

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»  
Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебно-методической  
работе, профессор Б. Г. Елина

« 31 » 08



**Рабочая программа дисциплины**  
«Теория колебаний и нелинейная динамика»

Направление подготовки 03.03.02  
«Физика»

Профили подготовки:  
«Медицинская физика» и «Компьютерные технологии в медицинской физике»

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов, 2016

## 1 Цели освоения дисциплины

*Целью* освоения дисциплины «Теория колебаний и нелинейная динамика» является формирование у студентов общепрофессиональных и специальных знаний в области физики колебаний и волн и математического аппарата, используемого для описания и моделирования колебаний и волн.

*Задачами* освоения дисциплины являются:

- формирование *знаний* об основных принципах описания колебаний и волн различной природы;
- формирование *умений* использовать существующие модели теории колебаний и волн для описания объектов, встречающихся в процессе профессиональной деятельности;
- формирование *владений* математическим аппаратом и численными методами исследования колебаний и волн.

## 2 Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Профессиональная дисциплина «Теория колебаний и нелинейная динамика» относится к базовой части блока «Дисциплины» и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению 03.03.02 в течение 6-го и 7-го учебных семестров (3-ий и 4-ый курсы). Дисциплина опирается на следующие ранее прочитанные курсы: «Математика. Часть 1. Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Математика. Часть 1. Векторный анализ», «Математика. Часть 3. Дифференциальные уравнения (прикладной аспект)», «Математический анализ», «Принципы расширения стандартных прикладных программ», «Биомедицинские вычислительные системы и комплексы» либо «Основы цифровой обработки сигналов». Курс готовит студентов к итоговой государственной аттестации.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Освоение дисциплины формирует следующие компетенции:

- ОПК-3 — способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

В результате освоения дисциплины обучающийся студент должен:

- *знать* универсальные нелинейные явления, наблюдаемые в физических, химических и медико-биологических системах;
- *уметь* теоретически анализировать, рассчитывать и экспериментально исследовать параметры и характеристики нелинейных;
- *владеть* методами теории устойчивости и бифуркаций динамических систем, основными подходами к теоретическому описанию и экспериментальному исследованию реальных колебательных систем.

## 4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 8 зачётных единиц (288 часов).

### 4.1 Распределение часов на по темам

№ п/п	Наименование раздела, подраздела, темы лекции	Семестр	Неделя семестра	Бюджет учебного времени					Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Всего	В том числе					
					Лекции	Лабораторные	Семинарские	СРС		
1	2			3	4	5	6	7	8	
Очная полная программа										
1	Гармонический осциллятор	6	1–2	16	2	4	2	8	индивидуальные отчёты по заданиям	
2	Линейный осциллятор с затуханием	6	3–4	16	2	4	2	8	индивидуальные отчёты по заданиям	

3	Линейный осциллятор под гармоническим воздействием. Резонанс	6	5–6	16	2	4	2	8	индивидуальные отчёты по заданиям
4	Консервативный и диссипативный нелинейный осциллятор	6	7–8	16	2	4	2	8	индивидуальные отчёты по заданиям
5	Осциллятор ван дер Поля. Автоколебания	6	9–10	18	2	4	2	10	индивидуальные отчёты по заданиям, контрольная работа
6	Генератор с жёстким возбуждением. Мультистабильность. Нелинейный резонанс	6	11–12	18	2	4	2	10	индивидуальные отчёты по заданиям
7	Одномерные отображения. Переход к хаосу через удвоение периода	6	13–14	18	2	4	2	10	индивидуальные отчёты по заданиям
8	Сечение Пуанкаре. Хаотическая динамика потоковых систем	6	15–16	16	2	4	2	8	индивидуальные отчёты по заданиям
9	Квазипериодические колебания	6	17	10	1	2	1	6	индивидуальные отчёты по заданиям
Аттестация по итогам семестра									экзамен

Итого за 6 учебный семестр				<b>180</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>76</b>	<b>36</b>
10	Колебания в цепочке связанных осцилляторов. Дисперсия	7	1– 2	16	4	4		8	индивидуальные отчёты по заданиям
11	Линейные волны в малых средах	7	3– 6	28	8	8		12	индивидуальные отчёты по заданиям
12	Бегущие волны в нелинейной среде без дисперсии. Опрокидывание волн	7	7– 8	16	4	4		8	индивидуальные отчёты по заданиям, контрольная работа
13	Стационарные ударные волны и солитоны	7	9– 12	32	8	8		16	индивидуальные отчёты по заданиям
14	Структуры	7	13– 14	16	4	4		8	индивидуальные отчёты по заданиям
Аттестация по итогам семестра									Зачет
Итого за 6 учебный семестр				<b>108</b>	<b>28</b>	<b>28</b>		<b>52</b>	<b>36</b>
<b>Итого по курсу</b>				<b>288</b>	<b>45</b>	<b>62</b>	<b>17</b>	<b>128</b>	<b>36</b>

## 4.2 Содержание дисциплины

- Гармонический осциллятор.** Вывод уравнений из задач о колебаниях грузика на пружинке, математического маятника при малом угле отклонения от нижнего положения равновесия и  $LC$ -контуре. Решение в общем виде. Получение выражения для амплитуды и начальной фазы колебаний. Понятие о фазовом пространстве, фазовый портрет на плоскости координата/скорость. Понятие об изохронности колебаний.
- Линейный осциллятор с затуханием,** вывод уравнений из задачи об  $RLC$ -

контуре. Понятие о консервативных и диссипативных системах. Решение в общем виде для малого затухания, поправка к частоте. Решение для большого затухания. Фазовые портреты при различном соотношении частоты  $\omega_0$  и параметра затухания  $\gamma$ . Понятие о пространстве параметров. Карта режимов на плоскости  $(\omega_0, \gamma)$ .

3. **Линейный осциллятор под гармоническим воздействием. Резонанс.** Понятие об автономных и неавтономных колебаниях. Модель  $RLC$ -контур с внешним ЭДС. Решение в виде суммы автономных и вынужденных колебаний. Зависимость амплитуды колебаний от расстройки по частоте. Понятие резонанса и резонансной кривой, ограничение резонанса при наличии диссипации.
4. **Консервативный и диссипативный нелинейный осциллятор.** Задача о математическом маятнике при произвольном угле отклонения от нижнего положения равновесия, осциллятор с нелинейностью типа синуса. Понятие потенциала. Консервативные осцилляторы с квадратичной и кубической нелинейностью: модель шарика в потенциальной яме. Фазовые портреты: замкнутые, пролётные траектории и сепаратрисы. Диссипативный осциллятор с квадратичной и кубической нелинейностью. Приближённое аналитическое решение для осциллятора с квадратичной нелинейностью методом разложения по малому параметру.
5. **Осциллятор ван дер Поля. Автоколебания.** Задача о вакуумном триоде: вывод уравнений ван дер Поля. Понятие автоколебаний, отличие автоколебаний от гармонических и вынужденных колебаний. Фазовый портрет осциллятора ван дер Поля. Понятие аттрактора в фазовом пространстве. Виды аттракторов: устойчивая точка и цикл. Осциллятор Реллея. Приближённое аналитическое решение, зависимость амплитуды от фазы: неизохронность.
6. **Генератор с жёстким возбуждением. Мультистабильность. Нелинейный резонанс.** Уравнения генератора с жёстким возбуждением, карта режимов. Понятие о бистабильности, сосуществование аттракторов, понятие бассейна притяжения. Неавтономный нелинейный осциллятор. Кратный резонанс.
7. **Одномерные отображения. Переход к хаосу через удвоение периода.** Понятие о системах с дискретным временем. Одномерные отображения, примеры: логистическое отображение, отображение окружности. Понятие об устойчивости, мультипликаторы. Устойчивость удвоенного и учетверённого режимов в логистическом отображении, последовательность удвоений, переход к хаосу (сценарий Фейгенбаума).

8. **Сечение Пуанкаре. Хаотическая динамика потоковых систем.** Сечение Пуанкаре — переход от потоков к каскадам. Образы устойчивой точки, цикла и хаотического аттрактора в сечении Пуанкаре. Примеры потоковых систем с хаотическим аттрактором: система Лоренца, система Рёсслера. Понятие ляпуновских показателей и ляпуновского времени. Значения ляпуновских показателей для устойчивого положения равновесия, цикла и хаотического аттрактора.
9. **Квазипериодические колебания.** Математические модели квазипериодических колебаний, определение. Геометрический образ квазипериодических движения: двумерный тор. Понятие о числах вращения и языках синхронизации. Ляпуновские показатели при квазипериодическом движении.
10. **Колебания в цепочке связанных осцилляторов. Дисперсия.** Осцилляторная модель упорядоченной структуры. Колебательно-волновой характер решений таких систем, дисперсионные уравнения. Диаграмма Бриллюэна. Дисперсия, причины существования дисперсии, к чему приводит наличие дисперсии при распространении волн. Дисперсионные характеристики. Предельный переход от упорядоченных структур к одномерной сплошной среде. Волны. Волновые уравнения. Волны в среде без дисперсии, гармонические волны. Две гармонические волны, волновой пакет. Фазовая и групповая скорости. Примеры распространения волнового пакета в средах с различной дисперсией.
11. **Линейные волны в малых средах.** Волны на поверхности жидкости и подходы к их описанию, основные уравнения. Дисперсионная характеристика гравитационно-капиллярных волн на воде. Волны от мгновенного точечного источника. Электромагнитные волны. Электронные приборы с распределенным взаимодействием.
12. **Бегущие волны в нелинейной среде без дисперсии.** Нелинейные волны в среде без дисперсии и диссипации; уравнение простой волны; укрупнение фронтов, обрушение. Понятие устойчивости. Конвективная и абсолютная неустойчивость.
13. **Стационарные ударные волны и солитоны.** Стабилизация возмущений из-за дисперсии и диссипации. Уравнение Кортевега–де Вриза, солитоны. Модель Колмогорова–Петровского–Пискунова (КПП).
14. **Структуры.** Свободные, вынужденные структуры. Автопаттерны. Реакционно-диффузные модели; статические структуры Тьюринга. Примеры структур в жидкости: вихри Тейлора, ячейки Бенара, рябь Фарадея. Турбулентность.

## 5 Образовательные технологии

При реализации различных видов учебной работы по данной дисциплине (лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа) с целью создания условий для самоактуализации и самореализации обучающихся, предоставления возможностей для конструирования собственного знания, используются следующие современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- конкурсное и соревновательное обучение;
- работа в малых группах;
- творческие задания.

Аудиторные занятия проводятся в форме лекций и лабораторных работ в компьютерном практикуме. Самостоятельная работа предполагает прежде всего самостоятельное выполнение студентом заданий компьютерного практикума, а также разбор лекционного материала.

Курс построен таким образом, что лекционные занятия и практикум тесно связаны друг с другом, лекционный материал подготавливает студента к выполнению соответствующего практического задания. Поскольку лекции носят практическую направленность, на них, часто в интерактивной форме, объясняются в том числе различные технические аспекты практических заданий.

Лекционные занятия проводятся частично при помощи мультимедийного проектора. Перед занятиями или непосредственно после них студентам может выдаваться конспективный материал. Поскольку обычно курс слушает небольшое число студентов: одна-две группы, лекционные занятия проводятся в режиме плотного контакта с аудиторией, ответы на вопросы даются, по возможности, непосредственно во время изложения текущей темы.

Задания практикума предполагают наличие у студентов базовых навыков программирования и логического мышления, поскольку все задания выполняются с помощью численных методов на компьютере. Тем не менее, практикум не ставит целью расширение знаний студента в области программирования. В качестве инструментария может применяться любой знакомый студенту язык программирования, может использоваться любая операционная система. Задания практикума не предполагают наличие в языке программирования мощных встроенных библиотек численных алгоритмов и построены таким образом, чтобы следующие задания опирались на предыдущие. В качестве



средства реализации может быть выбран любой современный распространённый язык, например, Pascal, Fortran, Python, C или иной. Выбор средств разработки: языка и среды является свободным для студента при соблюдении требования о технической и юридической возможности и правомочности использования выбранных средств.

## 5.1 Перечень лабораторных работ (примерный)

### 1. Одномерное отображение.

Цель работы: изучить сложное поведение одномерных отображений.

Задание: построить итерационную диаграмму (диаграмму Ламеррея) и временной ряд для одного из следующих отображений:

- (a) окружности,
- (b) логистического,
- (c) тента,
- (d) кубического.

### 2. Двумерное отображение.

Цель работы: изучить сложное поведение двумерных отображений.

Задание: построить фазовый портрет для одного из следующих отображений:

- (a) Эно,
- (b) Икеды,
- (c) Заславского.

### 3. Бифуркационное дерево.

Цель работы: изучить последовательность бифуркаций удвоения периода.

Задание: построить бифуркационное дерево по одному из параметров для одного из отображений из задания 1 или 2.

### 4. Пространство параметров.

Цель работы: освоить построение карт режимов.

Задание: постройте карту режимов для одного из двухпараметрических отображений из заданий 1 или 2.

### 5. Потокосые системы.

Цель работы: изучить одну из распространённых моделей осцилляторов.

Задание: построить при различных значениях параметров временные ряды координаты и скорости, а также фазовый портрет для одного из следующих осцилляторов:

- (a) линейный диссипативный осциллятор,
- (b) неавтономный линейный диссипативный осциллятор,
- (c) консервативный осциллятор с квадратичной нелинейностью,
- (d) консервативный осциллятор с кубической нелинейностью (осциллятор Дуффинга),
- (e) осциллятор ван дер Поля,
- (f) осциллятор Реллея,
- (g) генератор с жёстким возбуждением.

6. Динамический хаос в потоковых системах.

Цель работы: изучить хаотическую динамику простых потоковых систем.

Задание: постройте временные ряды и фазовый портрет для одной из следующих динамических систем в хаотическом режиме:

- (a) система Рёсслера,
- (b) система Лоренца,
- (c) автогенератор с 1,5 степенями свободы,
- (d) генератор Кияшко–Пиковского–Рабиновича,
- (e) генератор Анищенко–Астахова.

7. Сечение Пуанкаре.

Цель работы: освоить метод сечения Пуанкаре.

Задание: построить сечение Пуанкаре для одной из следующих систем в различных режимах (циклы различного периода, хаотический аттрактор):

- (a) система Рёсслера,
- (b) система Лоренца,
- (c) автогенератор с 1,5 степенями свободы,
- (d) генератор Кияшко–Пиковского–Рабиновича,
- (e) генератор Анищенко–Астахова.

8. Модели ансамблей (связанные ОДУ, взаимодействие популяций).

Цель работы: познакомиться с моделью взаимодействующих популяций.

Задание: смоделируйте различное поведение популяций, пользуясь готовыми шаблонами и алгоритмами.

9. Дисперсионная характеристика поверхностных волн на воде.

Цель работы: численно изучить особенности дисперсии волн на воде.

Задание: смоделируйте распространение волн на воде при различных видах дисперсионной характеристики для:

(а) капиллярных волн,

(b) гравитационных волн,

(с) смешанных капиллярно-гравитационных волн.

10. Фракталы.

Цель работы: численно изучить особенности дисперсии волн на воде.

Задание: изучите фракталы, появляющиеся в различных структурах.

## 5.2 Тематика семинарских занятий

1. Линейные колебания в различных физических системах.
2. Решение уравнений линейных колебаний.
3. Нелинейные колебания при различном виде потенциала.
4. Автоколебания.
5. Колебательные системы с дискретным временем.
6. Динамический хаос в системах с дискретным временем.
7. Отображение Пуанкаре.
8. Ляпуновские показатели.
9. Квазипериодические колебания.

### **5.3 Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются следующие дополнительные условия:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения;
- использование дистанционных образовательных технологий.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

### **6.1 Организация самостоятельной работы**

Конспекты лекций и задания для практикума выдаются студентам свободно после каждой лекции. При необходимости, они также могут получить программное обеспечение, лицензия которого позволяет его свободное распространение, в частности интерпретатор языка Python и модули к нему, среду разработки Lazarus для программирования на языке FreePascal, среду разработки Code::Blocks и набор компиляторов gcc и другие средства, которые могут быть доступны в компьютерном классе или иметься на руках у преподавателя.

Основным критерием освоения студентами курса выступает успешное выполнение ими работ лабораторного практикума. Все задания практикума строятся таким образом, чтобы как на завершающем, так и, по возможности, на промежуточных этапах

можно было проконтролировать правильность выполнения. Для контроля правильности выполнения используются специальные тестовые примеры, для которых результат известен из теоретических соображений. Данные для этих примеров могут даваться преподавателем либо, в ряде случаев, генерироваться самими студентами. В ряде случаев действенным методом контроля правильности полученных результатов является использование уже отлаженных ранее программ, например, освоив метод Гаусса студент может проверить правильность метода прогонки, а метод деления отрезка пополам может использоваться для контроля правильности работы метода Ньютона.

## 6.2 Методические рекомендации студентам

- Систематически посещать лекции, а в случае пропуска занятий по уважительной причине в кратчайшие сроки ознакомиться с пропущенным материалом. Это позволит без лишнего напряжения и полно воспринять представленный материал, а также при выполнении практических заданий не потерять связь с лекционным курсом.
- Иметь при себе тетрадь с лекциями по курсу и на каждом занятии в лабораторном практикуме.
- Стараться выполнить наиболее сложные задания в присутствии преподавателя, оставив для самостоятельной разработки более трудоёмкие, но алгоритмически несложные части работы.
- При возникновении сложно преодолимых трудностей не стесняться консультироваться у преподавателя и обращаться к рекомендованной литературе.

## 6.3 Методические рекомендации преподавателю

- Ознакомить студентов с программой курса, списком экзаменационных и контрольных вопросов, списком рекомендованной литературы и планом работы на семестр на первой лекции.
- Раздать студентам материалы для самостоятельной подготовки, в том числе и задания для вычислительной практики.
- Консультировать студентов по мере прослушивания курса и выполнения ими заданий самостоятельной подготовки.

- Во время лабораторных занятий стараться охватить наиболее сложные и неочевидные моменты.

## 6.4 Рекомендации по использованию информационных технологий

Кроме традиционного использования учебников, монографий и периодических научных изданий для более глубокого усвоения материала дисциплины целесообразно пользоваться ресурсами интернета и электронными учебными материалами, распространяемыми на компакт-дисках и пр.

Также приветствуется использование сетевых баз данных, библиотек методов и эталонных сигналов и прочих ресурсов, содержащих полезную информацию, способную расширить и углубить знания студентов в области обработки экспериментальных рядов.

## 6.5 Вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (в форме экзамена)

### 6.5.1 На 6-ый учебный семестр

1. **Гармонический осциллятор.** Вывод уравнений гармонического осциллятора из различных физических систем. Решение уравнения гармонического осциллятора. Фазовый портрет гармонического осциллятора. Понятие изохронности колебаний.
2. **Диссипативный осциллятор.** Понятие о консервативных и диссипативных системах. Вывод уравнений линейного диссипативного осциллятора из задачи о колебательном контуре. Решение уравнения линейного диссипативного осциллятора. Фазовый портрет линейного диссипативного осциллятора при различных значениях параметра диссипации  $\gamma$ . Виды устойчивых и неустойчивых состояний равновесия: фокус, узел.
3. **Вынужденные линейные колебания** под действием гармонической силы. Решение уравнения неавтономного линейного диссипативного осциллятора. Понятие резонанса.
4. **Нелинейный консервативный осциллятор.** Уравнение в общем виде. Потенциал и фазовый портрет осциллятора с квадратичной нелинейностью. Потенциал и фазовый портрет осциллятора с кубической нелинейностью (осциллятора

- Дуффинга). Потенциал и фазовый портрет осциллятора с нелинейностью синуса. Неизохронность нелинейных колебаний.
5. **Нелинейный диссипативный осциллятор.** Фазовый портрет, основные движения и сепаратрисы для случаев квадратичной и кубической нелинейности.
  6. **Вынужденные колебания нелинейного осциллятора.** Нелинейный неавтономный осциллятор под периодическим воздействием. Нелинейный резонанс.
  7. **Осциллятор Ван дер Поля.** Вывод уравнений из модели лампового генератора. Понятие автоколебаний. Фазовый портрет и форма зависимости координаты и скорости от времени в различных режимах поведения. Осциллятор Реллея. Бифуркация Андронова–Хопфа.
  8. **Осциллятор с жёстким возбуждением.** Фазовый портрет в различных режимах поведения. Понятие бистабильности.
  9. **Асимптотические методы решения нелинейных уравнений.** Метод быстрых и медленных движений для осциллятора Ван дер Поля, вывод укороченных уравнений.
  10. **Логистическое отображение.** Исследование на устойчивость, переход к удвоенному отображению. Понятие мультипликатора отображения. Связь мультипликатора и стабильности колебательного режима. Пример расчёта мультипликатора для одномерного отображения. Каскад бифуркаций удвоения периода и переход к хаосу. Понятие динамического хаоса и его отличие от стохастических (случайных) колебаний.
  11. **Переход от потоковых систем к системам с дискретным временем.** Сечение Пуанкаре для различных режимов. Стробоскопическое сечение.
  12. **Ляпуновские показатели.** Понятие старшего ляпуновского показателя, алгоритм вычисления старшего ляпуновского показателя при известном операторе эволюции. Понятие спектра ляпуновских показателей. Соответствие между спектром ляпуновских показателей и режимом поведения системы.
  13. **Квазипериодические движения в потоковых системах.** Условия на частоты колебаний. Двухмерный тор. Образ двумерного тора в сечении Пуанкаре.

### 6.5.2 На 7-ой учебный семестр

1. Переход от сосредоточенных систем к пространственно-распределённым.
2. Дисперсия волн, дисперсионное соотношение.
3. Уравнение простой волны.
4. Волны на воде: гравитационные.
5. Волны на воде: капиллярные.
6. Звуковые волны в сплошных средах.
7. опрокидывание волн. Критерии опрокидывания.
8. Ударные волны.
9. Солитоны.
10. Структуры и паттерны. Фракталы.

## 7 Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1— максимальные баллы по видам учебной деятельности в 6 и 7 семестрах

0	1	2	3	4	5	6	7	8
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	СМС	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
6	0	40	0	20	0	10	30	100
7	0	20	20	20	0	10	30	100

### 7.1 Программа оценивания учебной деятельности студента

*Лекции* — посещаемость не оценивается.

*Лабораторные занятия* — выполнения лабораторных работ предусмотренных рабочей программой: от 0 до 40 баллов.

*Практические занятия* — разбор теоретического материала лекций и материала, изученного на самостоятельных занятиях.



*Самостоятельная работа* — выполнение заданий лабораторных работ самостоятельно: от 0 до 20 баллов.

*Автоматизированное тестирование* — не предусмотрено рабочей программой.

*Другие виды учебной деятельности* — выполнение индивидуальных заданий по инициативе студента.

*Промежуточная аттестация (экзамен/зачёт)* — в зависимости от ответа студента на экзамене: от 0 до 30 баллов.

Подготовка студента к прохождению промежуточной аттестации осуществляется в ходе лекционных и лабораторных занятий, а также во внеаудиторные часы в рамках самостоятельной работы студента. Во время самостоятельной подготовки студент пользуется конспектами лекций, основной и дополнительной литературой по дисциплине. Промежуточная аттестация проводится в виде письменного экзамена. Во время проведения экзамена студент должен дать развернутый ответ на вопросы экзаменационного билета. Преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы по всем разделам изучаемой дисциплины. Во время ответа студент должен продемонстрировать знания по всему материалу изучаемой дисциплины. Студент должен уметь разделять факты и их интерпретацию, владеть методами аргументирования своих утверждений, а также методами построения и анализа математических моделей технологических процессов и производственных систем. Полнота ответа определяется показателями оценивания планируемых результатов обучения (раздел 1 «Фонда оценочных средств»).

При проведении промежуточной аттестации:

- ответ на «отлично»/«зачтено» оценивается от 24 до 30 баллов;
- ответ на «хорошо»/«зачтено» оценивается от 16 до 23 баллов;
- ответ на «удовлетворительно»/«зачтено» оценивается от 8 до 15 баллов;
- ответ на «неудовлетворительно»/«незачтено» оценивается от 0 до 7 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 6 и 7 семестры по дисциплине «Теория колебаний и нелинейная динамика» составляет 100 баллов.

Пересчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Теория колебаний и нелинейная динамика» в оценку (экзамен) осуществляется в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 — пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Теория колебаний и нелинейная динамика» в оценку (экзамен/зачёт)	
количество баллов	оценка
81–100	«отлично»/«зачтено»
61–80	«хорошо»/«зачтено»
40–60	«удовлетворительно»/«зачтено»
0–39	«неудовлетворительно»/«незачтено»

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр: в конце 6 и 12 недель обучения. Оценка студентам, успешно прошедшим обучение по дисциплине «Теория колебаний и нелинейная динамика», может быть проставлена без сдачи экзамена на основании рейтинговой оценки по решению преподавателя.

## 7.2 Контрольные вопросы

1. Что такое осциллятор?
2. Что такое аттрактор, в каких системах он может существовать?
3. Что такое фазовый портрет?
4. Что такое пространство параметров?
5. Как ищутся решения для неавтономных систем?
6. Какие колебания называют изохронными?
7. Что такое асимптотические методы решения дифференциальных уравнений?
8. Что такое дисперсия, дисперсионное соотношение?
9. Напишите уравнение простой волны.
10. Как происходит опрокидывание волн, что ему препятствует?
11. Что такое ударные волны?
12. Каковы основные свойства солитонов?

## 8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1 Основная литература

1. Алдошин, Г.Т. Теория линейных и нелинейных колебаний. [Электронный ресурс] : Учебные пособия — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 320 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/4640>.
2. Скубов, Д.Ю. Основы теории нелинейных колебаний. [Электронный ресурс] : Учебные пособия — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 320 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/30203>.
3. Перунова, М.Н. Колебания и волны : учеб. пособие / М.Н. Перунова .— Оренбург : ОГУ, 2012 — Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/186840>.

### 8.2 Дополнительная литература

1. Хазанов, Х.С. Механические колебания систем с распределенными параметрами : учеб. пособие / Х.С. Хазанов .— Самара : Издательство СГАУ, 2002 — Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/176474>.
2. Власов, Ю.Л. Свободные колебания системы с одной степенью свободы : метод. указания / Л.И. Кудина, Ю.Л. Власов .— Оренбург : ОГУ, 2012 — Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/187873>.
3. Молекулярная физика. Ч. 1 : Колебания и волны / В.И. Кукуев, В.В. Чернышев, И.А. Попова .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2009 .— 23 с. — Режим доступа: <http://rucont.ru/efd/245793>.

### 8.3 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Операционная система семейства Windows, либо Linux, либо Mac OS X.
2. Интернет браузер, например, Firefox, Google Chrome/Chromium или иные совместимые.
3. На выбор компилятор языка программирования и среда разработки, распространяемые под свободными лицензиями (GPL, LGPL, BSD, MIT и совместимыми с ними):

- (a) Free Pascal и среда разработки Lazarus;
  - (b) среда разработки Code::Blocks + компиляторы C, C++, D, Fortran;
  - (c) OpenJDK Java или Scala + среда Eclipse;
  - (d) Python + среда разработки IDLE.
4. Зональная научная библиотека им. В.А. Артисевич Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>

## 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционные занятия по дисциплине проводятся в аудиториях при помощи мультимедийного проектора, а также доски. Перед лекциями студентам может выдаваться печатный вариант краткого конспекта лекций.

Лабораторные занятия со студентами проходят в компьютерном классе, где установлено необходимое программное обеспечение и имеется достаточное количество персональных компьютеров. Также в классе имеется маркерная доска для объяснения студентам рабочих общих моментов практикума.

Самостоятельная работа студента с теоретическим материалом возможна с использованием электронных ресурсов дома, в научной библиотеке, и других местах, постоянный доступ в Интернет при этом не обязателен. Также студент может дома решать задачи лабораторного практикума, используя домашний персональный компьютер, поскольку все задания практикума могут быть выполнены с использованием открытого свободного программного обеспечения.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 «Физика» и профилям подготовки «Медицинская физика» и «Компьютерные технологии в медицинской физике».

Программа одобрена на заседании кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии 23 августа 2016 г., протокол № 8.

Авторы:

профессор кафедры динамического  
моделирования и биомедицинской  
инженерии, д.ф.-м.н. Безручко Б. П.

---

доцент кафедры динамического  
моделирования и биомедицинской  
инженерии, к.ф.-м.н. Сысоев И. В.

---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Зав. кафедрой динамического  
моделирования и биомедицинской  
инженерии, д.ф.-м.н., доцент  
Селезнёв Е. П.



---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Декан факультета нано- и  
биомедицинских технологий, д.ф.-м.н.,  
профессор Вениг С. Б.



---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

## 1 Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Теория колебаний и нелинейная динамика» является формирование у студентов общепрофессиональных и специальных знаний в области физики колебаний и волн и математического аппарата, используемого для описания и моделирования колебаний и волн.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование *знаний* об основных принципах описания колебаний и волн различной природы;
- формирование *умений* использовать существующие модели теории колебаний и волн для описания объектов, встречающихся в процессе профессиональной деятельности;
- формирование *владений* математическим аппаратом и численными методами исследования колебаний и волн.

## 2 Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Профессиональная дисциплина «Теория колебаний и нелинейная динамика» относится к базовой части блока «Дисциплины» относится к базовой части блока «Дисциплины» и изучается студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению 03.03.02 в течение 6-го и 7-го учебных семестров (3-ий и 4-ый курсы). Дисциплина опирается на следующие ранее прочитанные курсы: «Математика. Часть 1. Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Математика. Часть 1. Векторный анализ», «Математика. Часть 3. Дифференциальные уравнения (прикладной аспект)», «Математический анализ», «Принципы расширения стандартных прикладных программ», «Биомедицинские вычислительные системы и комплексы» либо «Основы цифровой обработки сигналов». Курс готовит студентов к итоговой государственной аттестации.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Освоение дисциплины формирует следующие компетенции:

Итого за 6 учебный семестр				180	17	34	17	76	36
10	Колебания в цепочке связанных осцилляторов. Дисперсия	7	1–2	16	4	4		8	индивидуальные отчёты по заданиям
11	Линейные волны в малых средах	7	3–6	28	8	8		12	индивидуальные отчёты по заданиям
12	Бегущие волны в нелинейной среде без дисперсии. Опрокидывание волн	7	7–8	16	4	4		8	индивидуальные отчёты по заданиям, контрольная работа
13	Стационарные ударные волны и солитоны	7	9–12	32	8	8		16	индивидуальные отчёты по заданиям
14	Структуры	7	13–14	16	4	4		8	индивидуальные отчёты по заданиям
Аттестация по итогам семестра									
Итого за 6 учебный семестр				108	28	28		52	36
Итого по курсу				288	45	62	17	128	36

## 4.2 Содержание дисциплины

1. **Гармонический осциллятор.** Вывод уравнений из задач о колебаниях грузика на пружинке, математического маятника при малом угле отклонения от нижнего положения равновесия и  $LC$ -контуре. Решение в общем виде. Получение выражения для амплитуды и начальной фазы колебаний. Понятие о фазовом пространстве, фазовый портрет на плоскости координата/скорость. Понятие об изохронности колебаний.
2. **Линейный осциллятор с затуханием,** вывод уравнений из задачи об  $RLC$ -