

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 10.11.2023 14:38:38
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Проектирование и технология
микро- и наносистем»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«ТЕПЛОФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА»

для подготовки бакалавров

по направлению

28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

по профилю

«Проектирование и технология микро- и наносистем»

Санкт-Петербург

2023

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н. Бройко А.П.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МНЭ
10.02.2023, протокол № 3

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФЭЛ, 01.03.2023, протокол № 1

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	МНЭ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	3
Курс	3
Семестр	6
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	34
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	52
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	56
Всего (академ. часов)	108
Вид промежуточной аттестации	
Экзамен (курс)	3

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕПЛОФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА»

Основной целью изучения дисциплины «Теплофизика твердого тела» является ознакомить студентов с основными проблемами современной теплофизики. В задачи изучения дисциплины входит: овладение студентами аналитических методов решения задач теплопроводности при различных граничных условиях, теорией подобия и ее использованием для описания процессов конвективного теплопереноса, ознакомление с процессами теплообмена, происходящими в микро и наносистемах.

SUBJECT SUMMARY

«THERMAL PHYSICS SOLID, LIQUID AND GAS»

The target of the discipline “Mechanics and thermal physics solid” is inform students with the basic problems of modern thermophysics. The tasks of the discipline include: mastery of the students analytical methods for solving problems of heat conduction for various boundary conditions, the theory of similarity and its use for describing the convective heat transfer, familiar with the process of heat transfer occurring at the micro and nanosystems.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель изучения дисциплины:

- ознакомить студентов с основными методами современной теплофизики для расчета микро и наносистем;
- приобретение умений выполнения оценочных аналитических расчетов процессов теплопередачи, выполнения простейших расчетов теплообменных аппаратов и систем;
- сформировать навыки аналитических и численных расчетов процессов тепло-массообмена, постановки задачи теплообмена в различных устройствах.

2. Задачи изучения дисциплины:

- изучить аналитические методы решения задач теплопроводности при различных граничных условиях, методы расчета сложного теплообмена, в том числе при изменении агрегатного состояния вещества;
- приобрести умения и навыки аналитических и численных расчетов процессов тепло-массообмена, постановки задачи теплообмена в различных устройствах.

3. Знания:

- аналитических методов решения задач теплопроводности при различных граничных условиях;
- теории подобия и ее использование для описания процессов конвективного теплопереноса;
- методов расчета сложного теплообмена, в том числе при изменении агрегатного состояния вещества;
- устройство и процессы в теплообменных аппаратах.

4. Приобретение умений:

- выполнения оценочных аналитических расчетов процессов теплопередачи;

-выполнения простейших расчетов теплообменных аппаратов и систем;

5. Формирование навыков:

-аналитических и численных расчетов процессов тепломассообмена;

-постановки задачи теплообмена в различных устройствах.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Диэлектрические материалы и приборы»

2. «Магнитные материалы и приборы»

3. «Основы биологии и биофизики»

4. «Физика твердого тела»

5. «Физико-химические основы технологии изделий электроники и наноэлектроники»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Моделирование и проектирование микро-и наносистем»

2. «Основы микросистемной техники»

3. «Основы планарной технологии»

4. «Цифровая схемотехника»

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-1	Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано-и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий
<i>ПК-1.1</i>	<i>Знает физические и математические законы и модели физических процессов, лежащих в основе принципов действия объектов нанотехнологии и микросистемной техники</i>
<i>ПК-1.2</i>	<i>Умеет решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы компьютерного моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники</i>
<i>ПК-1.3</i>	<i>Владеет математическим аппаратом и методами компьютерных технологий для моделирования объектов нанотехнологии и микросистемной техники</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	2			2
2	Тема 1. Терминология. Физические аспекты процессов теплообмена	6	4		10
3	Тема 2. Теплопроводность. Теплопроводность твердых тел	6	4		10
4	Тема 3. Конвективный теплоперенос. Распространение тепла в жидкости	6	3		8
5	Тема 4. Сложный теплообмен	4	2		8
6	Тема 5. Механика жидкости и газа	4	2		8
7	Тема 6. Теплообменные аппараты и системы	4	2		8
8	Заключение	2		1	2
	Итого, ач	34	17	1	56
	Из них ач на контроль	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	108/3			

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Основные проблемы современной теплофизики. Задачи изучения дисциплины
2	Тема 1. Терминология. Физические аспекты процессов теплообмена	Способы переноса тепла: теплопроводность, конвекция, излучение. Поле температуры, понятие градиента температуры. Основные понятия и определения теплофизики (терминология): тепловой поток, плотность теплового потока, мощность внутренних источников теплоты, теплоноситель, теплообменник. Понятия теплоотдачи и теплопередачи: коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи, температурный напор, местный температурный напор, средний логарифмический и средний интегральный температурный напоры, внешнее и общее термические сопротивления.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
3	Тема 2. Теплопроводность. Теплопроводность твердых тел	<p>Феноменологический метод исследования процессов теплопроводности: особенности и ограничения. Закон Био-Фурье. Коэффициент теплопроводности. Некоторые теории и экспериментальные данные по определению коэффициента теплопроводности для различных веществ. Коэффициент теплопроводности газов. Коэффициент теплопроводности жидкостей. Коэффициент теплопроводности твердых тел: металлы и сплавы. Термоупругость. Соотношения между напряжениями, деформациями и температурой</p> <p>Уравнение теплопроводности. Уравнение равновесия. Обобщения уравнения теплопроводности: теплопроводность в кристалле, учет конечности скорости распространения тепла. Эффективная теплопроводность при медленных деформациях и теплопроводность при отсутствии деформаций. Коэффициент температуропроводности.</p> <p>Краевые условия и типы краевых задач: задача Коши, смешанная задача, стационарная задача. Граничные условия 1, 2, 3, 4-го рода.</p> <p>Основные методы решения задач теплопроводности.</p>
4	Тема 3. Конвективный теплоперенос. Распространение тепла в жидкости	<p>Общее уравнение переноса тепла в жидкости. Физический смысл и пределы его применимости. Теплоперенос в несжимаемой и вязкой жидкостях. Гипотеза Фурье-Остроградского. Условия однозначности для процессов, типы краевых задач.</p> <p>Методы размерностей и подобия. Терминология, виды параметров, первичные и вторичные величины, основные и производные единицы измерения. Метод инспекционного анализа. Пример использования инспекционного анализа: задача о нагреве тонкой пластины в жидкости. Число подобия F_0, Bi. Метод подобия. Моделирование. Прямая и обратная (теорема Кирпичева - Гухмана) теоремы теории подобия.</p> <p>Теплоотдача тела при внешнем обтекании его вынужденным потоком жидкости. Определения. Постановка и математическая формулировка задачи. Условия однозначности. Числа подобия: Pe, Re, Pr. Закон Ньютона - Рихмана. Теплоотдача цилиндра при внешнем обтекании его вынужденным потоком жидкости. Простейшая методика исследования теплоотдачи от цилиндра.</p>
5	Тема 4. Сложный теплообмен	<p>Основные понятия сложного теплообмена. Радиационно – кондуктивный теплообмен. Радиационно – конвективный теплообмен. Сложный теплообмен -совокупность трех видов переноса теплоты: теплопроводность, конвекция и излучение.</p>

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
6	Тема 5. Механика жидкости и газа	Элементы аэрогидродинамики. Основные уравнения (система уравнений Навье – Стокса). Обзор аналитических и численных методов приближенного и точного решения системы уравнения Навье-Стокса. Основы вентиляционного расчета. Уравнение Бернулли. Гидравлическое сопротивление. Сопротивление трению. Местные сопротивления. Принцип наложения потерь.
7	Тема 6. Теплообменные аппараты и системы	Радиаторы. Теплообменники. Тепловые трубы. Теплофизические микросистемы.
8	Заключение	Особенности экспериментальных исследований процессов теплообмена. Происходящих в микро-и наносистемах.

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Стационарный процесс теплопередачи	4
2. Конвективный теплообмен	4
3. Теплообмен излучением	4
4. Теплообменные аппараты и приборы	5
Итого	17

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники,

учебные пособия, конспект лекций и т.п.), выполненными в печатном или электронном виде.

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения дисциплины»).

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	4
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	4
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	6
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	7
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	56

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Дульнев, Геннадий Николаевич. Тепло-и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст] : учеб. для вузов по специальностям "Конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры", "Конструирование и производство электронно-вычислительной аппаратуры" / Г.Н. Дульнев, 1984. -247 с.	23
2	Исаченко, Виктор Павлович. Теплопередача [Текст] : учеб. для втузов энергет. специальностей / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел, 1981. -416, [1] с.	8
Дополнительная литература		
1	Дмитриев, Александр Сергеевич. Введение в нанотеплофизику / А. С. Дмитриев, 2015. -790 с.	6

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Бухмиров В.В., Щербакова Г.Н., Пекунова А.В. Теоретические основы теплотехники в примерах и задачах. Учеб. пособие / ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". – Иваново, 2013. – 128с http://ispu.ru/files/u2/UP_Teoreticheskie_osnovy_teplotehnik_i_zadachah.pdf
2	FlowVision CFD http://www.flowvision.ru/
3	ELCUY -программа моделирования полей http://elcut.ru/

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=9265>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Теплофизика твердого тела» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но задача не решена.
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

Особенности допуска

Допуском к экзамену является выполнение практических работ и защита отчетов по ним на коллоквиумах. Правила проведения экзамена: билет состоит из двух вопросов и задачи. Если задача решена и оба ответа на вопрос верные, а также уверенно студент отвечает на поясняющие вопросы, то оценка ”отлично”, если ответ на один вопрос неверный или его нет, то ”хорошо”, если два вопроса верно, но задача не решена -”удовлетворительно”, в остальных случаях ”неудовлетворительно”.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Способы переноса тепла: теплопроводность, конвекция, излучение
2	Поле температуры, понятие градиента температуры
3	Понятия теплоотдачи и теплопередачи: коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи, температурный напор, местный температурный напор, средний логарифмический и средний интегральный температурный напоры, внешнее и общее термические сопротивления
4	Феноменологический метод исследования процессов теплопроводности: особенности и ограничения
5	Термоупругость. Соотношения между напряжениями, деформациями и температурой
6	Уравнение теплопроводности. Уравнение равновесия. Обобщения уравнения теплопроводности: теплопроводность в кристалле, учет конечности скорости распространения тепла
7	Краевые условия и типы краевых задач: задача Коши, смешанная задача, стационарная задача. Граничные условия 1, 2, 3, 4-го рода.
8	Основные методы решения задач теплопроводности: метод разделения переменных однородных задач теплопроводности (метод Фурье).
9	Общее уравнение переноса тепла в жидкости
10	Методы размерностей и подобия. Терминология, виды параметров, первичные и вторичные величины, основные и производные единицы измерения
11	Особенности теплопередачи в нано и микроструктурах
12	Излучение (лучистый теплообмен).
13	Лучистый теплообмен между параллельными поверхностями.
14	Тепловые экраны.
15	Лучистый теплообмен в газах

16	Конвекция
17	Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Условия однозначности.
18	Вынужденная конвекция
19	Вынужденная конвекция в трубах и каналах.
20	Свободная (естественная) конвекция.

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина Теплофизика твердого тела ФЭЛ

1. Теплоотдача тела при внешнем обтекании его вынужденным потоком жидкости.
2. Основные методы решения задач теплопроводности: метод разделения переменных однородных задач теплопроводности (метод Фурье).
3. . Задача. Определить коэффициент теплоотдачи от вертикальной плиты высотой $H = 1,5$ м к окружающему воздуху, если известно, что температура поверхности плиты $T_w = 80$ 0С, температура окружающего воздуха вдали от поверхности $T_f = 20$ 0С.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В.В. Лучинин

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Вопросы к коллоквиуму

1. Теплопроводность через плоские стенки

2. Теплопроводность через цилиндрические стенки
3. Критический диаметр тепловой изоляции
4. Теплопроводность в стержне
5. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты.
6. Нестационарная теплопроводность: охлаждение (нагревание) пластины
7. Нестационарная теплопроводность: охлаждение (нагревание) цилиндра
8. Регулярный режим
9. Теплообмен при конденсации паров

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Тема 1. Терминология. Физические аспекты процессов теплообмена	
2		
3		
4		Коллоквиум
5	Тема 3. Конвективный теплоперенос. Распространение тепла в жидкости	
6		
7		
8		
9		Коллоквиум
10	Тема 4. Сложный теплообмен Тема 5. Механика жидкости и газа Тема 6. Теплообменные аппараты и системы Заключение	
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		Коллоквиум

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в коллоквиумах, дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на практических занятиях.

Участие в коллоквиуме по оценивается по следующим критериям:

«отлично» – активное участие в дискуссиях, использование полученных знаний и дополнительного материала, исчерпывающие ответы на все вопросы преподавателя;

«хорошо» – участие в дискуссиях, адекватные ответы на большинство вопросов преподавателя, использование полученных знаний;

«удовлетворительно» – не активное участие в дискуссиях, ответы не на все вопросы преподавателя, полученные знания используются в незначительной степени.

«неудовлетворительно» – не участвует в дискуссиях, не отвечает на вопросы, не готов к выступлению.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, компьютер или ноутбук, маркерная доска	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, компьютер или ноутбук, маркерная доска	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА