

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан дорожно-транспортного  
факультета

  
Дорожно-транспортный факультет  
А.В. Еремин

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан строительного факультета

  
Строительный факультет  
Д.В. Панфилов

Д.В. Панфилов

\_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины**

***Нелинейные задачи строительной механики***

Специальность **08.05.01** *Строительство уникальных зданий и сооружений*

Специализация №1 *«Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений»*

Специализация №2 *«Строительство подземных сооружений»*

Специализация №5 *«Строительство автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений»*

Квалификация (степень) выпускника *инженер-строитель*

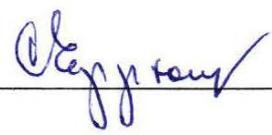
Год начала подготовки *2016 г.*

Нормативный срок обучения: *6 лет*

Форма обучения: *очная*

Автор программы: к.т.н., доцент  А.Н. Аверин

Программа обсуждена на заседании кафедры строительной механики  
Протокол № *1* от « *31* » *08* 2017 года

Зав. кафедрой  С.В. Ефрюшин

**Воронеж 2017**

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели дисциплины

Цель преподавания дисциплины состоит в усвоении студентами знаний в области анализа работы и расчета конструкций с учётом нелинейностей, выполненных из различных материалов, на прочность, жесткость и устойчивость при различных воздействиях с использованием современного вычислительного аппарата.

## 1.2. Задачи освоения дисциплины:

- ознакомить учащихся с расчётным анализом конструкций при необходимости учёта физической, геометрической и конструктивной нелинейности;
- научить выполнять расчеты конструкций с учётом нелинейностей с помощью современных программных комплексов;

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Нелинейные задачи строительной механики» относится к Блоку 1 учебного плана.

*Требования к входным знаниям, умениям и компетенциям студента, необходимым для изучения данной дисциплины.*

Изучение дисциплины «Нелинейные задачи строительной механики» требует основных знаний, умений и компетенций студента по следующим курсам.

"Высшая математика" (Естественнонаучный и общетехнический цикл);

Анализ функции одного и нескольких переменных; дифференциальное и интегральное исчисление; исследование функции; приближенное решение уравнений; дифференциальные уравнения; векторы и матрицы; решение линейных алгебраических уравнений.

"Теоретическая механика", (Естественнонаучный и общетехнический цикл):

Основные понятия и определения; основные теоремы статики; статика несвободного абсолютно твердого тела; объёмные и поверхностные силы; кинематика точки; кинематика твёрдого тела; сложное движение точки; динамика материальной точки; основы теории колебаний; общие теоремы динамики; динамика абсолютно твёрдого тела; принципы механики.

"Сопrotивление материалов", (Профессиональный цикл):

Геометрические характеристики поперечных сечений стержней; понятия деформаций, перемещений, напряжений; закон Гука; модуль упругости; коэффициент поперечной деформации; центральное растяжение и сжатие стержней; внутренние усилия в балках и рамах при изгибе; напряжения в стержнях при изгибе. Изгиб с растяжением и сжатием, изгиб с кручением; устойчивость сжатых стержней; статически определимые и статически неопределимые задачи.

Дисциплина «Строительная механика», (Профессиональный цикл):

Расчёт многопролётных шарнирных балок; расчёт статически определимых ферм, рам, арок; аппарат линий влияния; определение перемещений в статически определимых системах; основные методы расчёта статически неопределимых систем, метод сил, метод перемещений, смешанный метод, основы метода конечных элементов.

### 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс изучения дисциплины *«Нелинейные задачи строительной механики»* направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-7);

- владением методами математического (компьютерного) моделирования на базе универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам (ПК-11).

В результате изучения дисциплины студент должен:

***Знать:***

основные методы и практические приемы расчета реальных конструкций и их элементов в нелинейной постановке из различных материалов по предельным расчетным состояниям на различные воздействия.

***Уметь:***

грамотно составить расчетную схему сооружения в нелинейной постановке, выбрать наиболее рациональный метод расчета при различных воздействиях, найти распределение усилий и напряжений, обеспечить необходимую прочность и жесткость его элементов с учетом реальных свойств конструкционных материалов, используя современную вычислительную технику.

***Владеть:***

общими фундаментальными понятиями о различных видах нелинейностей конструкций и сооружений, способами и приемами решения подобных задач, навыками расчёта конструкций с учётом нелинейностей; определения внутренних усилий, напряжений и перемещений в элементах статически определимых и неопределимых систем современными методами при различных воздействиях, применять, анализировать и проверять результаты расчетов, получаемых с помощью ПЭВМ.

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «*Нелинейные задачи строительной механики*» составляет 5 зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		A(10)		
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	68	68		
В том числе:				
Лекции	34	34		
Практические занятия (ПЗ)	34	34		
Лабораторные работы (ЛР)	-	-		
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	76	76		
В том числе:				
Курсовой проект	-	-		
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	Экзамен (36 час.)	Экзамен (36 час.)		
Общая трудоемкость	час	180	180	
	зач. ед.	5	5	

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Введение. Виды нелинейности в теории расчета конструкций.	<p>Общие фундаментальные понятия о природе возникновения геометрической и физической нелинейностей в задачах строительной механики.</p> <p>Физическая нелинейность. Нелинейно-упругий, упруго-пластический и жесткопластический материал. Аппроксимация экспериментальных кривых деформирования материалов.</p> <p>Геометрическая нелинейность, конструктивная нелинейность, генетическая нелинейность.</p> <p>Основные постановки при решении задач нелинейной строительной механики. Основные теоремы строительной механики нелинейных стержневых систем.</p>
2	Основные положения нелинейной строительной механики.	<p>Тензоры напряжений, деформаций и скоростей деформаций. Инварианты тензоров напряжений и деформаций. Основные уравнения нелинейно-упругого и упругопластического тела. Простое и сложное нагружения. Активная и пассивная деформации.</p> <p>О теориях деформирования.</p>

3	Методы решения задач нелинейной теории упругости и теории пластичности.	Метод упругих решений (МУР). Метод переменных параметров упругости (МППУ). Метод дополнительных деформаций. Метод Ньютона–Рафсона. Модифицированный метод Ньютона–Канторовича. Метод последовательного нагружения (МПН). Учет последовательности возведения наращиваемых сооружений.
4	Расчёт физически нелинейных стержневых систем	Основы расчета нелинейно-упругих балок. Примеры расчета физически нелинейных стержневых систем приближенными методами.
5	Геометрически нелинейные задачи. Большие перемещения и неустойчивость конструкций.	Особенности расчёта по деформированному состоянию. Точный расчёт по деформированному состоянию. Расчёт по деформированному состоянию способом последовательных приближений. Расчёт рам по деформированному состоянию последовательными приближениями. Продольно-поперечный изгиб.
6	Основы метода конечных элементов (МКЭ) для решения нелинейных задач.	<p>Типы конечных элементов для учета физической и геометрической нелинейностей. Программные расчетные комплексы Лира, SCAD, ANSYS, для решения нелинейных задач конструкций на ПЭВМ. Создание конечно-элементных моделей конструкций. Управление нелинейным расчетом с использованием шаговых и шагово-итерационных решателей, последовательность выполнения расчетов в ПК SCAD, Лира, ANSYS.</p> <p>Учёт геометрической, физической и генетической нелинейности при расчёте стержневых систем методом конечных элементов.</p> <p>Расчет геометрически нелинейных большепролетных конструкций - вантовых и висячих систем.</p> <p>Метод конечных элементов для анализа устойчивости геометрически нелинейных систем.</p>
7	Расчет конструкций по несущей способности. Метод предельного равновесия.	<p>Основы расчета конструкций по предельному состоянию. Статический и кинематический методы решения задач предельного равновесия.</p> <p>Растяжение и сжатие. Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения. Предельное равновесие многопролетных неразрезных балок. Особенности расчета изгибаемых конструкций методом предельного равновесия. Применения статической и кинематической теорем. Расчет рам и арок. Расчет ферм. Влияние упругости и смещений опор на величину предельной нагрузки. Предельное равновесие изгибаемых пластин.</p> <p>Применение методов математического программирования для задач предельного равновесия.</p> <p>Понятие о приспособляемости конструкций.</p>

## 5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин						
		1	2	3	4	5	6	7

1	Металлические конструкции, включая сварку	+	+	+	+	+	+	+
2	Основания и фундаменты	+	+	+	+	+	+	+
3	Железобетонные и каменные конструкции	+	+	+	+	+	+	+
4	Нелинейные задачи строительной механики	+	+	+	+	+	+	+
5	Теория пластин и оболочек	+	+	+	+	+	+	+
6	Спецкурс по теории подземных сооружений	+	+	+	+	+	+	+

### 5.3. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего час.
1	Введение. Виды нелинейности в теории расчета конструкций.	2	2	-	8	12
2	Основные положения нелинейной строительной механики.	4	4	-	10	18
3	Методы решения задач нелинейной теории упругости и теории пластичности.	6	6	-	12	24
4	Расчёт физически нелинейных стержневых систем	6	6	-	10	22
5	Геометрически нелинейные задачи. Большие перемещения и неустойчивость конструкций.	4	4	-	10	18
6	Основы метода конечных элементов (МКЭ) для решения нелинейных задач.	6	6	-	10	22
7	Расчет конструкций по несущей способности. Метод предельного равновесия.	6	6	-	12	24

### 5.4. Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час)
1	1	Физическая нелинейность. Нелинейно-упругий, упругопластический и жесткопластический материал. Аппроксимация экспериментальных кривых деформирования материалов.	2
2	1	Геометрическая нелинейность, конструктивная нелинейность, генетическая нелинейность.	2
3	1	Основные постановки при решении задач нелинейной строительной механики. Основные теоремы строительной механики нелинейных стержневых систем.	2
4	2	Тензоры напряжений, деформаций и скоростей деформаций. Инварианты тензоров напряжений и деформаций. Основные уравнения нелинейно-упругого и упругопластического тела.	2
5	3	Метод упругих решений (МУР). Метод переменных параметров упругости (МППУ).	3
6	3	Метод дополнительных деформаций. Метод Ньютона–Рафсона. Модифицированный метод Ньютона–Канторовича.	3

7	3	Метод последовательного нагружения (МПН). Учет последовательности возведения наращиваемых сооружений.	2
8	4	Примеры расчета физически нелинейных стержневых систем приближенными методами.	2
9	5	Расчёт по деформированному состоянию способом последовательных приближений. Расчёт рам по деформированному состоянию последовательными приближениями.	2
10	6	Программные расчетные комплексы Лира, SCAD, ANSYS, для решения нелинейных задач конструкций на ПЭВМ. Создание конечно-элементных моделей конструкций.	4
11	6	Управление нелинейным расчетом с использованием шаговых и шагово-итерационных решателей, последовательность выполнения расчетов в ПК SCAD, Лира, ANSYS.	2
12	6	Расчет геометрически нелинейных большепролетных конструкций - вантовых и висячих систем.	2
13	7	Расчет по предельному равновесию рам, арок и ферм.	2
14	7	Предельное равновесие изгибаемых пластин.	2
15	7	Применение методов математического программирования для задач предельного равновесия.	2

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

### 6.1. Курсовой проект и его характеристики

Курсовой проект не предусмотрен

### 6.2. Индивидуальные задания и их характеристики.

Индивидуальные задания представляют собой расчетно-графические работы, в которых студенты самостоятельно решают и оформляют индивидуально выданные задачи по основным темам с последующей устной и письменной защитой.

Темы индивидуальных заданий

РГР № 1 «Расчет пространственной плитно-стержневой системы с учётом инженерной нелинейности по МКЭ»

РГР № 2 «Расчет геометрически нелинейной висячей системы по МКЭ».

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Компетенция (общепрофессиональная – ОПК; профессиональная - ПК)	Форма контроля	семестр
1	(ОПК-7) способностью выявить естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат;	Расчетно-графические работы №1,2 (РГР) Экзамен.	А (10)
2	(ПК-11) владением методами математического (компьютерного) моделирования на базе универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам.	Расчетно-графические работы №1,2 (РГР) Экзамен.	А (10)

### 7.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Форма контроля		
		РГР	УПР	Экзамен
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	+	+	+
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).	+	+	+
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).	+	+	+

#### 7.2.1. Этап текущего контроля знаний

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по пятибалльной шкале с оценками:

- «отлично»;

- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «не аттестован».

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Оценка	Критерий оценивания
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	отлично	Полное или частичное посещение лекционных и практических занятий. Выполненные РГР на оценки «отлично».
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	хорошо	Полное или частичное посещение лекционных и практических занятий. Выполненные РГР на оценки «хорошо».
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	удовлетворительно	Полное или частичное посещение лекционных и практических занятий. Удовлетворительное выполненные РГР.
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики	неудовле-	Частичное

	ки, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	творительно	посещение лекционных и практических занятий. Неудовлетворительно выполненные РГР.
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	не аттестован	Непосещение лекционных и практических занятий. Не выполненные РГР.
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		

### 7.2.2. Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний (экзамен) оцениваются по четырём балльной шкале с оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «не удовлетворительно»;
- «не аттестован».

Дескриптор компетенции	Показатель оценивания	Оценка	Критерий оценивания
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	отлично	Полное или частичное посещение лекционных и практических занятий. Выполненные РГР на оценки «отлично».
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		

	11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	хорошо	Полное или частичное посещение лекционных и практических занятий. Выполненные РГР на оценки «хорошо».
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкций. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	удовлетворительно	Полное или частичное посещение лекционных и практических занятий. Удовлетворительное выполненные РГР.
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкций. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	неудовлетворительно	Частичное посещение лекционных и практических занятий. Неудовлетворительно выполненные РГР.
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных конструкций. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		
Знает	Основы нелинейной строительной механики, включая физически, геометрически и конструктивно нелинейные задачи (ОПК-7, ПК-11).	не аттестован	Непосещение лекционных и практических занятий. Не выполненные РГР.
Умеет	Самостоятельно использовать практические методы расчета прочности, жесткости, устойчивости элементов строительных кон-		

	струкции. Расширять свои познания в области строительной механики (ОПК-7, ПК-11).		
Владеет	Первичными навыками и основными методами решения нелинейных задач расчета прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции (ОПК-7, ПК-11).		

### **7.3 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

#### **7.3.1. Вопросы для подготовки к экзамену:**

1. Расчётные модели конструкций и их составляющие. Основные типы уравнений строительной механики.
2. Основные принципы, положенные в основу линейной строительной механики.
3. Основные виды нелинейностей в задачах строительной механики и их краткая характеристика.
4. Физически нелинейные задачи. Основные расчётные модели материалов.
5. Понятия: секущего модуля упругости, секториального модуля упругости и касательного модуля упругости.
6. Напряжённое состояние в точке деформированного тела. Разложение тензора напряжений на шаровой тензор напряжений и тензор девиатор.
7. Деформированное состояние в точке тела. Разложение тензора деформаций на шаровой тензор и тензор девиатор.
8. Инварианты напряженно-деформированного состояния. Главные напряжения и главные деформации.
9. Интенсивности нормальных и касательных напряжений. Интенсивности линейных деформаций и деформаций сдвига.
10. Основные группы теорий пластичности: деформационные теории и теория пластического течения. Основные предположения теорий пластичности.
11. Основные уравнения линейно-упругого тела. Граничные условия. Формулировка уравнений теории упругости в перемещениях.
12. Основные положения теории малых упругопластических деформаций А. А. Ильюшина.
13. Основные положения теории пластического течения. Ассоциированный закон течения.
14. Предельное напряженное состояние. Теории прочности: теория Треска–Сен-Венана, теория Губера-Мизеса, теория Мора–Кулона.
15. Зависимости между интенсивностями напряжений и деформаций. Зависимость А. А. Ильюшина.
16. Степенная зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций.
17. Гиперболическая зависимость между интенсивностями напряжений и деформаций.

18. Зависимость В. В. Соколовского между интенсивностями напряжений и деформаций.
19. Уравнение изгиба балки из нелинейно-упругого материала.
20. Уравнение изгиба пластины из нелинейно-упругого материала.
21. Итерационные методы решения физически нелинейных задач. Метод упругих решений.
22. Итерационный метод переменных параметров упругости для физически нелинейных задач.
23. Итерационный метод Ньютона–Рафсона для физически нелинейных задач. Модифицированный метод Ньютона-Канторовича.
24. Метод последовательных нагружений для физически нелинейных задач.
25. Расчёт нелинейно-упругих балок. Метод Бубнова-Галёркина.
26. Расчёт балки из нелинейно-упругого материала методом упругих решений.
27. Уравнение изгиба балки в приращениях (инкрементальное уравнение). Метод последовательных нагружений для расчёта нелинейно-упругой балки.
28. Метод предельного равновесия. Основные положения теории предельного равновесия.
29. Понятия предельного усилия и пластического шарнира. Статически допустимое распределение усилий. Кинематически допустимые перемещения и деформации. Определение параметра предельной нагрузки.
30. Основные теоремы теории предельного равновесия. Статический и кинематический методы.
31. Типы нагрузок и основные постановки задач предельного равновесия.
32. Несущая способность сечений. Предельные усилия при чистом изгибе, растяжении (сжатии), сдвиге и кручении. Предельный момент для железобетонного прямоугольного сечения.
33. Условие текучести для прямоугольного сечения при внецентренном растяжении (сжатии).
34. Условие текучести для прямоугольного сечения при внецентренном растяжении (сжатии).
35. Условия пластичности для изгибаемых пластин.
36. Расчёт стержневых систем методом предельного равновесия. Статический и кинематический методы. Примеры применения методов к однопролётной балке.
37. Расчёт кинематическим методом двухпролётной балки нагруженной в одном пролёте равномерно распределённой нагрузкой. Случай балки переменного сечения.
38. Понятие о расчёте рам и арок методом предельного равновесия.
39. Расчёт плит методом предельного равновесия.
40. Определение предельных нагрузок для пластин прямоугольной формы в плане, шарнирно закрепленных по контуру и находящихся под действием поперечной нагрузки. Случай закрепления пластины с возможностью приподнимания углов пластины (односторонние связи). Пластины с защемлёнными по контуру.

41. Расчёт многоугольной в плане плиты, шарнирно опёртой по контуру и загруженной в точке сосредоточенной силой. Предельный переход к круглой в плане плите.
42. Понятие задачи линейного программирования. Дискретизация стержневой изгибаемой системы.
43. Статическая и кинематическая формулировки задачи линейного программирования в матричном виде для определения предельной нагрузки по стадии пластического разрушения.
44. Задача определения требуемых предельных изгибающих моментов (задача оптимизации) по стадии пластического разрушения упругопластической стержневой системы.
45. Общая характеристика геометрически нелинейных задач.
46. Продольно-поперечный изгиб стержня.
47. Расчёт по деформированному состоянию простейшей шарнирно-стержневой системы.
48. Получение точных решений для сжато-изогнутых стержней.
49. Понятие об устойчивости первого и второго рода. Деформационный расчёт и устойчивость второго рода.
50. Расчёт рам по деформированному состоянию методом перемещений.
51. Гибкие нити, классификация по геометрическим параметрам.
52. Основное дифференциальное уравнение равновесия нити.
53. Расчёт пологой нити при действии распределённой нагрузки. Понятие цепной линии.
54. Конструктивная нелинейность. Упругие системы с односторонними связями. Особенности функции потенциальной энергии.
55. Понятие рабочей системы на примере конструктивно нелинейной неразрезной балки.
56. Формулировка необходимых и достаточных условий равновесия линейно-упругой системы с односторонними связями.

### 7.3.2. Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Введение. Виды нелинейности в теории расчета конструкций.	ОПК-7, ПК-11	Экзамен
2	Основные положения нелинейной строительной механики.	ОПК-7, ПК-11	Экзамен
3	Методы решения задач нелинейной теории упругости и теории пластичности.	ОПК-7, ПК-11	Экзамен
4	Расчёт физически нелинейных стержневых систем	ОПК-7, ПК-11	Экзамен
5	Геометрически нелинейные задачи. Большие перемещения и неустой-	ОПК-7, ПК-11	Экзамен

	чивость конструкций.		
6	Основы метода конечных элементов (МКЭ) для решения нелинейных задач.	ОПК-7, ПК-11	Экзамен
7	Расчет конструкций по несущей способности. Метод предельного равновесия.	ОПК-7, ПК-11	Экзамен

### 8. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

№ П \ П	Наименование издания	Вид издания (учебник, учебное пособие, методические указания, компьютерная программа)	Автор (авторы)	Год издания	Место хранения и количество
1	Лекции по основам нелинейной строительной механики	Лекции	Ефрюшин С. В.	2015	Кафедра
2	Введение в нелинейную строительную механику	Учебное пособие	О. Л. Рудых, Г. П. Соколов, В. Л. Пахомов	2009	Кафедра

### 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Практические занятия	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Решение задач, предлагаемых преподавателем, с использованием учебной и нормативно-справочной литературы.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.

### 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **10.1 Основная литература:**

1. Петров В.В., Кривошейн И.В. Методы расчёта конструкций из нелинейно-деформируемого материала – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 208 с.
2. Шапиро, Д. М. Метод конечных элементов в строительном проектировании [Текст] : монография. - Воронеж : Научная книга, 2013 (Воронеж : Тип. ООО ИПЦ "Научная книга", 2013). - 181 с.
3. Дарков, А. В., Шапошников, Н. Н. Строительная механика:учебник. - 12-е изд., стер.. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010 -655 с.

### **10.2 Дополнительная литература:**

1. Верюжский Ю. В., Голышев А. Б., Колчунов В. И., и др. Справочное пособие по строительной механике:в 2 томах - Т. 2. - Москва : АСВ, 2014 -431 с.
2. Верюжский Ю. В., Голышев А. Б., Колчунов В. И., и др. Справочное пособие по строительной механике:в 2 томах - Т. 2. - Москва : АСВ, 2014 -. -639 с.
3. Строительная механика. В 2 кн. Кн. 1 Статика упругих систем : учеб. пособие для вузов / В. Д. Потапов [и др.] ; под ред. В. Д. Потапова. – М.: Высш. шк., 2007. – 511 с.
4. Рудых, О. Л. Введение в нелинейную строительную механику : учеб. пособие / О. Л. Рудых, Г. П. Соколов, В. Л. Пахомов ; под ред. О. Л. Рудых. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 103 с.

#### *Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы*

1. Интернет-библиотека.

### **10.3 Периодические издания**

1. Журналы «Строительство», «Строительная механика и расчёт сооружений».
2. "Строительная механика и расчет сооружений" (научно-теоретический журнал).
3. "Прикладная механика" (научно-теоретический журнал).

### **10.3 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Электронный каталог библиотеки ВГАСУ.
2. Электронная библиотечная система *IPRbook*: [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru).
3. <http://www.vgasu.vrn.ru> ВГАСУ. Учебно-методические разработки кафедры строительной механики.
4. <http://www.I-exam.ru>. (Интернет – тренажеры (ИТ)). Разработанные НИИ мониторинга качества образования.
5. <http://www.fepo.ru>. (репетиционное тестирование при подготовке к федеральному Интернет - экзамену).

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА:**

Персональные компьютеры с процессором не ниже 1,2 ГГц, проектор, ноутбук, переносной экран; специально оборудованные учебные аудитории № 2121.

## **12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (образовательные технологии)**

Лекционные занятия – изложение теоретического материала с использованием мультимедийного оборудования, компьютерных технологий и сетей.

Практические занятия – закрепление теоретических знаний путем решения конкретных практических задач и примеров в аудитории с использованием мультимедийного оборудования, компьютерных технологий.

Самостоятельная работа – самостоятельное изучение теоретического материала по лекциям и первоисточникам в читальном зале университета. Повторение решений задач, рассмотренных на практических занятиях

## СОГЛАСОВАНИЕ С ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРОЙ

Наименование выпускающей кафедры	Должность, фамилия, и.о. согласовавшего	Подпись и дата согласования
Кафедра строительных конструкций оснований и фундаментов	Зав. каф. доц. <b>Панфилов Д. В.</b>	

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений (уровень специалиста) (Утвержден приказом Мин. Образования и науки РФ от 11.08.2016 г. № 1030)

Руководитель ОПОП ВО  
доцент, канд. техн. наук, доцент



Ю.Ф. Рогатнев

Руководитель ОПОП ВО  
профессор, канд. техн. наук, доцент



С.В. Иконин

Руководитель ОПОП ВО  
доцент, канд. техн. наук, доцент



А.В. Андреев

Рабочая программа одобрена методической комиссией строительного факультета  
« 1 » сентября 2017 г., протокол № 1

Председатель  
профессор, канд. экон. наук, доцент



В.Б. Власов

Рабочая программа одобрена методической комиссией дорожно-транспортного факультета  
« 1 » сентября 2017 г., протокол № 1

Председатель  
профессор, д-р техн. наук, профессор



Ю.И. Калгин

(з (занимаемая должность, ученая степень, звание)

(подпись)

(инициалы, фамилия)