

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан  
Ю.Н. Рыжих

Оценочные материалы по дисциплине

**Теплофизика**

по направлению подготовки

**16.03.01 Техническая физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Компьютерное моделирование в инженерной теплофизике и аэрогидродинамике**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема  
**2024**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОПОП  
Э.Р. Шрагер  
Ю.Н. Рыжих

Председатель УМК  
В.А. Скрипняк

Томск – 2024

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и общепромышленных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований.

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии.

ПК-1 Способен использовать методы математического моделирования тепловых процессов, формулировать задачи компьютерных исследований процессов теплообмена при разработке изделий РКТ.

ПК-2 Способен проводить исследования по аэрогидродинамике и процессам теплообмена изделий РКТ с использованием высокопроизводительной компьютерной техники.

ПК-3 Способен выполнять фундаментальные и прикладные работы поискового, теоретического и экспериментального характера при разработке новых материалов, технологий и устройств.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

РООПК-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные компьютерные технологии для их решения

РООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

РОПК - 1.1 Знает модели математического описания процессов теплообмена

РОПК - 1.2 Умеет использовать стандартные методики и разрабатывать новые подходы математического моделирования

РОПК - 2.1 Знает основы разработки численных методов решения прикладных задач

РОПК - 2.2 Умеет использовать пакеты прикладных программ и разрабатывать оригинальные программы реализации моделей

РОПК - 3.1 Знает фундаментальные законы в области теплофизики и механики сплошных сред

РОПК - 3.2 Умеет проводить компьютерный эксперимент в области теплофизики и аэрогидродинамики

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- контрольная работа;
- эссе;
- проектная работа

*Пример*

Контрольная работа (РООПК-1.2, РОПК - 1.1, РОПК - 3.1)

Контрольная работа состоит из 2 задач.

Примеры задач

**Задача 1.**

Найти распределение температуры через многослойную плоскую пластинку с характеристиками, приведенными в таблице 1. Построить распределения температуры. Вычислить тепловой поток, проходящий через многослойную пластинку.

Таблица 1.

Номер слоя	Толщина слоя, мм	Коэффициент теплопроводности слоя, Вт/(м·К)	Температура на правой границе многослойной пластины, °К	Температура на левой границе многослойной пластины, °К
1	1	0.058	400	300
2	5	0.52		
3	5	0.058		
4	1	0.6		
5	0.5	0.052		

**Задача 2.**

Резиновая пластина толщиной 20 мм, нагретая до температуры  $t_0 = 140^\circ \text{C}$ , помещена в воздушную среду с температурой  $t_{\infty} = 15^\circ \text{C}$ . Определить температуры в середине и на поверхности пластины через  $\tau = 20$  мин после начала охлаждения.

Параметры, требуемые для решения задачи. Коэффициент теплопроводности резины - 0,175 Вт/(м·°C). Коэффициент температуропроводности резины -  $0,833 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Коэффициент теплоотдачи от поверхности пластины к окружающему воздуху - 65 Вт/(м<sup>2</sup> °C).

**Ответы.**

Задача 1.

Величина теплового потока составляет  $-804.209 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Распределение температуры по слою показано на рисунке 1.

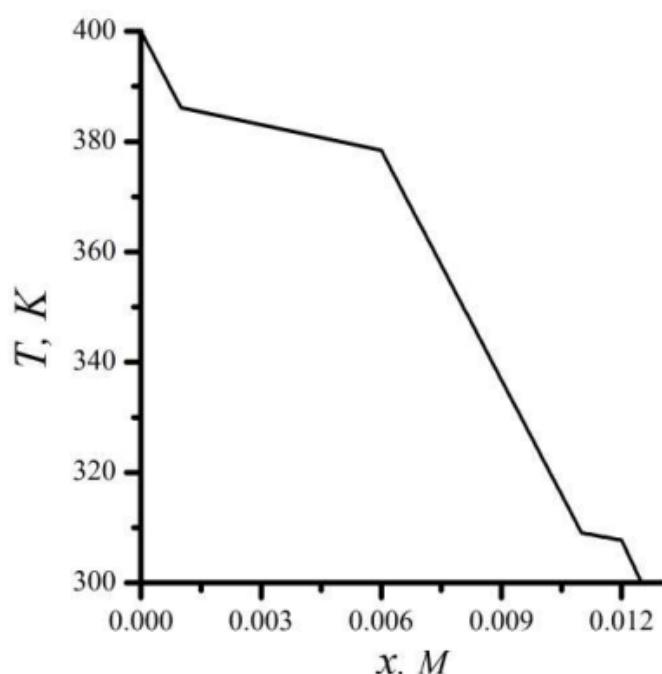


Рисунок 1 – Распределение температуры по многослойной пластинке

Задача 2.

$$t_{x=\delta} = \Theta_{x=\delta} (t_0 - t_{\infty}) + t_{\infty} = 0.26(140 - 15) + 15 = 47.5^{\circ}\text{C},$$

$$t_{x=\delta/2} = \Theta_{x=\delta/2} (t_0 - t_{\infty}) + t_{\infty} = 0.08(140 - 15) + 15 = 25^{\circ}\text{C}.$$

Критерии оценивания:

Результаты контрольной работы определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если задачи решены без ошибок.

Оценка «хорошо» выставляется, если задачи решены с арифметическими ошибками, но для решения использованы верные формулы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется если допущена ошибка в использовании расчетных формул в одной из задач.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при неверном решении двух задач.

### Эссе (РООПК-1.1)

Студент должен написать эссе и подготовить презентацию по любому из физических процессов, где присутствуют механизмы теплопроводности.

В качестве примеров презентаций предлагаются:

- Организация теплообмена в системах работы охладительного оборудования.
- Тепловые процессы в материаловедении.
- Тепловые процессы в ракетно-космической отрасли.
- и так далее.

К презентациям предъявляется два требования:

- 1 - Язык изложения должен быть научно-популярным.
- 2 - Тема доклада должна соответствовать предмету (теплофизика).

Критерии оценивания:

Оценивание эссе и доклада включает в себя оценку за количество использованных источников (не менее 10), четкость изложения и доклада, качественное оформление презентации. Эссе засчитывается (оценка «зачтено») при успешном выполнении предъявляемых требований. В остальных случаях – оценка «не зачтено».

### Проектная работа (РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК - 1.2, РОПК - 2.1, РОПК - 2.2, РОПК - 3.2 )

Проектная работа заключается в решении задачи теплопроводности для оребренной поверхности с использованием прикладного коммерческого пакета Ansys Fluent. В ходе выполнения работы требуется построить геометрию оребренной поверхности, построить расчетную сетку, настроить решение программы. При проведении расчета требуется сделать проверку на сходимость решения путем проверки выполнения закона сохранения энергии, а также через использования набора разностных сеток. Полученное решение следует сравнить с аналитическим решением задачи. По итогам выполнения проекта студенты должны подготовить файл-отчет с полученными результатами. Допустимо решать задачу в группе по 2 человека.

Пример задачи для решения.

### **Вариант 1 – 10.**

Для лучшего охлаждения внешней поверхности полупроводникового холодильника внешняя поверхность боковых стенок камеры выполнена ребристой с вертикальными ребрами. В плане камера квадратная. Ширина боковых стенок  $b, h$ , высота и толщина ребер соответственно  $l$  и  $\delta$ . Каждая стенка имеет по  $n$  ребер. Температура у основания

ребра  $t_0$ ; температура окружающей среды  $t_{\infty}$ . Коэффициент теплопроводности материала стенок  $\lambda$ ; коэффициент теплоотдачи от ребристой стенки к окружающему воздуху  $\alpha$ .

Вычислить температуру на конце ребра  $t_1$  и количество теплоты, отдаваемое четырьмя боковыми стенками. Вычислить также количество теплоты, которое отдавалось бы в окружающую среду неоребренными стенками при тех же условиях,  $Q_c$ . Для решения воспользоваться данными таблицы.

№	$b, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$l, \text{мм}$	$\delta, \text{мм}$	$n$	$t_0, {}^\circ\text{C}$	$t_{\infty}, {}^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{Bm}/(\text{м}^2\text{°C})$	$\alpha, \text{Bm}/(\text{м}^2\text{°C})$
1	800	1000	30	3	40	30	20	202	7
2	700	1000	40	2	10	40	15	202	10
3	700	800	20	2.5	15	20	10	102	5
4	800	1200	15	2	25	50	20	102	6
5	1000	800	10	1.5	45	40	15	63	8
6	820	1620	30	3	50	30	10	63	9
7	600	1200	40	2	10	20	5	384	11
8	300	1000	20	2.5	15	10	2	384	23
9	800	1500	15	2	25	60	20	186	12
10	400	820	10	1.5	35	70	15	186	4

На рисунке 2 представлен фрагмент отчета студентов.

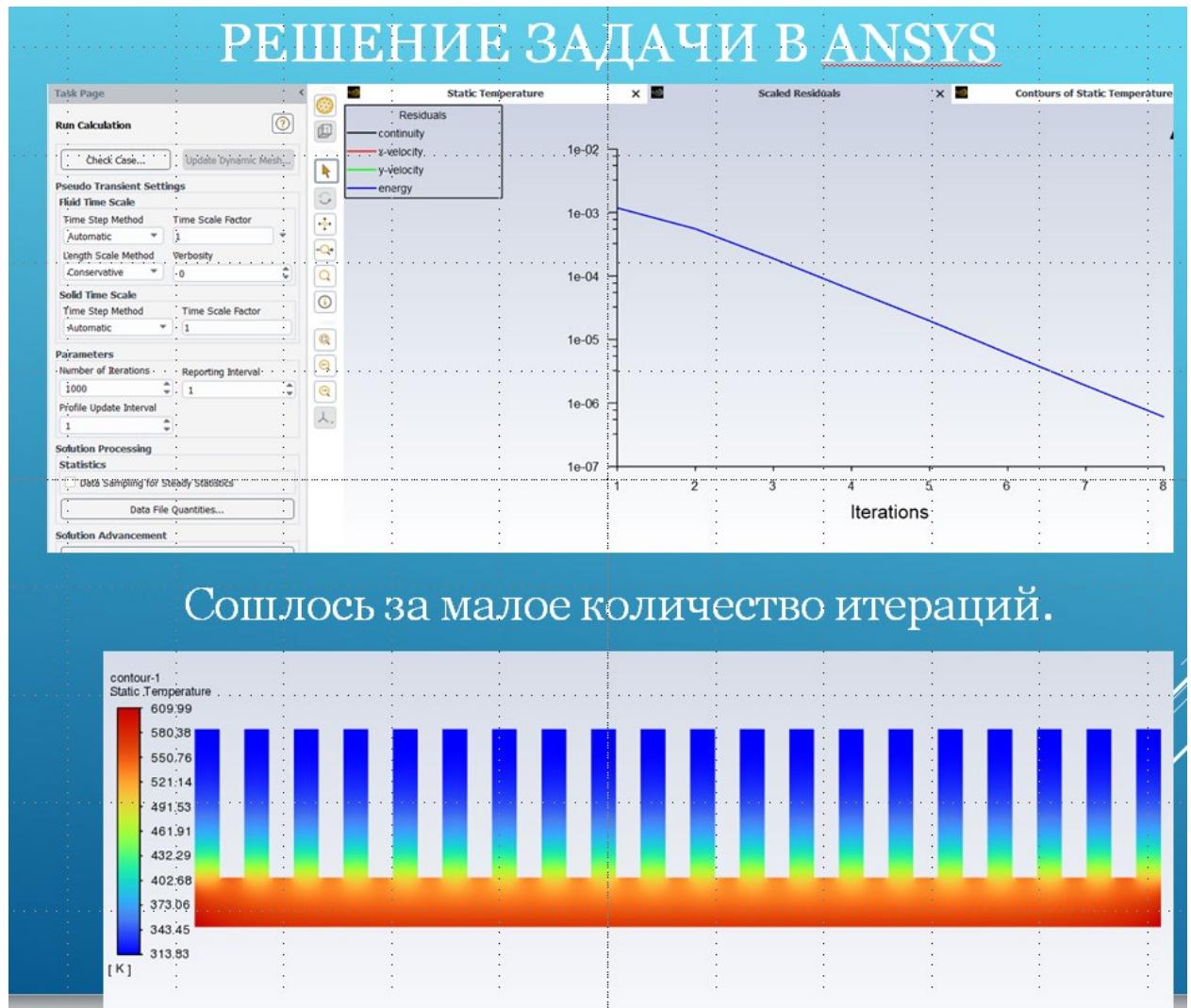


Рисунок 2 – Фрагмент отчета по проектной работе

### Критерии оценивания:

Результаты выполнения проектной работы определяются оценками «зачтено» и «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется, если все требования к работе выполнены (описано выше), задача решена верно или с небольшими недочетами. Оценка «не зачтено» выставляется в остальных случаях.

### 3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Билет содержит теоретический вопрос и одну задачу. Продолжительность экзамена 45 минут.

Теоретическая часть проверяет формирование компетенций (РООПК-1.1, РООПК-1.2, РОПК - 1.1, РОПК - 3.1)

Примерный перечень теоретических вопросов

- 1) Теплопроводность и теплопередача.
- 2) Закон Фурье.
- 3) Граничные условия для уравнения теплопроводности.
- 4) Стационарная теплопроводность и нестационарная теплопроводность.
- 5) Теплоперенос и теплопередача через многослойную плоскую стенку.
- 6) Теплоперенос и теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку.
- 7) Теплоперенос и теплопередача через многослойную сферическую стенку.
- 8) Расчета теплового потока оребренной поверхности.
- 9) Методы решения уравнений нестационарной теплопроводности.
- 10) Основные понятия лучистого теплопереноса.
- 11) Зональный метод расчета теплообмена излучением в замкнутой системе тел, заполненной поглощающей средой.
- 12) Теплообменные аппараты.
- 13) Расчет теплообменных аппаратов (решаемые уравнения, цель расчета, методы расчета).

Практическая часть билета (задача) проверяет формирование компетенций (РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК - 1.2, РОПК - 2.1, РОПК - 2.2, РОПК - 3.2)

#### Пример задач для экзаменационного билета

##### Задача 1.

Найти распределение температуры через многослойную плоскую пластинку с характеристиками, приведенными в таблице 1.

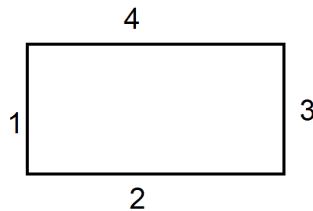
Построить распределения температуры.

Таблица 1.

Номер слоя	Толщина слоя, мм	Материал, из которого изготовлен слой	Температура на правой границе многослойной пластиинки, °К	Температура на левой границе многослойной пластиинки, °К
1	10	Дерево	310	430
2	20	Воздух		
3	5	Медь		
4	15	Воздух		
5	25	Алюминий		
6	5	Воздух		
7	50	Дерево		

### Задача 2.

Посчитать угловые коэффициенты излучения и результирующий поток тепла для системы из нескольких поверхностей:



$F_1=1.2$ ,  $F_2=3.6$ .  $\varepsilon_1=0.6$ ,  $\varepsilon_2=0.8$ ,  $\varepsilon_3=0.6$ ,  $\varepsilon_4=0.7$ .  $T_1=285$  К,  $T_2=290$  К,  $T_3=300$ ,  $T_4=340$  К.

### Задача 3.

Плоская симметричная пластина толщиной  $d = 2r_0$  с начальной температурой  $T_0$  помещена в печь с температурой  $T_\infty$ .

Определить время, необходимое для нагрева пластины, если нагрев считается законченным, когда температура на оси пластины,  $x = 0$ , равна  $T_{end}$ . Определить также температуру на поверхности вала в конце нагрева.

Коэффициенты теплопроводности  $\lambda$  и температуропроводности  $a$  металла взять из таблицы 2. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала  $a$  взять из таблицы 3.

Таблица 2

№	материал	$d, \text{мм}$	$T_\infty, \text{К}$	$T_0, \text{К}$	$T_{end}, \text{К}$	$a, \text{Вт}/(\text{м}^2 \text{°C})$
1	Сталь	120	900	320	400	100

Таблица 3

Наименование металла	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \text{°C})$	Коэффициент температуропроводности $a, \text{м}^2/\text{с}$
Сталь	50	$1,172 \times 10^{-5}$

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценивание производится с учетом данных о посещаемости занятий, результатов выполнения контрольных работ, работы в электронной-образовательной среде.

Критерии оценки

Отлично	Выставляется студенту, способному выполнять теплофизические расчеты, понимать суть процессов, происходящих при теплообмене, и излагать основные результаты, методы и подходы.
Хорошо	Выставляется студенту, способному выполнять теплофизические расчеты, частично понимать суть процессов, происходящих при теплообмене, и тезисно излагать основные результаты, методы и подходы.
Удовлетворительно	Выставляется студенту, способному частично понимать суть процессов, происходящих при теплообмене, и тезисно излагать основные результаты, методы и подходы.
Неудовлетворительно	Выставляется студенту, не овладевшему навыками расчета теплообменных аппаратов и/или неспособному объяснить методы и

подходы к решению задач теплообмена, а также непонимающему физическую суть процессов

При отсутствии активности во время семестра (посещаемость занятий менее 50 % без уважительной причины, отсутствие результатов выполнения элементов текущего контроля) оценка за экзамен не может быть выше оценки «хорошо».

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

Теоретические вопросы (РООПК-1.1, РООПК-1.2, РОПК - 1.1, РОПК - 3.1)

- 1) Сформулировать граничные условия для уравнения теплопроводности и объяснить их физический смысл.
- 2) Записать дифференциальное уравнение теплопроводности
- 3) Дать определение понятиям «серое тело», «интенсивность излучения», «плотность потока излучения», «угловой коэффициент излучения».
- 4) Привести выражения для расчета потоков тепла многослойной плоской и цилиндрической стенки.
- 5) Указать методы решения уравнений нестационарной теплопроводности.

Задачи (РООПК-2.1, РООПК-2.2, РОПК - 1.2, РОПК - 2.1, РОПК - 2.2, РОПК - 3.2)

- 1) **Задача 1.** Температура воздуха в аудитории  $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ , а снаружи  $t_2 = -10^{\circ}\text{C}$ . Стена здания выполнена из красного кирпича,  $\delta = 650 \text{ мм}$ . Найдите тепловой поток  $Q$  через стену аудитории (стена без окон) площадью  $F = 30 \text{ м}^2$ , если известно, что  $\alpha_1 = 5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , а  $\alpha_2 = 15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Чему равны температуры на внутренней  $t_{c1}$  и наружной  $t_{c2}$  поверхностях стены?

Ответ:  $t_{c1} = 14.6^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{c2} = -8.2^{\circ}\text{C}$ ,  $q = 27 \text{ Вт}/\text{м}^2$

- 2) **Задача 2.** Температура внешней металлической поверхности сушильной камеры  $t_{c1} = 150^{\circ}\text{C}$ . Сушильная камера изолирована матами из минеральной стекловаты. Толщина маты  $\delta = 60 \text{ мм}$ . Температура воздуха в помещении  $t_{\infty 2} = 15^{\circ}\text{C}$  и коэффициент теплоотдачи  $\alpha_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Найдите температуру наружной поверхности тепловой изоляции  $t_{c2}$ .

Ответ:  $t_{c2} = 36.2^{\circ}\text{C}$

Критерии оценивания: считается выполненным, если верно решена одна задача из двух и дан верный ответ на 1 теоретический вопрос из списка (исчерпывающий или возможно с небольшими неточностями).

#### **Информация о разработчиках**

Моисеева Ксения Михайловна, д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры математической физики ФТФ ТГУ