

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 16.09.2026 11:55:24
Уникальный программный ключ:
488ddcd30399efca200d034e027f45455f6eb1b9

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Г.Балашов

«30» июня 2026 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Биомедицинская теплофизика»

Направление подготовки 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»

Направленность (профиль) «Биомедицинская электроника»

Москва 2026

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Компетенция ПК-1 «Способен анализировать состояние медикобиологических и нанотехнических проблем при разработке интеллектуальных биотехнических систем и медицинских изделий» сформулирована на основе профессионального стандарта 26.014 «Специалист по проектированию, сопровождению производства и эксплуатации биотехнических систем».

Обобщенная трудовая функция С. Разработка, постановка на производство интеллектуальных биотехнических систем и технологий медицинского, экологического и биометрического назначения.

Трудовая функция С/01.7 Прототипирование интеллектуальных биотехнических систем и технологий медицинского, экологического и биометрического назначения.

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1.БТ Способен анализировать теплофизические процессы нагрева приборов при разработке интеллектуальных биотехнических систем и медицинских изделий	Определение тепловых режимов, конструктивных и эксплуатационных параметров биотехнических систем и медицинских изделий на основе анализа процессов переноса и рассеивания тепловой энергии	Знания: основных законов и уравнений теплофизики, биофизических механизмов теплопереноса в тканях, теплофизических свойств биологических сред, а также методов математического и компьютерного моделирования температурных полей при локальном нагреве имплантатов и внешних медицинских устройств; Умения: анализировать процессы переноса и рассеивания тепловой энергии в биологических тканях, выбирать адекватные модели, оценивать тепловое воздействие на окружающие ткани, проводить численные расчёты и интерпретировать результаты с точки зрения безопасности и эффективности работы изделия; Опыт деятельности: расчёта и анализа теплофизических процессов при нагреве биотехнических систем, проведения численных исследований теплофизических характеристик материалов и биологических объектов, обработки и критической оценки данных моделирования для обоснования проектных решений.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине - изучению дисциплины предшествует формирование общепрофессиональных компетенций в дисциплинах бакалавриата «Физика. Механика. Термодинамика», «Математический анализ», «Численные методы».

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
2	3	4	144	16	-	32	60	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Фундаментальные основы теплофизики.	6	-	12	20	Контрольная работа Защита индивидуального задания
2. Прикладная теплофизика биомедицинской электроники и имплантатов.	6	-	12	20	Контрольная работа Защита индивидуального задания
3. Оптимизация конструктивных решений и термобезопасность	4	-	8	20	Контрольная работа Защита индивидуального задания

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Введение. Основные понятия и законы термодинамики. Температура, теплота, внутренняя энергия. Виды теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
	2	2	Конвективный теплообмен. Закон Ньютона–Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Свободная и вынужденная конвекция. Критерии подобия (Nu, Re, Gr, Pr). Тепловое излучение. Закон Стефана–Больцмана.
	3	2	Нестационарная теплопроводность. Критерий Био. Тонкие и массивные тела. Регулярный режим. Метод сосредоточенной ёмкости. Основы численного моделирования тепловых полей (явные и неявные схемы).
2	4	2	Тепловыделение в активных имплантатах (кардиостимуляторы, нейростимуляторы, насосы). Нагрев пассивных имплантатов (эндопротезы, фиксаторы, стенты) при МРТ, диатермии и других внешних воздействиях. Тепловые интерфейсы «материал–ткань». Контактное термическое сопротивление.
	5	2	Тепловой менеджмент биомедицинских устройств: пассивные и активные методы отвода тепла (радиаторы, тепловые трубы, жидкостное охлаждение, использование материалов с высокой теплопроводностью). Влияние герметизации корпуса. Учёт теплового расширения и термомеханических напряжений. Тепловые испытания прототипов: термопары, тепловизоры, тепловые фантомы.
	6	2	Особенности теплообмена в многослойных тканях (кожа, жир, мышца, кость) при работе наружных и имплантируемых устройств. Учёт анизотропии теплопроводности. Модели перфузии (уравнение Пеннеса). Биологический отклик на нагрев: гипертермия, денатурация белков, пороги повреждения.
3	7	2	Оптимизация конструктивных решений для обеспечения заданного теплового режима. Выбор материалов (по теплопроводности, теплоёмкости, коэффициенту расширения). Оптимизация геометрии и расположения тепловыделяющих компонентов. Методы снижения локального нагрева: распределение мощности, тепловые буферы, фазопереходные материалы. Инженерный расчёт запаса по температуре.

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
	8	2	Нормативные требования к тепловому режиму медицинских изделий (стандарты IEC 60601, ГОСТ Р МЭК 60601, требования к имплантатам). Допустимые температуры для тканей человека (International Standard, FDA-рекомендации). Анализ рисков перегрева при отказах. Оценка соответствия при сертификации. Методы экспериментальной проверки тепловой безопасности на фантомах и животных моделях. Документирование тепловых испытаний.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1-3	12	Обсуждение теоретического материала, изложенного на лекциях. Представление выполненного индивидуального задания студентами в виде доклада с использованием презентации и ответом на вопросы аудитории. Проведение контрольной работы в конце модуля дисциплины.
2	4-6	12	Обсуждение теоретического материала, изложенного на лекциях. Представление выполненного индивидуального задания студентами в виде доклада с использованием презентации и ответом на вопросы аудитории. Проведение контрольной работы в конце модуля дисциплины.
3	7-8	8	Обсуждение теоретического материала, изложенного на лекциях. Представление выполненного индивидуального задания студентами в виде доклада с использованием презентации и ответом на вопросы аудитории. Проведение контрольной работы в конце модуля дисциплины.

4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	12	Усвоение теоретического материала, изложенного на лекциях. Работа с учебной, учебно-методической и специальной научно-технической литературой. Подготовка к контрольной работе №1.
	8	Выполнение индивидуального практико-ориентированного задания и подготовка доклада и презентации к его защите
2	12	Усвоение теоретического материала, изложенного на лекциях. Работа с учебной, учебно-методической и специальной научно-технической литературой. Подготовка к контрольной работе №1.
	8	Выполнение индивидуального практико-ориентированного задания и подготовка доклада и презентации к его защите
3	12	Усвоение теоретического материала, изложенного на лекциях. Работа с учебной, учебно-методической и специальной научно-технической литературой. Подготовка к контрольной работе №1.
	8	Выполнение индивидуального практико-ориентированного задания и подготовка доклада и презентации к его защите

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены.

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Методические рекомендации для студентов по выполнению заданий для самостоятельной работы, освоению учебной литературы, подготовки презентаций и научно-технических докладов, размещенном на информационном ресурсе <http://orioks.miet.ru/> в разделе «Методические рекомендации студентам по всей дисциплине» УМК дисциплины.

Модуль 1 «Фундаментальные основы теплофизики».

Конспекты лекций, литература Л1, Л2.

Модуль 2 «Прикладная теплофизика биомедицинской электроники и имплантатов»

Конспекты лекций, литература Л3, Л4.

Модуль 3 «Оптимизация конструктивных решений и термобезопасность».

Конспекты лекций, литература Л5.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Мелких, А. В. Теплофизика : учебник для вузов / А. В. Мелких. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50944-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/491393> (дата обращения: 12.06.2026). - Текст : электронный.

2. Апкарьян, А. С. Теплофизика : учебник для вузов / А. С. Апкарьян. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 191 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21826-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/590493> (дата обращения: 12.06.2026). - Текст : электронный.

3. Мачнева, Т. В. Медицинская и биологическая физика : учебное пособие для вузов / Т. В. Мачнева, А. А. Кягова. — Санкт-Петербург : Лань, 2026. — 160 с. — ISBN 978-5-507-54318-2. URL: <https://e.lanbook.com/book/515121> (дата обращения: 12.06.2026). - Текст : электронный.

4. Волькенштейн, М. В. Биофизика : учебное пособие для вузов / М. В. Волькенштейн. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 596 с. — ISBN 978-5-507-50794-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/465098> (дата обращения: 12.06.2026). - Текст : электронный.

5. Разина, И. С. Управление качеством и безопасностью медицинских изделий : учебное пособие / И. С. Разина, Е. В. Приймак. — Казань : КНИТУ, 2022. — 96 с. — ISBN 978-5-7882-3253-9. URL: <https://e.lanbook.com/book/412409> (дата обращения: 12.06.2026). - Текст : электронный.

Периодические издания

1. МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА : научно-технический журнал. - Москва : Медицина, 1967 - . - Переводная версия BIOMEDICAL ENGINEERING. - ISSN 0025-8075. — Текст: непосредственный.

2. БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА: Международный научно-прикладной журнал / Издательство "Радиотехника". - М. : Радиотехника, 1998. - . - ISSN 1560-4136. — Текст: непосредственный.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт. — Москва, 2000. — URL: <http://www.elibrary.ru/> (дата обращения: 12.06.2026). — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

2. Лань : Электронно-библиотечная система Издательства Лань. — СПб., 2011. — URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 12.06.2026). — Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

3.Юрайт : Электронно-библиотечная система : образовательная платформа. – Москва, 2013. – URL: <https://urait.ru/> (дата обращения: 12.06.2026); Режим доступа: для авторизированных пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Для взаимодействия преподавателей и студентов используются модули «Новости» и «Обратная связь» электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС, а также электронная почта.

Применяются следующие **модели обучения**: традиционная модель, которая ориентирована на прямую передачу знаний от преподавателя к студенту (применяемые методы: лекции, семинары, опрос); самостоятельная модель обучения.

При проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** в формах электронных презентаций и сопровождающих их текстовых файлов, содержащих описание лекционного материала в электронной информационной образовательной среде ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

Также обучающиеся могут использовать для самостоятельной работы научные онлайн-журналы, в которых публикуются статьи (в том числе обзорные) релевантные к теме дисциплины.

При необходимости дисциплина может быть реализована частично или полностью с применением дистанционных образовательных технологий. Лекционные и практические занятия, промежуточная аттестация, а также назначенные при необходимости консультации могут проходить с использованием интернет-сервисов видеоконференций, таких как «Яндекс.Телемост», «SberJazz».

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
		Chrome); Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции **ПК-1.БТ** «Способен анализировать теплофизические процессы нагрева приборов при разработке интеллектуальных биотехнических систем и медицинских изделий».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Посещение лекций и практических занятий обязательно. Лекционный курс проводится в пассивной форме – в данном случае студенты выступают в роли обучаемых, которые овладевают материалом или воспроизводят его за преподавателем. Лекции являются научным и информативным материалом, с доказательными и аргументированными данными, обоснованными различными фактами и убедительными примерами.

Лекции сопровождаются (иллюстрируются) мультимедийными материалами: презентациями, включающими в себя изображения, графики, таблицы; интернет-сайтами, видео- или аудиороликами, демонстрационными программами и т.п.

На практических занятиях студенты представляют подготовленные научно-технические доклады, сопровождаемые презентациями. Такая форма самостоятельной работы способствует приобретению студентами важных навыков исследовательской деятельности: самостоятельный поиск и усвоение материала, выделение главного, формулировка выводов. При подготовке научно-технического доклада студент приобретает навыки правильного представления результатов своей работы, научится кратко и четко излагать свои мысли.

Конкретные темы докладов не являются обязательными. Преподаватель формулирует тематику занятия, на котором собирается выступить студент, после чего студент может самостоятельно сформулировать тему своего доклада. Соответствие темы доклада тематике занятия является дополнительным критерием оценки успешности выполнения студентом задания. Дополнительной формой контактной работы являются консультации. Консультации проводятся лектором по мере необходимости, их посещать необязательно.

В конце пройденного модуля, на практическом занятии проводится контрольная работа.

Самостоятельная работа студента по модулям включает в себя усвоение теоретического материала (полученного в ходе лекционных занятий), подготовка к контрольным мероприятиям курса, подготовка решений типовых задач из домашнего задания, а также анализ информации, полученной при изложении докладов другими студентами группы.

При подборе материала для презентации следует руководствоваться следующими положениями:

- оптимальное количество источников научно-технической информации – 5-10;
- время, прошедшее с момента опубликования материала, не должно превышать 5 лет, поскольку в рамках курса изучаются быстроразвивающиеся области науки;
- публикации в газетах и научно-популярных изданиях не могут быть использованы в качестве источника информации, однако они могут стать отправными пунктами при поиске информации в сети Интернет. В публикации следует обратить внимание на название организации, проводящей исследования, и имена исследователей (если есть), после чего провести дополнительный поиск по ключевым словам с использованием названия организации и имён исследователей для того, чтобы найти работы по теме, опубликованные в академических изданиях.

При подготовке презентации следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- в рамках темы доклада студент должен суметь выделить несколько ключевых постулатов, положений, проблем, которые надо донести до аудитории;
- при оформлении презентации следует стараться создавать самостоятельный документ, который может быть понят без сопроводительного текста; в то же время слайды не должны дублировать текст доклада – основные идеи должны раскрываться с помощью рисунков, схем, графиков и формул;
- при определении количества слайдов следует ориентироваться на выделенное для доклада время, опираясь на приблизительную формулу «один слайд – тридцать секунд»;
- для того, чтобы уложиться в отведённое время, необходимо самостоятельно выполнить пробное выступление с хронометражем, и скорректировать доклад, если заданная продолжительность не выдерживается;
- оформление презентации должно продемонстрировать умение пользоваться компьютерными программами, используемыми в этих целях;
- в презентации обязательно должны присутствовать такие структурные элементы, как список авторов, тема, актуальность, цели и задачи, основные положения, выводы, список использованной литературы.

Студентам, которые не выступают с докладами, для успешного участия в обсуждении доклада рекомендуется провести самостоятельный поиск научно-технической информации по теме доклада, подготовить вопросы к докладчику.

В данном случае в качестве источников информации можно использовать публикации в прессе и научно-популярных изданиях. На основе этих публикаций можно сформулировать уточняющие вопросы. Вопросы следует формулировать так, чтобы помочь докладчику полнее раскрыть излагаемый материал, при этом не должна ставиться цель поставить докладчика в тупик. В то же время, кроме вопросов, студент,

участвующий в обсуждении, может делать уточняющие и дополняющие замечания. Такая форма участия в обсуждении обеспечит **интерактивность** процесса обсуждения.

Для успешной работы на семинарах студент так же должен самостоятельно готовиться к практическим занятиям. Преподаватель в конце каждого семинара объявляет тему следующего занятия. Студент самостоятельно ищет дополнительную информацию по теме и готовит вопросы к преподавателю так же, как он готовит вопросы к другим студентам, выступающим с научно-техническими докладами. Таким образом, стимулируется **активность** студентов на занятиях, которые проводятся в форме диалога преподавателя и студентов.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система. По сумме баллов выставляется итоговая оценка по дисциплине. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

Мониторинг успеваемости студентов проводится в течение семестра трижды: по итогам 8, 12 и 16 учебной недели.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 50	2
50 – 69	3
70 – 85	4
86 – 100	5

РАЗРАБОТЧИКИ:

доцент Института БМС,
к.ф.-м.н., доцент

 /А.А. Данилов /

доцент Института БМС,
к.т.н.

 /Р.Р. Аубакиров/

Рабочая программа дисциплины «Биомедицинская теплофизика» по направлению подготовки 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии», направленности (профилю) «Биомедицинская электроника» разработана в Институте БМС и утверждена на заседании УС Института БМС 30.06.2026 года, протокол № 9

Зам. директора по образовательной
деятельности Института БМС



/ А.А. Данилов /

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК



/ И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/ Директор библиотеки



/ Т.П. Филиппова /

Рабочая программа согласована с представителем профессионального сообщества

Генеральный директор
ООО «Эсдиар»



/ К.В. Пожар /