

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

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Ю.Н. Рыжих

Э.Р. Шрагер

А.Ю. Крайнов

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2025

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 инженерных 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 естественнонаучных и инженерных дисциплин и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять законы естественнонаучных и инженерных дисциплин 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 информационных технологий 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 информационные 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 пластинки, °К	Температура на левой границе многослойной пластинки, °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 $t_{жс} = 15^\circ \text{C}$. Определить температуры в середине и на поверхности пластины через $\tau = 20$ мин после начала охлаждения.

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

Ответы.

Задача 1.

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

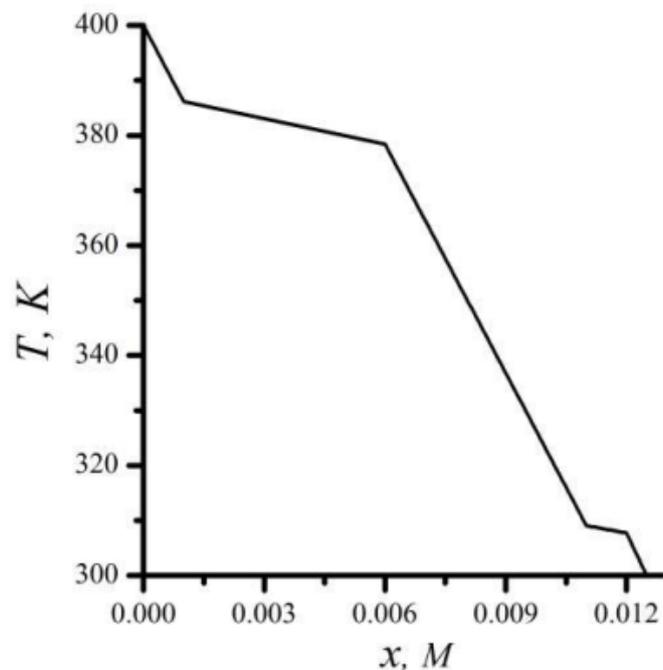


Рисунок 1 – Распределение температуры по многослойной пластинке

Задача 2.

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

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

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.

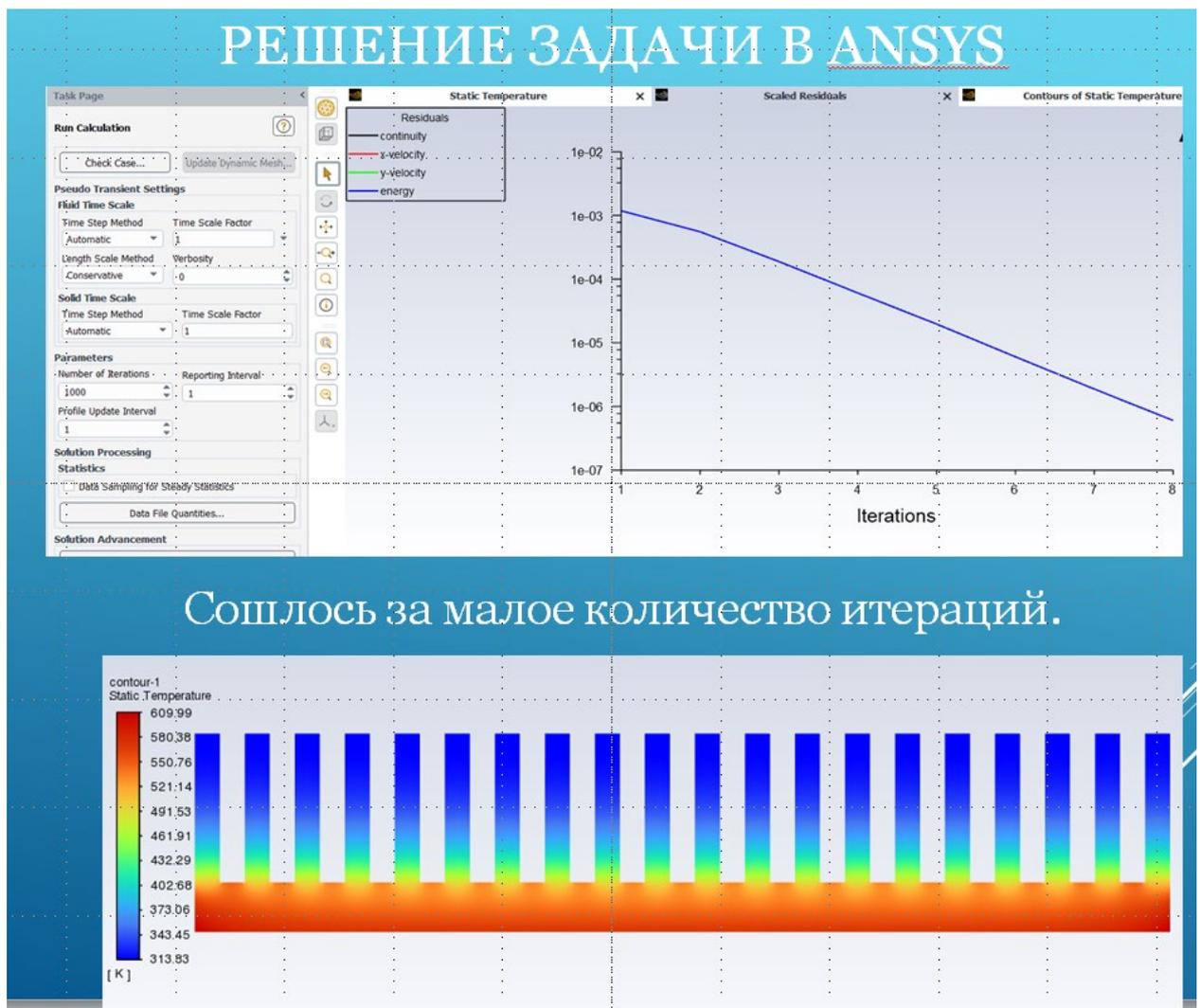
Для лучшего охлаждения внешней поверхности полупроводникового холодильника внешняя поверхность боковых стенок камеры выполнена ребристой с вертикальными ребрами. В плане камера квадратная. Ширина боковых стенок b , h , высота и толщина

ребер соответственно l и δ . Каждая стенка имеет по n ребер. Температура у основания ребра t_0 ; температура окружающей среды $t_{ж}$. Коэффициент теплопроводности материала стенок λ ; коэффициент теплоотдачи от ребристой стенки к окружающему воздуху α .

Вычислить температуру на конце ребра t_1 и количество теплоты, отдаваемое четырьмя боковыми стенками. Вычислить также количество теплоты, которое отдавалось бы в окружающую среду неоребранными 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	$t_0, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_{ж}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{ Вт/(м}^2\text{ }^\circ\text{C)}$	$\alpha, \text{ Вт/(м}^2\text{ }^\circ\text{C)}$
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.



Сошлось за малое количество итераций.

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) Расчеты теплового потока ребренной 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.

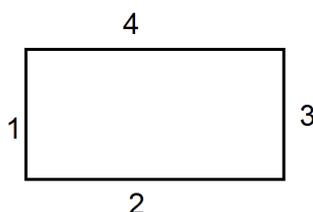
Таблица 1.

Номер слоя	Толщина слоя, мм	Материал, из которого изготовлен слой	Температура на правой границе многослойной пластинки, °К	Температура на левой границе многослойной пластинки, °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:



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

Задача 3.

Плоская симметричная пластина толщиной $d = 2r_0$ с начальной температурой T_0 помещена в печь с температурой $T_{ж}$.

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 λ и температуропроводности a металла взять из таблицы 2. Коэффициент теплоотдачи к поверхности вала α взять из таблицы 3.

Таблица 2

№	материал	$d, \text{ мм}$	$T_{ж}, \text{ K}$	$T_0, \text{ K}$	$T_{end}, \text{ K}$	$a, \text{ Bm}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$
1	Сталь	120	900	320	400	100

Таблица 3

Наименование металла	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{ Bm}/(\text{m } ^\circ\text{C})$	Коэффициент температуропроводности $a, \text{ m}^2/\text{c}$
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 $t_1 = 20$ °С, а снаружи $t_2 = -10$ °С. Стена здания выполнена из красного кирпича, $\delta = 650$ мм. Найдите тепловой поток Q через стену аудитории (стена без окон) площадью $F = 30$ м², если известно, что $\alpha_1 = 5$ Вт/(м · К), а $\alpha_2 = 15$ Вт/(м · К). Чему равны температуры на внутренней t_{c1} и наружной t_{c2} поверхностях стены?

Ответ: $t_{c1} = 14.6$ °С, $t_{c2} = -8.2$ °С, $q = 27$ Вт/м²

2) **Задача 2.** Температура внешней металлической поверхности сушильной камеры $t_{c1} = 150$ °С. Сушильная камера изолирована матами из минеральной стекловаты. Толщина мата $\delta = 60$ мм. Температура воздуха в помещении $t_{ж2} = 15$ °С и коэффициент теплоотдачи $\alpha_2 = 10$ Вт/(м² · К). Найдите температуру наружной поверхности тепловой изоляции t_{c2} .

Ответ: $t_{c2} = 36.2$ °С

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