | <b>продвинутый</b>       |
|                                      | <i>продвинутый</i>     | <i>пороговый</i>         |
|                                      | <i>пороговый</i>       | <i>продвинутый</i>       |
| пороговый                            | <b>пороговый</b>       | <b>пороговый</b>         |
| ниже порогового                      | <b>пороговый</b>       | <b>ниже порогового</b>   |
|                                      | <b>ниже порогового</b> | -                        |

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

– Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

– Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.

– Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

– Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:

○ контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.

○ контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

– Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

| Этап рейтинговой системы /<br>Оценочное средство | Неделя       | Балл                         |            |
|--|--------------|------------------------------|------------|
|  |              | Минимум*                     | Максимум** |
| <b>Текущая аттестация</b>                        | <b>1-16</b>  | <b>36 - 60% от максимума</b> | <b>60</b>  |
| <b>Контрольная точка № 1</b>                     | <b>7-8</b>   | <b>18 (60% от 30)</b>        | <b>30</b>  |
| Коллоквиум                                       | 8            | 18                           | 30         |
| <b>Контрольная точка № 2</b>                     | <b>15-16</b> | <b>18 (60% от 30)</b>        | <b>30</b>  |
| Индивидуальное домашнее задание                  | 15           | 18                           | 30         |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                  | <b>-</b>     | <b>24 – (60% 40)</b>         | <b>40</b>  |
| Зачет  | -            |                              |            |
| <i>Вопрос 1</i>                                  | -            | 12                           | 20         |

|                            |   |           |            |
|----------------------------|---|-----------|------------|
| <i>Вопрос 2</i>            | - | 12        | 20         |
| <b>ИТОГО по дисциплине</b> |   | <b>60</b> | <b>100</b> |

| Этап рейтинговой системы /<br>Оценочное средство | Неделя       | Балл                             |            |
|--|--------------|----------------------------------|------------|
|  |              | Минимум*                         | Максимум** |
| <b>Текущая аттестация</b>                        | <b>1-16</b>  | <b>36 - 60% от<br/>максимума</b> | <b>60</b>  |
| <b>Контрольная точка № 1</b>                     | <b>7-8</b>   | <b>18 (60% от 30)</b>            | <b>30</b>  |
| Компьютерное тестирование                        | 8            | 18                               | 30         |
| <b>Контрольная точка № 2</b>                     | <b>15-16</b> | <b>18 (60% от 30)</b>            | <b>30</b>  |
| Лабораторные работы                              | 15           | 18                               | 30         |
| <b>Промежуточная аттестация</b>                  | <b>-</b>     | <b>24 – (60% 40)</b>             | <b>40</b>  |
| Экзамен  | -            |                                  |            |
| <i>Вопрос 1</i>                                  | -            | 12                               | 20         |
| <i>Вопрос 2</i>                                  | -            | 12                               | 20         |
| <b>ИТОГО по дисциплине</b>                       |              | <b>60</b>                        | <b>100</b> |

\* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

**4.Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков**

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки **14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»**

Образовательная программа **«Монтаж, наладка и ремонт оборудования АЭС»**

Дисциплина **Тепломассообмен в ядерных энергетических установках**

**ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ**

Тема: Теплопроводность

- T1. Как направлен градиент температуры по отношению к изотермической поверхности?
- T2. Размерность коэффициента теплопроводности...
- T3. Плотность теплового потока на поверхности в стационарных условиях равна...
- T4. Размерность коэффициента температуропроводности...
- T5. Минус в записи закона теплопроводности Фурье означает, что
- T6. Закон теплопроводности Фурье вытекает из...
- T7. Какая скорость распространения тепла предполагается в гипотезе Фурье?
- T8. Влияет ли теплоемкость тела на процесс теплопроводности в твердом теле при стационарных условиях?
- T9. Верно ли, что размерности плотности теплового потока и объемной мощности внутренних источников тепла совпадают?
- T10. Верно ли, что объемная мощность источников тепла равна дивергенции потока тепла?
- T11. Верно ли, что перепад температур и термическое сопротивление плоской стенки прямо пропорциональны?
- T12. Термическое сопротивление цилиндрической стенки ( $d_2 > d_1$ ) ...
- T13. Термическое сопротивление плоской стенки ...
- T14. Термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными стенкой...
- T15. Если критический диаметр тепловой изоляции больше наружного диаметра цилиндрической стенки, то увеличение толщины тепловой изоляции неизменной температуре воздуха приведет к ...
- T16. При выборе материала для тепловой изоляции цилиндрической трубы соотношение между критическим диаметром тепловой изоляции  $d_{кр}$  и внешним диаметром трубы  $d_2$ ...
- T17. Критический диаметр тепловой изоляции рассчитывается, исходя из...
- T18. Зависит ли результат решения дифференциального уравнения теплопроводности от рода граничных условий?
- T19. Возможны ли граничные условия I рода на поверхности шара?
- T20. Теплообмен между кипящей водой и воздухом будет более эффективным, если сделать ребрение со стороны...
- T21. Верно ли, что коэффициент теплопроводности ребер на поверхности теплоотдающей стенки должен быть как можно меньше?
- T22. Распределение температуры в цилиндрическом топливном стержне при равномерном распределении внутренних источников тепла подчиняется...



- T23.** Можно ли получить безразмерные формулы для расчета поля температуры при охлаждении тела из формул для нагрева тела, если изменить знак?
- T24.** В цилиндрическом топливном стержне максимум температуры находится на оси. Как изменится положение максимума температуры, если на части периметра теплообмен ухудшится?
- T25.** Распределение температуры в трехслойной плоской стенке показано на рисунке. Как соотносятся коэффициенты теплопроводности используемых материалов, если толщины слоев одинаковы?
- T26.** Какое физическое свойство тела можно измерить с помощью регулярного режима?
- T27.** Какова размерность темпа охлаждения?
- T28.** Три тела: пластина толщиной  $2D$ , цилиндр и шар радиуса  $R$  ( $D=R$ ), выполненные из одного материала и имеющие одинаковую начальную температуру охлаждаются в среде с постоянной температурой. Какое из тел будет охлаждаться быстрее?
- T29.** Расположите материалы: нержавеющая сталь, двуокись урана, воздух, алюминий, сталь 20, асбест, ртуть по мере возрастания коэффициента теплопроводности (температура  $\sim 20^\circ\text{C}$ )
- T30.** Каково направление градиента температуры по отношению к изотермической поверхности? Могут ли изотермические поверхности быть замкнутыми?
- T31.** Если критический диаметр тепловой цилиндрической стенки больше ее наружного диаметра, то как будет меняться тепловой поток через стенку при увеличении толщины тепловой изоляции? Температура окружающего воздуха остается постоянной.
- T32.** В теплообменнике тепло передается от кипящей воды к воздуху через твердую стенку. Для увеличения интенсивности теплообмена предложено сделать оребрение. Оребрение стенки с какой стороны будет эффективнее?
- T33.** Твэл представляется собой цилиндрического топливную таблетку, заключенную в оболочку из нержавеющей стали. Как изменится температура в центре твэла, если на некоторой части периметра контакт между топливом и оболочкой нарушится?
- T34.** Может ли термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными твердой стенкой быть больше термического сопротивления твердой стенки?
- T35.** Интенсивность охлаждения плоского твэла одинакова с обеих сторон. Как изменится температура одной поверхности твэла, если с противоположной стороны теплообмен ухудшится?
- T36.** В плоской стенке при  $q=\text{const}$  распределение температуры подчиняется линейному закону, если коэффициент теплопроводности стенки не зависит от температуры ( $\lambda=\text{const}$ ). Как изменится распределение температуры в стенке, если  $\lambda=a+bt$  ( $a, b$  – положительные величины).
- T37.** В цилиндрическом твэле максимум температуры находится на оси. Как изменится положение максимума, если на части периметра теплообмен ухудшится?
- T38.** Плоский твэл омывается с двух сторон теплоносителями с разными температурами  $t_1$  и  $t_2 > t_1$ . Как изменится распределение температуры в твэле, если внутреннее тепловыделение  $q_v$  увеличится?
- T39.** Как связаны перепады температур и термические сопротивления каждого слоя в многослойной плоской стенке?
- T40.** Плоская стенка состоит из трех слоев одинаковой толщины, но изготовленных из разных материалов: изолятор, металл, изолятор. Каково распределение температуры в такой стенке?
- T41.** Твэл состоит из топливной таблетки и оболочки, отделенной от таблетки слоем инертного газа. Наружная поверхность твэла омывается водой. Как изменится распределение температуры внутри твэла, если скорость течения воды увеличится?
- T42.** Твэл состоит из топливной таблетки и оболочки, отделенной от таблетки слоем инертного газа. Наружная поверхность твэла омывается водой. Как изменится распределение температуры внутри твэла, если внутреннее тепловыделение  $q_v$  увеличится?
- T43.** При каких числах Фурье реализуется регулярный режим охлаждения?
- T44.** Можно ли, пользуясь диаграммами вида  $\Theta = \Phi(Fo, Bi)$  для цилиндра, определить температуру в любой точке цилиндра?

- T45.** Можно ли определить значение температуры в любой точке твердого тела в любой момент времени из дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности?
- T46.** Зависит ли от рода граничных условий результат решения дифференциального уравнения теплопроводности для тел одинаковой формы?
- T47.** Как рассчитать теплопроводность материала, пользуясь методом регулярного режима?
- T48.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi > 100$ ?
- T49.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi \sim 1$ ?
- T50.** Какие физические свойства среды содержат безразмерные числа Био и Фурье?
- T51.** Безразмерные критерии Био и Нуссельта записываются одинаково  $(\alpha d)/\lambda$ . Чем же они отличаются и каков их физический смысл?
- T52.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi < 0,1$ ?
- T53.** Верно ли утверждение, что темп охлаждения тела не зависит от его линейных размеров? Если верно, то отчего зависит темп охлаждения тела?
- T54.** Можно ли получить безразмерные формулы для расчета поля температуры при охлаждении тела из формул, полученных для случая нагрева тела, просто изменив знак?
- T55.** Три пластины из разных материалов: стали, дерева и кафельной плитки находятся при одной и той же температуре  $20^\circ\text{C}$ . Почему, касаясь каждой из пластин рукой, температура которой  $36^\circ\text{C}$ , человек ощущает в одних случаях холод, в других тепло?

Тема: Конвективный теплообмен в однофазной среде

- K1.** Размерность коэффициента теплообмена....
- K2.** Размерность коэффициента кинематической вязкости....
- K3.** Коэффициент объемного расширения газов...
- K4.** Верно ли, что процесс конвективного теплообмена полностью описывается (если не учитывать граничные условия) дифференциальными уравнениями: энергии, движения, неразрывности и числом Рейнольдса?
- K5.** Коэффициент теплообмена входит в дифференциальное уравнение энергии. Верно ли это?
- K6.** Могут ли быть одинаковыми условия однозначности при нестационарной теплопроводности твердого тела и при конвективном теплообмене?
- K7.** При приведении граничного условия III рода к безразмерному виду появляется безразмерное число...
- K8.** Число Рейнольдса появляется при приведении к безразмерному виду...
- K9.** Число Грасгофа появляется при приведении к безразмерному виду...
- K10.** Ускорение силы тяжести входит в безразмерное число ...
- K11.** Какие одинаковые величины содержатся в числах Пекле и Рейнольдса?
- K12.** Число Прандтля содержит...
- K13.** Могут ли законы движения и теплообмена для несжимаемой жидкости применимы к газам?
- K14.** С увеличением скорости при турбулентном течении в трубе коэффициент теплообмена и гидравлическое сопротивление возрастают. В каком соотношении?
- K15.** Как изменяется коэффициент теплообмена по длине пластины, обтекаемой ламинарным потоком газа, при условии  $q = \text{const}$ ?
- K16.** К теплоносителям с числами Прандтля существенно меньше единицы ( $Pr \ll 1$ ) относятся...
- K17.** Верно ли, что в жидких металлах толщина гидродинамического пограничного слоя значительно превышает толщину теплового пограничного слоя ...
- K18.** Тепловой и гидродинамический пограничные слои совпадают при числе Прандтля....
- K19.** Как изменяется коэффициент теплообмена вдоль вертикальной пластины, если  $t_w > t_f$ , а течение предполагается ламинарным?
- K20.** Теплообмен в плоских прослойках может рассчитываться по формулам для теплопроводности в плоской стенке при числе Рэлея...
- K21.** При каком режиме свободного течения около вертикальных поверхностей наступает автомодельный режим теплообмена?

- К22.** Какой определяющий размер берется при расчете коэффициента теплообмена около вертикального цилиндра?
- К23.** При расчете теплообмена свободной конвекцией горизонтального цилиндра определяющий размер есть...
- К24.** При расчете теплообмена в слое газа, заключенного между двумя одинаковыми вертикальными пластинами какой размер выбирается в качестве определяющего?
- К25.** Верно ли, что при уменьшенной силе тяжести (например, в космическом полете) свободное движение около нагретых поверхностей слабее по сравнению с земными условиями...
- К26.** Характер движения воздуха и воды на вертикальной трубе радиатора комнатного отопления.
- К27.** Подобны ли по виду распределения температуры и скорости при свободном ламинарном движении около вертикальной пластины?
- К28.** Какие числа подобия кроме  $Nu$  входят в безразмерные формулы для расчета коэффициента теплообмена при турбулентном течении жидких металлов, воды и газов в трубе?
- К29.** Как зависит коэффициент теплообмена от скорости при ламинарном течении вдали от входа в трубу?
- К30.** Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена, если направления свободного и вынужденного ламинарного течений совпадают.
- К31.** Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ( $Re > 10^4$ ) в трубе?
- К32.** Зависимость коэффициента теплообмена от скорости при турбулентном течении
- К33.** Зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса при турбулентном течении воды и газов
- К34.** Зависимость числа Нуссельта от числа Пекле при турбулентном течении жидких металлов
- К35.** Какое влияние оказывает направление теплового потока (нагрев или охлаждение) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ГАЗОВ (ВОДЫ)?
- К36.** Как влияют граничные условия ( $t = \text{Const}$  или  $q = \text{Const}$ ) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении воды, газов?
- К37.** Можно ли в расчетах коэффициента теплообмена при турбулентном течении в каналах некруглой формы применить безразмерные формулы, полученные для круглой трубы?
- К38.** При какой температуре выбираются теплофизические свойства теплоносителя для расчета теплообмена при турбулентном течении в каналах?
- К39.** Как влияют граничные условия ( $t = \text{Const}$  или  $q = \text{Const}$ ) на коэффициент теплообмена при ламинарном течении воды в круглой трубе?
- К40.** Одинаковы ли значения среднего и местного коэффициентов теплообмена за пределами участка термической стабилизации?
- К41.** Зависит ли коэффициент теплообмена при турбулентном течении в кольцевом канале от соотношения плотностей тепловых потоков на разных поверхностях?
- К42.** В каком соотношении находятся коэффициенты теплоотдачи в гладких ( $\alpha_T$ ) и шероховатых ( $\alpha_{ш}$ ) трубах при турбулентном течении?
- К43.** Гидравлический диаметр кольцевого канала  $d_2/d_1$  равен ...
- К44.** Что принимается за гидравлический диаметр при течении воздуха в канале, сечение которого представляет собой квадрат стороной « $a$ »
- К45.** Гидравлический диаметр канала прямоугольной формы со сторонами « $b$ » и « $d$ » равен
- К46.** При каком значении числа Релея ( $Ra$ ) свободное движение воздуха между двумя вертикальными пластинами отсутствует?
- К47.** Верно ли утверждение, что режим течения при свободном движении теплоносителя определяется по числу Грасгофа ( $Gr$ )?
- К48.** Как соотносятся коэффициенты теплообмена первого и третьего рядов при поперечном обтекании пучка труб
- К49.** Верно ли утверждение, что угол отрыва турбулентного пограничного слоя при поперечном обтекании цилиндра больше, чем угол, при котором происходит отрыв ламинарного пограничного слоя?

- К50.** Интеграл Лайона – решение для стабилизированного теплообмена при турбулентном течении жидкости в круглой трубе. Как, пользуясь интегралом Лайона, рассчитать коэффициент теплообмена при ламинарном течении жидкости в круглой трубе?
- К51.** Слой газа расположен между двумя пластинами, температуры которых  $t_1 > t_2$ . Рассчитанный коэффициент конвекции  $\varepsilon_k = 3,5$ . Во сколько раз количество тепла, переносимое в слое за счет конвекции больше количества тепла, переносимого только теплопроводностью?
- К52.** При исследовании теплообмена в режиме вынужденного течения воды в круглой трубе диаметр трубы увеличили в 5 раз. Как изменится коэффициент теплообмена, если скорость течения теплоносителя осталась той же?
- К53.** Из физических представлений стало ясно, что определяемая величина в соотношении зависит от 5 параметров: скорости  $W$ , плотности  $\rho$ , вязкости  $\mu$ , диаметра  $d$ , длины канала  $l$ . Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
- К54.** Как зависит длина пути смещения от расстояния от стенки в теории пограничного слоя Прандтля?
- К55.** Известно, что при вынужденном движении воды в круглой трубе диаметром 20 мм толщина ламинарного подслоя в пограничном слое составляет 0.5 мм. Каково значение числа Нуссельта?

#### Критерии и шкала оценивания

| Оценка                    | Критерии оценки   |
|---------------------------|---|
| Зачтено<br>24-40          | Выставляется при соответствии параметрам экзаменационной шкалы на уровнях «отлично», «хорошо», «удовлетворительно». |
| Не зачтено<br>23 и меньше | Выставляется при соответствии параметрам экзаменационной шкалы на уровне «неудовлетворительно».                     |

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Направление подготовки    | <b>14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»</b>                |
| Образовательная программа | <b>«Монтаж, наладка и ремонт оборудования АЭС»</b>                |
| Дисциплина                | <b><u>Тепломассообмен в ядерных энергетических установках</u></b> |

**ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ**

1. Вопросы, требующие подробного вывода
  - 1.1. Дифференциальное уравнение теплопроводности (вывод). Условия однозначности. Граничные условия 1, 2, 3 рода.
  - 1.2. Стационарное распределение температуры в плоской стенке без внутреннего тепловыделения при граничных условиях 3 рода (вывод).
  - 1.3. Стационарное распределение температуры в плоской стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
  - 1.4. Стационарное распределение температуры в сплошном цилиндре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 3 рода (вывод).
  - 1.5. Стационарное распределение температуры в цилиндрической стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
  - 1.6. Стационарное распределение температуры в шаре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
  - 1.7. Критический диаметр тепловой изоляции (вывод).
  - 1.8. Уравнение баланса тепла для элемента длины канала. Распределение температур в канале с тепловыделением (вывод).
  - 1.9. Стационарное распределение температуры и тепловой поток в процессе теплопередачи через плоскую цилиндрическую стенку (вывод). Термическое сопротивление.
  - 1.10. Стационарное распределение температуры и линейный тепловой поток в процессе теплопередачи через цилиндрическую стенку (вывод). Линейное термическое сопротивление.
  - 1.11. Изменение температуры во времени при охлаждении (нагревании) тела с бесконечно малым термическим сопротивлением (вывод).
  - 1.12. Средний логарифмический температурный напор в теплообменном аппарате (вывод).
2. Коэффициенты и критерии

- 2.1. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. Связь коэффициента теплообмена с толщиной теплового пограничного слоя.
  - 2.2. Коэффициент теплопередачи, его размерность и физический смысл.
  - 2.3. Термические сопротивления теплообмену и теплопередачи. Аналогия с законами электротехники.
  - 2.4. Критерий Био, его физический смысл. Температурное поле в пластине при разных значениях критерия Био ( $Bi \rightarrow 0$ ,  $Bi \rightarrow \infty$ ,  $Bi \sim 1$ ).
  - 2.5. Три класса теплоносителей в зависимости от значения числа Прандтля. Термическое сопротивление теплообмену и распределение температур в средах с различными числами Прандтля
  - 2.6. Критерии Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля и Нуссельта, определение этих критериев и физический смысл. Выбор определяющих размеров и определяющих температур.
  - 2.7. Чем отличаются механизмы теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах?
3. Конвективный теплообмен в однофазной среде
- 3.1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Запись условий однозначности.
  - 3.2. Каковы особенности теплообмена при продольном обтекании пучков стержней по сравнению с течением в круглой трубе? Вид расчетных зависимостей.
  - 3.3. Распределение температур в цилиндрическом твэле (с оболочкой и газовым зазором). Неравномерность температуры по периметру твэла в ТВС.
  - 3.4. Каковы особенности теплообмена в жидких металлах? К чему приводит наличие контактного термического сопротивления?
  - 3.5. Как рассчитывать коэффициент теплообмена при вынужденном течении жидкости в каналах?
  - 3.6. Какие факторы вызывают свободное движение? Как движется среда вдоль вертикальной поверхности при условиях свободной конвекции?
  - 3.7. Как осуществляется теплообмен при свободном движении среды в ограниченном пространстве (в прослойках)? Что такое эквивалентная теплопроводность?
  - 3.8. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Условия отрыва пограничного слоя. Изменение коэффициента теплообмена по окружности.
  - 3.9. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скорости и температуры по сечению канала.
  - 3.10. Изменение профилей скорости и температуры на гидродинамическом и тепловом начальном участке. Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев.
  - 3.11. Аналогия между теплообменом и переносом количества движения - аналогия Рейнольдса. Полуэмпирические теории турбулентности - модели Прандтля и Кармана.
4. Двухфазные потоки
- 4.1. Какие режимы течения двухфазных потоков реализуются в вертикальных и горизонтальных трубах?
  - 4.2. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Кризис теплообмена. Капиллярная постоянная.
  - 4.3. Кипение в большом объеме. Кривая кипения как зависимость плотности теплового потока от температурного напора. Влияние давления, шероховатости, отложений на поверхности на вид кривой кипения.

- 4.4. В чем состоят основные положения гидродинамической теории кризиса теплообмена Кутателадзе С.С.?
- 4.5. Какие факторы влияют на критический тепловой поток в каналах?
- 4.6. Как меняются температура жидкости, температура стенки, паросодержание (массовое, балансное, истинное) по длине парогенерирующего канала?
- 4.7. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная).
- 4.8. Как рассчитывать теплообмен при пузырьковом кипении воды в большом объеме?
- 4.9. Как рассчитать теплообмен при пленочной конденсации неподвижного сухого пара
- 4.10. Пленочная конденсация движущегося пара на вертикальной поверхности, влияние направления движения пара на коэффициент теплообмена.
5. Теплообмен излучением
- 5.1. Закон Стефана Больцмана для абсолютно черного и серого тел. Коэффициент излучения
- 5.2. Закон Стефана Больцмана для системы из двух тел, разделенных прозрачной средой. Приведенный коэффициент излучения.
- 5.3. Закон Планка теплового излучения абсолютно черного тела.
- 5.4. Закон Вина как частный случай закона Планка.
- 5.5. Закон Релея-Джинса как частный случай закона Планка.
- 5.6. Закон излучения Кирхгофа.
- 5.7. Теплообмен излучением между телами при наличии экранов.
6. Теплообмен в аппаратах
- 6.1. Какая схема движения теплоносителей в теплообменных аппаратах эффективнее: прямоток или противоток?
- 6.2. Как с помощью уравнений теплового баланса и теплопередачи рассчитать поверхность теплообменного аппарата?
- 6.3. Расчет среднего логарифмического напора в теплообменнике сложной схемы (относительно противотока).
- 6.4. Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах. Сравнение прямотока и противотока.
- 6.5. Распределение энерговыделения в активной зоне реактора. Коэффициенты неравномерности по радиусу, высоте, объему.
- 6.6. Расчет распределения температуры в топливной таблетке тепловыделяющего элемента. Учет зависимости теплопроводности топлива от температуры. Интегральная теплопроводность.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

15-20 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который :

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- полно раскрывает содержание теоретических вопросов билета;
- умеет увязать теорию и практику при решении задач.

8-14 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- Сделал все, что требуется для получения оценки «отлично», однако при этом допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

1-7 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;

- раскрывает содержание не всех теоретических вопросов
- не всегда умеет увязать теорию и практику при решении задач;
- выполнил одну из двух задач в индивидуальной работе.

0 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;
- не умеет решать задачи и не может разобраться в конкретной ситуации;
- не может успешно продолжать дальнейшее обучение в связи с недостаточным объемом знаний.

в) описание шкалы оценивания:

Максимальная сумма баллов семестровой аттестации (зачета) – 40 баллов.



**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Направление подготовки    | <b>14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»</b>                |
| Образовательная программа | <b>«Монтаж, наладка и ремонт оборудования АЭС»</b>                |
| Дисциплина                | <b><u>Тепломассообмен в ядерных энергетических установках</u></b> |

**КОМПЛЕКТ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

**1. Тема Стационарная теплопроводность без внутренних источников тепла**

Задача 1.1

**ДАНО:** Корпус экспериментальной установки толщиной 8 мм выполнен из нержавеющей стали. Снаружи корпус последовательно покрыли слоем стекловаты толщиной 50 мм, затем асбестовой тканью толщиной 5 мм и алюминиевой фольгой толщиной 1 мм. Температура внутренней поверхности стенки 120 °С, а внешней 30 °С. Для упрощения расчетов предлагается заменить многослойную стенку неким материалом, имеющим суммарную толщину слоев и обладающую эквивалентным коэффициентом теплопроводности так, чтобы перепад температуры в стенке остался тем же самым.

**НАЙТИ:** Эквивалентный коэффициент теплопроводности.

Задача 1.2

**ДАНО:** Для защиты от коррозии медную пластину (коэффициент теплопроводности 372 Вт/мК) толщиной 3 мм с обеих сторон покрыли двухмиллиметровыми слоями нержавеющей стали (коэффициент теплопроводности 17 Вт/мК). Температура одной боковой стороны такой многослойной стенки равна 500 °С, а другой 100 °С.

**НАЙТИ:** Тепловой поток, проходящий через стенку и распределение температуры в стенке. Как изменится тепловой поток и распределение температуры в стенке, если между медной и стальными пластинами с каждой из сторон появится воздушный зазор толщиной 0,5 мм? Графически изобразить распределение температуры в стенке для обоих случаев.

### Задача 1.3

**ДАНО:** Нагреватель экспериментальной установки мощностью 2 кВт, представляет собой нихромовый стержень диаметром 3мм, который вставлен коаксиально в трубку из нержавеющей стали 6х0,6 мм. Изолирующий зазор между нагревателем и трубкой заполнен окисью магния с пористостью 0,3. Перед работой в изолирующий слой был закачан гелий и нагреватель запаян. Измерения показали, что температура на внешней поверхности нагревателя равна 600 °С. Однако разгерметизация нагревателя привела к тому, что гелий в порах изолятора постепенно замещался воздухом. Коэффициенты теплопроводности окиси магния, гелия и воздуха равны 40; 0,323; 0,06 Вт/(мК).

**НАЙТИ:** Температуру на поверхности нихромового стержня в начале эксперимента, т.е. когда изолирующий слой заполнен гелием и в конце эксперимента, т.е. когда этот слой заполнен воздухом.

### Задача 1.4

**ДАНО:** На стенке холодильной камеры толщиной 1 мм вырос двухмиллиметровый слой льда. Стенка выполнена из нержавеющей стали, воздух в камере неподвижен, температура в камере поддерживается - 10 °С. Другая сторона камеры омывается потоком воздуха при температуре 15 °С. Теплота плавления льда 333,3 Дж/кг.

**НАЙТИ:** Значение коэффициента теплообмена между внешней стороной камеры и воздухом, при котором начнется плавление льда? Как нужно изменить (увеличить или уменьшить) коэффициент теплообмена, чтобы ускорить плавление?

### Задача 1.5

**ДАНО:** Стена здания высотой 4 м, длиной 12 м и шириной 20 см построена из слоев кирпича высотой 7 см, между которыми проложены слои раствора в 10 мм. Коэффициент теплообмена и температура воздуха со стороны помещения 12 Вт/м<sup>2</sup>К и 25°С, соответственно. С наружной стороны здания коэффициент теплообмена и температура воздуха 100 Вт/м<sup>2</sup>К и 0 °С, соответственно.

**НАЙТИ:** Потери тепла через стену и изобразить эквивалентную электрическую цепь.

### Задача 1.6

**ДАНО:** Алюминиевый сосуд с 1 литром воды помещен на газовую горелку. Воздействие пламени на дно сосуда ограничено площадкой 0,02 м<sup>2</sup>. Температура газов, касающихся дна сосуда равна 500 °С. Толщина дна сосуда 1 мм, коэффициент теплопроводности алюминия 160 Вт/мК. Коэффициенты теплообмена со стороны воды 5000 Вт/м<sup>2</sup>К и со стороны пламени 200 Вт/м<sup>2</sup>К.

**НАЙТИ:** Скорость роста температуры воды  $dt/d\tau$  при достижении температуры насыщения.

### Задача 1.7

**ДАНО:** Цилиндрическая стенка из нержавеющей стали (внутренний диаметр 100 мм, внешний диаметр 120 мм) покрыта слоем асбестового волокна толщиной 5 см, а затем слоем стеклоткани толщиной 0,5 см. На внутренней поверхности стенки температура 150 °С, а на внешней поверхности стеклоткани 50 °С. Для упрощения расчетов предлагается заменить многослойную цилиндрическую стенку одним слоем, толщина которого будет равна суммарной толщине упомянутых слоев, с эквивалентным коэффициентом теплопроводности.

**НАЙТИ:** Эквивалентный коэффициент теплопроводности.

**ДОПУЩЕНИЕ:** Тепло передается только в радиальном направлении.

### Задача 1.8

**ДАНО:** Температура левой стороны пластины толщиной 0,1 м с коэффициентом теплопроводности 3,4 Вт/мК находится при температуре 100 °С. Правая сторона пластины охлаждается в воздухе с температурой 20 °С, причем коэффициент теплообмена между правой стороной пластины и воздухом равен  $\alpha = (5,1)^{-54} \cdot (t_{ст} - t_{возд})^{14}$ , Вт/м<sup>2</sup>К.

**НАЙТИ:** Тепловой поток и температуру стенки на правой стороне.

### Задача 1.9

**ДАНО:** На заводе имеется трубопровод длиной 300 м и диаметром 20 мм, по которому движется пар при температуре 250 °С. Для уменьшения потерь тепла требуется наложить изоляцию на трубопровод, так чтобы при температуре окружающего воздуха в 25 °С, температура поверхности была близка к 250 °С. Оценки коэффициента теплообмена дали результат в 10 Вт/м<sup>2</sup>К. Руководство завода считает, что стоимость изоляции должна окупиться в течение года. Цена одного кВт·час равна 1 рубль 50 коп. Стоимость используемой изоляции 2000 рублей за метр.

**НАЙТИ:** Годовую экономию энергии в кВт·час. Окупятся ли затраты на изоляцию в течение года?

### Задача 1.10

**ДАНО:** Сфера внешним диаметром 20 см сделана из Ст. 20 (коэффициент теплопроводности 50 Вт/(мК). Внутри сферы имеется полость диаметром 8 см, заполненная водой. Полость соединена с атмосферой. Температура на внешней поверхности сферы 250 °С.

**НАЙТИ:** Количество тепла, необходимое, чтобы вода в полости закипела.

**ДОПУЩЕНИЕ:** Коэффициент теплообмена при кипении воды очень высокий.

## 2. Тема теплообмен при свободной конвекции

#### Задача 5.1

**ДАНО:** Вертикальный электрический провод диаметром 5 мм охлаждается в условиях свободной конвекции. Температура поверхности провода 95 °С, а температура охлаждающей среды вдали от провода 5 °С.

**НАЙТИ:** Количество тепла, отдаваемое одним погонным метром провода, если теплоносителем служит 1) воздух, 2) вода.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Теплообмен излучением между воздухом и проводом не учитывать.

#### Задача 5.2

**ДАНО:** Вертикально расположенная электромонтажная плата конечной ширины и высотой 0,15 м. Температура поверхности платы 60 °С, температура окружающего воздуха 25 °С. Вдали от платы воздух неподвижен.

**НАЙТИ:** Тепловые потери с одного метра поверхности при условии, что тепло снимается только свободной конвекцией.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Постоянная температура поверхности, теплообмен с торцов платы незначителен

#### Задача 5.3

**ДАНО:** Параллельная смешанная конвекция около вертикальной обогреваемой пластины высотой 30 см с постоянной температурой поверхности 60 °С. Средняя температура потока воздуха 25 °С.

**НАЙТИ:** Минимальную скорость потока воздуха в вертикальном направлении, при которой влияние свободной конвекции на коэффициент теплообмена будет менее 5%.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Условия стационарные.

**УКАЗАНИЕ:** Влияние свободной конвекции на коэффициент теплообмена будет ~ 5%, если  $Gr_L/Re_L^2 = 0.08$ .

#### Задача 5.4

**ДАНО:** Верхняя поверхность печи размером 0,5 x 0,5 м находится при температуре 60 °С. Температура окружающего воздуха вдали от печи 23 °С. Для уменьшения потерь тепла на верхнюю поверхность печи положили платину тепловой изоляции толщиной 100 мм, а размерами, совпадающими с размерами поверхности печи. Коэффициент теплопроводности изоляции 0,2 Вт/м·К.

**НАЙТИ:** Уменьшение потока тепла с верхней поверхности печи (в %) при использовании тепловой изоляции.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Условия стационарные, излучением можно пренебречь.

#### Задача 5.5

**ДАНО:** Смотровое окно в корпусе экспериментальной установки высотой 0,5 м и шириной 40 см. Окно представляет собой блок из двух огнеупорных стекол толщиной 0,5 см, зазор между стеклами 40 мм. Температура внутри установки 660 °С, снаружи 20 °С. Коэффициент теплопроводности стекла 0,19 Вт/мК.

**НАЙТИ:** Как изменятся потери тепла через окно, если расстояние между стеклами уменьшится в два раза.

#### Задача 5.6

**ДАНО:** Контур для изучения гидродинамики и теплообмена в жидком натрии. Нагрев натрия осуществляется при помощи горизонтального электрического нагревателя, выполненного в форме цилиндра диаметром 50 мм и длиной 1,2 м. Температура поверхности нагревателя постоянна и равна 500 °С. Средняя температура натрия в одном из опытов достигла 250 °С.

**НАЙТИ:** Мощность нагревателя.

#### Задача 5.7

**ДАНО:** Цилиндрический твэл диаметром 6,9 мм, помещенный горизонтально в большую воздушную камеру для измерения остаточного тепловыделения. Температура воздуха в камере 20 °С. В некоторый момент времени датчик измерения температуры поверхности показал 318 °С.

**НАЙТИ:** Мощность внутренних источников тепла в момент измерения.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Рассмотреть стационарные условия теплообмена.

#### Задача 5.8

**ДАНО:** Вертикальная щель заполнена воздухом. Ширина щели меняется от 1 до 20 мм. Температура одной поверхности 250 °С, другой 50 °С.

**НАЙТИ:** Зависимость теплового потока и эквивалентного коэффициента теплопроводности от ширины щели. Построить график. При какой ширине щели перенос тепла будет осуществляться только теплопроводностью.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Перенос тепла осуществляется только в направлении, нормальном к граничным поверхностям.

**УКАЗАНИЕ:** Перенос тепла теплопроводностью осуществляется, если  $Ra \leq 10^3$ .

### Задача 5.9

**ДАНО:** Горизонтальная труба находится в большом помещении. Внутренний диаметр трубы 168 мм, толщина стенки 30 мм. Температура внутренней поверхности трубы постоянна и равна 400 °С, температура воздуха в помещении 27 °С. Коэффициент теплопроводности материала трубы 0,072 Вт/мК.

**НАЙТИ:** Потери тепла с одного погонного метра трубы за счет конвективного теплообмена.

### Задача 5.10

**ДАНО:** Трубка диаметром 5 мм для подогрева физиологического раствора помещена в водяную ванну, температура в которой постоянна и равна 50 °С. Расход физиологического раствора 0,02 кг/с, температура на входе 25 °С на выходе 37 °С. Коэффициент теплообмена внутри трубки 450 Вт/м<sup>2</sup>К.

**НАЙТИ:** Длину трубки, обеспечивающую заданную температуру раствора на выходе.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Стационарные условия, свойства физиологического раствора равны свойствам воды, термическое сопротивление трубки чрезвычайно мало.

## 3. Критерии и шкала оценивания

| Оценка                             | Критерии оценки  |
|------------------------------------|--|
| Отлично<br>36-40                   | Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul> |
| Хорошо<br>30-35                    | Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul> |
| Удовлетворительно<br>24-29         | Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>   |
| Неудовлетворительно<br>23 и меньше | Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>  |

