

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

*А. В. Толстикова*

А. В. Толстикова

29.11.2022 2022

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)  
ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА  
1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника

## 1. Паспорт оценочных материалов по дисциплине (модулю)

| № п/п | Темы дисциплины (модуля) в ходе текущего контроля, вид промежуточной аттестации (зачет, с указанием семестра)  | Код и содержание компетенции   | Оценочные материалы (виды и количества) |
|-------|--|--|---|
| 1     | 2  | 3  | 4                                       |
| 1     | Основные законы теплопроводности. Стационарные задачи теплопроводности. Нестационарные задачи теплопроводности.  | ПК-1 способность принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области теплофизики и теоретической теплотехники;<br>ПК-2 способность проводить расчеты теплофизических параметров и анализировать результаты теплофизических экспериментов;<br>ПК-3 способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники и решать их с помощью современного оборудования и информационных технологий. | Самостоятельная работа (1)              |
| 2     | Начальные и граничные условия для уравнения теплопроводности. Безразмерные параметры теплопереноса.  |  |   |
| 3     | Теплообмен излучением. Конвективный теплообмен. Теплофизические свойства веществ и методы их измерения.  |  |   |
| 4     | Основные положения теории конвективного переноса. Движение вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Динамический и тепловой пограничные слои. Диффузионный пограничный слой. |  |   |
| 5     | Теория подобия. Критериальные уравнения. Теплообмен при внешнем обтекании тел.   |  |   |
| 6     | Теплообмен при внутреннем течении в трубах и каналах.  |  |   |
| 7     | Теплообмен при течении жидкости через пористую стенку. Теплообмен излучением.  |  |   |
| 8     | Теплообмен вблизи поверхности «жидкость-газ». Теплообмен при конденсации пара. Виды конденсации.   |  |   |
|       | Кандидатский экзамен, 5 семестр  |  |   |

## 2. Виды и характеристика оценочных средств

**Самостоятельная работа** – средство проверки теоретических знаний и умений решения задач по данной теме.

**Кандидатский экзамен** сдается в устной форме. Экзаменационные билеты содержат три вопроса по основным разделам программы. Процедура проведения экзамена предусматривает дополнительные вопросы по тем же или другим разделам программы, не вошедшим в экзаменационный билет. В содержание экзамена также входит собеседование по содержанию полностью

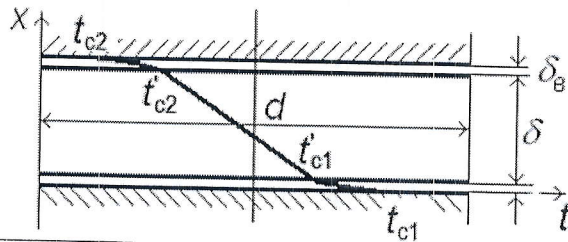
или частично подготовленного кандидатского исследования. Экзаменационные билеты включают вопросы из разделов: термодинамика и статистическая физика; теория неравновесных процессов; физика газов и плазмы; фазовые переходы, физика твёрдого тела. За экзамен выставляется единая оценка.

### 3. Оценочные средства

#### Оценочное средство. Самостоятельная работа

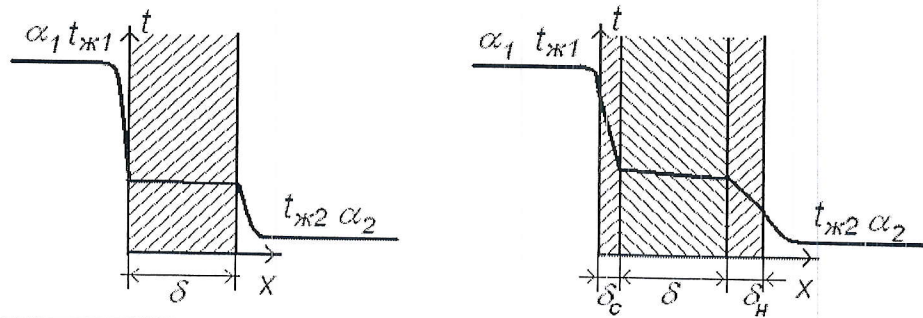
##### Примерные задачи для самостоятельных работ:

**Задача 1.** В приборе для определения коэффициента теплопроводности материалов между горячей и холодной поверхностями расположен образец из испытуемого материала. Образец представляет собой диск диаметром  $d$ , мм, и толщиной  $\delta$ , мм. Температура горячей поверхности  $t_{c1}$ , °С, холодной  $t_{c2}$ , °С. Тепловой поток через образец после установления стационарного процесса  $Q$ , Вт. Благодаря защитным нагревателям радиальные потоки теплоты отсутствуют. Вследствие плохой пригонки между холодной и горячей поверхностями и образцом образовались воздушные зазоры толщиной  $\delta_b$ , мм. Вычислить относительную ошибку в определении коэффициента теплопроводности, если при обработке результатов измерений не учитывать образовавшихся зазоров. Коэффициент теплопроводности воздуха в зазорах отнести к температурам соответствующих поверхностей.



| № варианта | Числовые данные |          |      | № варианта | Числовые данные |          |            |
|------------|-----------------|----------|------|------------|-----------------|----------|------------|
|            | $t_{c1}$        | $t_{c2}$ | $Q$  |            | $d$             | $\delta$ | $\delta_b$ |
| 1          | 210             | 36       | 51,2 | 1          | 124             | 22       | 0,12       |
| 2          | 205             | 34       | 50,9 | 2          | 122             | 21       | 0,11       |
| 3          | 200             | 32       | 50,6 | 3          | 120             | 20       | 0,10       |

**Задача 2.** Вычислить тепловой поток через  $1 \text{ м}^2$  чистой поверхности нагрева парового котла и температуры на поверхностях стенки, если температура дымовых газов  $t_{ж1}$ , °С, кипящей воды  $t_{ж2}$ , °С. Коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1$ , Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ) и от стенки к кипящей воде  $\alpha_2$ , Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ ). Коэффициент теплопроводности материала стенки  $\lambda = 50 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$  и толщина стенки  $\delta$ , мм. Решить задачу при условии, что в процессе эксплуатации поверхность нагрева парового котла со стороны дымовых газов покрылась слоем сажи толщиной  $\delta_c$ , мм, [ $\lambda_c = 0,08 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ] и со стороны воды слоем накипи толщиной  $\delta_n$ , мм, [ $\lambda_n = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ]. Вычислить плотность теплового потока через  $1 \text{ м}^2$  загрязненной поверхности нагрева и температуры на поверхностях соответствующих слоев. Определить уменьшение тепловой нагрузки.



| № варианта | Числовые данные |          |            |            |          |            |            |
|------------|-----------------|----------|------------|------------|----------|------------|------------|
|            | $t_{ж1}$        | $t_{ж2}$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $\delta$ | $\delta_c$ | $\delta_n$ |
| 1          | 925             | 185      | 75         | 4250       | 7        | 1          | 2          |
| 2          | 950             | 190      | 80         | 4500       | 8        | 1          | 3          |
| 3          | 975             | 195      | 85         | 4750       | 9        | 2          | 4          |

**Задача 3.** Определить коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки испарителя к кипящей воде, если тепловая нагрузка поверхности нагрева равна  $q = 2 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>. Режим кипения пузырьковый и вода находится под давлением  $p = 2 \cdot 10^5$  Па.

**Задача 4.** Определить тепловую нагрузку поверхности нагрева парогенератора при пузырьковом кипении воды в большом объеме, если вода находится под давлением  $p = 6,2 \cdot 10^5$  Па, а температура поверхности нагрева  $t_{пог} = 175$  °С.

**Задача 5.** Определить необходимую поверхность нагрева парогенератора производительностью 4 т/час, при  $p = 15,7 \cdot 10^5$  Па. Предполагаемый температурный напор 10°С.

**Задача 6.** В трубе внутренним диаметром 18 мм движется кипящая вода со скоростью 1 м/с. Вода находится под давлением  $p = 8 \cdot 10^5$  Па. Определить значение коэффициента от стенки к кипящей воде, если температура внутренней поверхности трубы равна 173°С.

**Задача 7.** На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром 20 мм и длиной 2м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении 105 Па, температура поверхности 94,5 °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара, которое конденсируется на поверхности трубы.

**Задача 8.** Как изменится коэффициент теплоотдачи при конденсации сухого насыщенного пара на поверхности горизонтальной трубы, если давление пара возрастает от  $p_1 = 10^5$  Па до  $p_2 = 4 \cdot 10^5$  Па, температурный напор постоянен.

**Задача 9.** На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром 20 мм и высотой 2м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении 105 Па, температура на поверхности трубы 94,5°С. Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара  $G$ , кг/ч, которое конденсируется на поверхности трубы.

**Задача 10.** Определите коэффициент массоотдачи и массу бензина АИ-98, испарившегося в 1 час с поверхности при опорожнении резервуара РВС-5000, если диаметр резервуара 22,84м, производительность опорожнения 1500 м<sup>3</sup>/час,

средняя за время опорожнения высота ГП 6,4м, число дыхательных клапанов  $K=1$ , диаметр монтажного патрубка 0,25м., концентрация паров бензина у поверхности испарения 0,3, средняя объемная концентрация паров бензина 0,21, температура паровоздушной смеси в ГП 30 градусов Цельсия, молярная масса паров бензина 62 кг/кмоль, абсолютное давление в ГП 103325 Па.

#### **Критерии оценивания:**

- оценка «отлично» выставляется аспиранту, верно решившему (с незначительными погрешностями) 9-10 из 10 заданий самостоятельной работы;
- оценка «хорошо» выставляется аспиранту, верно решившему (с незначительными погрешностями) 7-8 из 10 заданий самостоятельной работы;
- оценка «удовлетворительно» выставляется аспиранту, верно решившему (с незначительными погрешностями) 4-6 из 10 заданий самостоятельной работы;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется аспиранту, решившему верно менее 4 из 10 заданий самостоятельной работы.

#### **Оценочное средство. Кандидатский экзамен**

##### **Вопросы для подготовки к экзамену:**

1. Уравнение неразрывности в интегральной, алгебраической и дифференциальной форме.
2. Уравнение движения в интегральной, алгебраической и дифференциальной форме.
3. Уравнение сохранения полной энергии в интегральной, алгебраической и дифференциальной форме.
4. Квазиодномерное движение жидкости и газа в трубах. Обобщенное уравнение Бернулли.
5. Расчет параметров при движении в трубопроводе.
6. Расчет параметров при движении газа в трубопроводе.
7. Уравнение Навье-Стокса. Ламинарное течение жидкости в трубе.
8. Уравнение Прандтля для пограничного слоя.
9. Соотношение Кармана. Расчет турбулентного пограничного слоя.
10. Уравнение сверхзвукового течения. Метод характеристик.
11. Характеристики турбулентности. Уравнение Рейнольдса для турбулентного течения в пограничном слое.
12. Уравнение сохранения массы жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси.
13. Фазовые проницаемости. Капиллярное давление. Функция Леверетта.
14. Приток несжимаемой жидкости к скважине. Формула Дюпюи.
15. Закон Фурье и уравнение теплопроводности в неподвижной и в движущейся среде.
16. Закон Фика и уравнение диффузии в неподвижной и движущейся среде.
17. Классификация и физический смысл граничных условий для уравнения теплопроводности.
18. Постановка задач с подвижной границей фазового перехода (задача Стефана).
19. Конвективный теплообмен.

20. Моделирование процессов теплообмена. Условия подобия. Критерии Рейнольдса, Грасгофа, Нуссельта.
21. Система уравнений тепломассопереноса в безразмерном виде. Критерии Фурье, Пекле, Прандтля, Стентона.
22. Уравнение теплового пограничного слоя. Граничные условия.
23. Характерные толщины теплового пограничного слоя.
24. Вынужденная конвекция.
25. Свободная конвекция.
26. Теплообмен при излучении. Уравнение Стефана-Больцмана.
27. Конденсация. Основные понятия. Пленочная конденсация.
28. Капельная конденсация. Расчет тепловых потоков при капельной конденсации.
29. Кипение. Основные понятия. Пленочное кипение.
30. Кризисы теплообмена. Капельное кипение.

### **Критерии оценки результатов кандидатского экзамена**

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах физической и общенаучной терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- безошибочное знание фактического материала;
- историографические знания в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное использование в ответах физической и общенаучной терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- отдельные ошибки при изложении фактического материала;
- неполнота изложения историографических сведений в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах физической и общенаучной терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить только одну из проблем, сформулированных в билетах вопросов;
- ошибки при изложении фактического материала;
- поверхностные историографические знания в рамках вопросов билета;
- нарушение логичности и связности ответа.

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой физической и общенаучной терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;
- грубые ошибки при изложении фактического материала;
- незнание историографии вопросов билета;
- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- нарушение логичности, связности ответа.