

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ
КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 4

от 23.07.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИИ СЕНСОРОВ

Направление подготовки [1] 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
(специальность)

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
1	4	144	16	32	0		96	0	30
Итого	4	144	16	32	0	0	96	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются основные физические принципы построения и функционирования сенсорных элементов и систем, способных к глубокой обработке полученных сигналов, к учету нелинейностей и влияний окружения, к рациональному изменению режимов работы в зависимости от обстоятельств. Уточнены понятия "сенсор" и "интеллектуальный сенсор", «датчик», описаны функциональные схемы простых и сложных сенсоров, приведена их классификация. Рассмотрены различные виды механических, акустических, электрических, электромагнитных, электрохимических и оптических простых и интеллектуальных сенсоров, объясняются физические принципы их действия. Приведены многочисленные примеры их применения. Изложены подходы к проектированию интеллектуальных сенсоров, раскрыты принципы построения и важнейшие технические характеристики их основных конструктивных узлов, программного построения, описаны способы селекции полезных сигналов. Очерчены направления дальнейшего развития сенсорных систем на основе автономности и распределенности.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дать основные физические представления о принципах построения и функционирования современных устройств на основе сенсорных технологий, примерах их применения, возможностях и перспективах применения сенсорных систем.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Профессиональный модуль, дисциплина по выбору

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
			проектно-конструкторский
подготовка к внедрению новых методов для создания и исследования	Материалы, компоненты, электронные приборы,	ПК-1.2 [1] - Способен применять полученные знания в области физики наносистем для	3-ПК-1.2[1] - Знать основы физики наносистем, в частности

<p>наноматериалов электроники и электронной техники, в том числе согласование и утверждение технических заданий на соответствующее оборудование</p>	<p>устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Иновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>разработки и проектирования новых приборов наноэлектроники, спинtronики и фотоники.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003</p>	<p>полупроводниковых, металлических и диэлектрических nanoструктур и тонких пленок; У-ПК-1.2[1] - Уметь применять полученные знания в области физики наносистем для разработки и проектирования новых приборов наноэлектроники, спинtronики и фотоники; В-ПК-1.2[1] - Владеть навыками анализа принципов работы приборов и устройств наноэлектроники, спинtronики и фотоники. с целью улучшения их функциональных характеристик</p>
производственно-технологический			
<p>организация и руководство процессом производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе nanoструктурных материалов</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и</p>	<p>ПК-15 [1] - способен к руководству разработкой и оптимизацией технологии производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе nanoструктурных материалов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный</p>	<p>3-ПК-15[1] - Знать: физико- технологических основы функционирования и производства приборов квантовой электроники и фотоники. ; У-ПК-15[1] - Уметь: разрабатывать и оптимизировать технологию</p>

	технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.	стандарт: 29.002	производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурных материалов; В-ПК-15[1] - Владеть: навыками руководства разработкой и оптимизацией технологии производства приборов электроники и наноэлектроники.
--	--	------------------	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>I Семестр</i>							
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2
2	Второй раздел	9-16	8/16/0		25	КИ-16	З-ПК-15, У-ПК-15, В-ПК-15
<i>Итого за I Семестр</i>			16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	ЗО	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2,

							З-ПК-15, У-ПК-15, В-ПК-15
--	--	--	--	--	--	--	---------------------------------

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
ЗО	Зачет с оценкой
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>I Семестр</i>	16	32	0
1-8	Первый раздел	8	16	0
1 - 2	Тема 1 Основные понятия. Сенсор и датчик. Функциональная схема простого сенсора. Активные и пассивные сенсоры. Сенсорно-компьютерные системы. Интеллектуальные сенсоры и их классификация по назначению, точности, габаритам и массе, принципу действия и природе первичного сигнала. Комбинированные сенсоры. Предел обнаружения, чувствительность и селективность. Виды механических сенсоров. Микросистемные технологии. Деформационные чувствительные элементы и деформационные интеллектуальные сенсоры. Механические сенсоры перемещения. Система глобального позиционирования и сенсоры GPS. Сенсоры линейного и углового перемещения. Энкодеры. Линейные и угловые акселерометры. Микромеханические гироскопы-акселерометры. Вибрационные сенсоры. Кантилеверы и виброанализаторы. Хроматографические сенсоры.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	0 4 0	0 0 0
3 - 4	Тема 2 Акустические сенсоры. Физические основы работы акустических сенсоров. Приемники акустических сигналов. Микрофоны. Гидрофоны. Стетоскопы. Поверхностные микрофоны. Портативные звукоанализаторы. Гидроакустические телефоны и прослушивающие устройства. Активные акустические сенсоры: тонометры, эхолоты и гидролокаторы. Ультразвуковые сенсоры расстояния. Датчики для УЗ исследований. Интеллектуальные сенсоры для сейсморазведки. Метод спектрально-сейсморазведочного профилирования. Сенсоры на поверхностных	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	4 0 0	0 0 0

	акустических волнах: их конструкция и реализация. Химические и биологические сенсоры на ПАВ. Применение ПАВ в адаптивных композитных структурах.			
5 - 6	Тема 3 Электрические сенсоры: физические основы работы и классификация. Резистивные, емкостные и импедансные сенсоры. Вольтаические сенсоры. Сенсоры на диодах, полевых и биполярных транзисторах. Цифровые фотоаппараты и видеокамеры, тепловизоры. Дактилоскопические сенсоры. Электромагнитные сенсоры. Интеллектуальные магнитные сенсоры Сверхчувствительные магнитные сенсоры на сквидах для медицины. Сканирующий микроскоп на сквидах. Индуктивные сенсоры.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
	Онлайн	0	0	0
7 - 8	Тема 4 Радиосенсоры и радиолокаторы. Мобильные телефоны. Радиосенсоры Bluetooth. Широкополосная и нелинейная радиолокация. Радиотелевизионные сенсоры. Электрохимические сенсоры. Классификация и принцип работы. Селективность. Потенциометрические ЭХ газовые и биосенсоры. Химически чувствительный полевой транзистор. Кондуктометрические, импедансные, амперометрические и кулонометрические газовые и жидкостные сенсоры. Примеры ЭХ сенсорных анализаторов: воды, алкоголя, глюкозы. Лаборатории на чипе.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
	Онлайн	0	0	0
9-16	Второй раздел	8	16	0
9 - 10	Тема 5 Классификация оптических сенсоров. Спектрофотометрические сенсоры. Фотоплетизмографы. Оксиметры и пульсоксиметры. Неинвазивные СФ сенсоры. Сенсоры гемоглобина. Сенсор кровенаполнения. Спектрофотометрические глюкометры. Сенсор для измерения хлорофилла в листьях растений. Люминесцентные сенсоры. Хронофлуорометры. Сенсоры с люминесцентными маркерами. Селективная модификация поверхности. Биолюминесцентные сенсоры. Сцинтилляционные сенсоры. Сенсоры на основе фотонных кристаллов и их применение для высокочувствительного детектирования нитроорганических соединений.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
	Онлайн	0	0	0
11 - 12	Тема 6 Поверхностный плазмонный резонанс и его применение для построения сенсоров. Виды кривой ППР. ППР для биохимического анализа. ППР-сенсоры с параллельным и расходящимся пучком. Промышленные ППР-сенсоры. Съемные receptorные чипы. Волоконно-оптические ППР-сенсоры. Мультисенсорные технологии. «Smart-dust» концепция создания полностью автономных распределенных сенсорных систем: от идеи до практической реализации	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
	Онлайн	0	0	0
13 - 14	Тема 7	Всего аудиторных часов		

	Элементная база интеллектуальных сенсоров: усилители, микроконтроллеры, память, микрокомпьютеры, интерфейсы. Этапы проектирования и программирования интеллектуальных сенсоров	2	4	0
Онлайн				
		0	0	0
15 - 16	Тема 8 Тенденции развития сенсорных технологий: новые материалы, методики применения. Развитие электронных систем обработки сенсорных сигналов. Беспроводная передача информации. Интеграция в диагностические системы для прикладных применений.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
Онлайн				
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
<i>1 Семестр</i>	
1	Тема 1 Основные понятия. Сенсор и датчик. Функциональная схема простого сенсора. Активные и пассивные сенсоры. Сенсорно-компьютерные системы. Интеллектуальные сенсоры и их классификация по назначению, точности, габаритам и массе, принципу действия и природе первичного сигнала. Комбинированные сенсоры. Предел обнаружения, чувствительность и селективность.
<i>2 Семестр</i>	
2	Тема 2 Виды механических сенсоров. Микросистемные технологии. Деформационные чувствительные элементы и деформационные интеллектуальные сенсоры. Механические сенсоры перемещения. Система глобального позиционирования и сенсоры GPS. Сенсоры линейного и углового перемещения. Энкодеры. Линейные и угловые акселерометры. Микромеханические гироскопы-акселерометры. Вибрационные сенсоры. Кантилеверы и виброанализаторы. Хроматографические сенсоры.
3	Тема 3 Акустические сенсоры. Физические основы работы акустических сенсоров. Приемники акустических сигналов. Микрофоны. Гидрофоны. Стетоскопы. Поверхностные микрофоны. Портативные звукоанализаторы. Гидроакустические телефоны и прослушивающие устройства. Активные акустические сенсоры: тонометры, эхолоты и гидролокаторы.
4	Тема 4 Ультразвуковые сенсоры расстояния. Датчики для УЗ исследований. Интеллектуальные сенсоры для сейсморазведки. Метод спектрально-

	сейсморазведочного профилирования. Сенсоры на поверхностных акустических волнах: их конструкция и реализация. Химические и биологические сенсоры на ПАВ. Применение ПАВ в адаптивных композитных структурах
5	Тема 5 Электрические сенсоры: физические основы работы и классификация. Резистивные, емкостные и импедансные сенсоры. Вольтаические сенсоры. Сенсоры на диодах, полевых и биполярных транзисторах. Цифровые фотоаппараты и видеокамеры, тепловизоры. Дактилоскопические сенсоры.
6	Тема 6 Электромагнитные сенсоры. Интеллектуальные магнитные сенсоры Сверхчувствительные магнитные сенсоры на сквидах для медицины. Сканирующий микроскоп на сквидах. Индуктивные сенсоры.
7	Тема 7 Радиосенсоры и радиолокаторы. Мобильные телефоны. Радиосенсоры Bluetooth. Широкополосная и нелинейная радиолокация. Радиотелевизионные сенсоры.
8	Тема 8 Электрохимические сенсоры. Классификация и принцип работы. Селективность. Потенциометрические ЭХ газовые и биосенсоры. Химически чувствительный полевой транзистор. Кондуктометрические, импедансные, амперометрические и кулонометрические газовые и жидкостные сенсоры. Примеры ЭХ сенсорных анализаторов: воды, алкоголя, глюкозы. Лаборатории на чипе.
9	Тема 9 Классификация оптических сенсоров. Спектрофотометрические сенсоры. Фотоплетизмографы. Оксиметры и пульсоксиметры. Неинвазивные СФ сенсоры. Сенсоры гемоглобина. Сенсор кровенаполнения. Спектрофотометрические глюкометры. Сенсор для измерения хлорофилла в листьях растений.
10	Тема 10 Люминесцентные сенсоры. Хронофлуорометры. Сенсоры с люминесцентными маркерами. Селективная модификация поверхности. Биолюминесцентные сенсоры. Сцинтиляционные сенсоры. Сенсоры на основе фотонных кристаллов и их применение для высокочувствительного детектирования нитроорганических соединений.
11	Тема 11 Поверхностный плазмонный резонанс и его применение для построения сенсоров. Виды кривой ППР. ППР для биохимического анализа. ППР-сенсоры с параллельным и расходящимся пучком. Промышленные ППР-сенсоры. Съемные рецепторные чипы. Волоконно-оптические ППР-сенсоры.
12	Тема 12 Мультисенсорные технологии. «Smart-dust» концепция создания полностью автономных распределенных сенсорных систем: от идеи до практической реализации
13	Тема 13 Элементная база интеллектуальных сенсоров: усилители, микроконтроллеры, память, микрокомпьютеры, интерфейс. Этапы проектирования и программирования интеллектуальных сенсоров.
14	Тема 14 Тенденции развития сенсорных технологий: новые материалы, методики применения.
15	Тема 15 Тенденции развития сенсорных технологий: Развитие электронных систем обработки сенсорных сигналов. Беспроводная передача информации. Интеграция в диагностические системы для прикладных применений.
16	Тема 16 Тенденции развития сенсорных технологий: новые материалы, методики применения.

	Развитие электронных систем обработки сенсорных сигналов. Беспроводная передача информации. Интеграция в диагностические системы для прикладных применений.
--	---

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При проведении лекций используются наглядны формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление приглашенных сотрудников кафедры "Физики микро- и наносистем" и других подразделений НИЯУ МИФИ, занимающихся исследованиями в области фотоники наноструктур. Студенты в обязательном порядке посещают лекции ведущих мировых ученых, выступающих в НИЯУ МИФИ с лекциями на тему "Физики наносистем и фотоники". Проведение семинаров предусматривает проведение дискуссий и выступления студентов с докладами на темы связанные с оптической спектроскопией и нанофотоникой.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1.2	З-ПК-1.2	ЗО, КИ-8
	У-ПК-1.2	ЗО, КИ-8
	В-ПК-1.2	ЗО, КИ-8
ПК-15	З-ПК-15	ЗО, КИ-16
	У-ПК-15	ЗО, КИ-16
	В-ПК-15	ЗО, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко иочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал

			монографической литературы.
85-89		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М 25 Введение в нанотехнологию : учебное пособие, Тупик В. А. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ М31 Введение в физикуnanoструктур : учебное пособие для вузов, Опенов Л.А., Маслов М.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
3. 620 М29 Нанотехнологии - Ударный вводный курс : учебное пособие, Лахтакия А., Мартин-Пальма Р.Дж., Долгопрудный: Интеллект, 2014
4. 621.3 Д40 Новейшие датчики : , Джексон Р.Г., Москва: Техносфера, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 681.5 И73 Интеллектуальные сенсорные системы : , , Москва: Техносфера, 2011
2. 621.38 Н25 Нанотехнологии в электронике Вып.3 , , Москва: Техносфера, 2015
3. 543 П78 Проблемы аналитической химии Т.20 Нанообъекты и нанотехнологии в химическом анализе, , Москва: Наука, 2015

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. <http://www.nanometer.ru/> (<http://www.nanometer.ru/>)
 2. <http://edunano.ru/> (<http://edunano.ru/>)
 3. <http://www.rp-photonics.com/> (<http://www.rp-photonics.com/>)
- <https://online.mephi.ru/>
- <http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Демонстрационный проектор

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Курс состоит из разделов, описывающих различные сенсоры и устройства на их основе, классифицируемые по физической природе первичного сигнала. Для каждого типа сенсоров студент обязан четко представлять принцип действия и физическое явление, лежащее в основе функционирования, технические параметры использующихся и разрабатываемых сенсоров, условия их применения. Отдельное внимание следует уделить технологии обработки информационного сигнала и построения на его основе «умных» устройств, объединенных по сетевому принципу.

Студент обязан владеть пониманием технологических приемов и требований, применяемые при разработке и производстве существующих и перспективных сенсорных элементов, знать основные направления развития и методы реализации сенсорики в различных областях человеческой деятельности, включая биомедицинские диагностические применения.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Курс «Физика и технологии сенсоров» логически поделен на два раздела.

1. Первый из которых посвящен изучению различных сенсоров и устройств на их основе, классифицируемых по физической природе первичного сигнала. При изложении материала особое внимание студентов следует сконцентрировать на принципах действия каждого из рассмотренных типов сенсоров. В данном разделе следует также дать четкое представление о физических явлениях, лежащих в основе функционирования сенсоров и их технических характеристиках.

2. Второй раздел посвящен условиям и областям применения уже существующих сенсоров, а также разработке новых устройств на их основе. При изложении материала особое внимание следует уделить технологии обработки информационного сигнала и построения на его основе «умных» устройств, объединенных по сетевому принципу.

Многие из магистрантов закончили региональные университеты, в которых уровень преподавания атомно-ядерной физики в рамках курса «Общей физики» сильно отличается от

стандарта НИЯУ МИФИ. Поэтому при изложении материала, помимо прочего, необходимо особое внимание уделить вводным разделам. Лекции должны сопровождаться наглядным иллюстративным материалом, в частности, с использованием компьютерных технологий. Следует уделить особое внимание практическим расчетам, выполняемым самими студентами при работе над текущими заданиями. Допускается использование студентами справочных материалов, необходимых для проведения численных расчетов. Формулировку практических заданий следует выполнять подробно, а так же допускать использование интернет-ресурсов при работе над заданиями.

Автор(ы):

Котковский Геннадий Евгеньевич, к.ф.-м.н.