



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ**

Специальность

08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Специализация программы

Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений

Уровень высшего образования – специалист

Форма обучения

Очная

Институт	<i>Строительства, архитектуры и искусства</i>
Кафедра	<i>Проектирования зданий и строительных конструкций</i>
Курс	<i>5</i>
Семестр	<i>A</i>

Магнитогорск  
2018 г.

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, утвержденного приказом МОиН РФ от 11 августа 2016 г. № 1030

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры проектирования зданий и строительных конструкций «05» октября 2018 г., протокол № 2:


Зав. кафедрой  В.Б. Гаврилов

Рабочая программа одобрена методической комиссией института строительства, архитектуры и искусства «11» октября 2018 г., протокол № 1.

Председатель  О.С. Логунова

Рабочая программа составлена:

доктор техн. наук, профессор

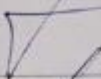
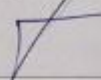
 А.Л. Кришан

Рецензент:

директор ООО НПО «Надёжность», канд. техн. наук

  
 И.В. Матвеев

### Лист регистрации изменений и дополнений

№ п/п	Раздел программы	Краткое содержание изменения/дополнения	Дата № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой
2	8	Актуализация раздела «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины»	16.10.2019 г. Протокол №2	
3	8	Актуализация раздела «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины»	10.09.2020 г. Протокол №1	

## 1 Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Нелинейные задачи строительной механики»: дать современному специалисту необходимые знания и умения, необходимых инженеру-строителю для расчета конструкций и их отдельных элементов на прочность, жёсткость и устойчивость с учётом геометрической нелинейности и нелинейного деформирования материалов с использованием современной вычислительной техники.

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы подготовки специалиста

Дисциплина «Нелинейные задачи строительной механики» относится к базовым дисциплинам блока 1 (Б1.Б.29) рабочего учебного плана по направлению подготовки 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Дисциплина базируется на знаниях, умениях и навыках, приобретенных студентами в ходе изучения общеобразовательных дисциплин и базовой части профессиональных дисциплин.

Приступая к освоению данной дисциплины обучающийся должен обладать знаниями по следующим дисциплинам:

– Математика (знать дифференциальное и интегральное исчисления функций одного и нескольких переменных; обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных; линейную алгебру; численные методы решения нелинейных уравнений и дифференциальных уравнений; основные понятия вариационного исчисления);

– Информатика (знать принципы и правила использования программных средств, компьютерной техники);

– Начертательная геометрия и компьютерная графика (знать правила выполнения чертежей и построения графиков, в том числе с применением компьютерных средств);

– Физика (знать физические законы, используемые в решениях задач механики деформируемых систем);

– Теоретическая механика (знать основные положения, принципы и уравнения статики, кинематики и динамики; принципы Лагранжа и Д'Аламбера);

– Сопротивление материалов (знать принципы, методы и способы определения внутренних силовых факторов, напряжений, перемещений и деформаций в элементах деформируемых систем от различных видов воздействий; подходы к оценке прочности материалов при переменных во времени напряжениях; основные понятия об устойчивости состояния сжатых прямолинейных стержней);

– Строительная механика (знать классические методы расчёта статически неопределимых систем; основы метода конечных элементов);

– Теория упругости с основами пластичности и ползучести (знать основные уравнения механики твердого деформируемого тела и возможности их использования в расчётах конструкций; общие методы решения задач теории упругости; плоскую задачу теории упругости; основы теории изгиба тонких пластинок).

Дисциплина «Нелинейные задачи строительной механики» предшествует следующим дисциплинам: сейсмостойкость сооружений; проектирование высотных зданий и сооружений; проектная деятельность.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины «Нелинейные задачи строительной механики» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
---------------------------------	---------------------------------

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
<b>ОПК-6: использованием основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применением методов математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования</b>	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные аспекты явлений, вызывающих воздействия на конструкции;</li> <li>– основные понятия нелинейно-деформирования твёрдых тел и особенности распределения напряжений при нелинейной работе материалов конструкций.</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– рассчитывать конструкции из нелинейно-упругого и упругопластического материала при статических воздействиях;</li> <li>– планировать, проводить и анализировать результаты теоретического и экспериментального исследования.</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– современными методами определения внутренних усилий, напряжений и перемещений при нелинейной работе конструкций.</li> </ul>
<b>ПК-10: знанием научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности</b>	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные предпосылки нелинейной теории упругости;</li> <li>– основные понятия нелинейной строительной механики.</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– правильно определять вид нелинейности;</li> <li>– составлять расчетные схемы сооружений;</li> <li>– строить диаграммы деформирования материалов.</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками решения задач нелинейной строительной механики.</li> </ul>
<b>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</b>	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные методы и приёмы расчёта строительных конструкций с учётом физической и геометрической нелинейности.</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнять расчёты с использованием стандартных программ и алгоритмов в нелинейных задачах строительной механики.</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– методами математического (компьютерного) моделирования в нелинейных задачах строительной механики.</li> </ul>
<b>ПСК-1.4: владением основными вероятностными методами строительной механики и теории надежности строительных конструкций, необходимыми для проектирования и расчета высотных и большепролетных зданий и сооружений</b>	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные методы и практические приёмы расчёта реальных строительных конструкций на прочность, устойчивость и жесткость с учетом всех видов нелинейностей;</li> <li>– влияние нелинейностей на поведение деформируемых систем; принципы и методы учёта нелинейностей в расчётах строительных конструкций.</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– применять вероятностные методы и методы теории надёжности строительной механики для расчётов конкретных высотных и многопролетных зданий и сооружений;</li> <li>– выбрать наиболее рациональный метод расчёта его напряженно-деформированного состояния, обеспечив при этом необходимую проч-</li> </ul>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
	<p>ность и жёсткость элементов с учётом реальных свойств строительных материалов и проявления нелинейностей различных видов;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– использовать в нелинейных расчётах современную вычислительную технику и соответствующие программные средства;</li> <li>– выполнять анализ собственных результатов расчётов с применением вероятностных методов и методов теории надёжности строительной механики конкретных высотных и многопролётных зданий и сооружений, либо выполненных другими специалистами</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками использования практических приёмов и методов расчёта реальных строительных конструкций на прочность, устойчивость и жесткость с учётом факторов нелинейности.</li> </ul>

#### 4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 93,2 академических часов:
  - аудиторная – 90 академических часов;
  - внеаудиторная – 3,2 академических часов
- самостоятельная работа – 51,1 академических часов;
- подготовка к экзамену – 35,7 академических часов

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа (в академических часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич. занятия				
<p><b>Тема 1. Введение в теорию нелинейно деформируемых систем. Виды нелинейности в теории расчета конструкций.</b></p> <p>Общие фундаментальные понятия о природе возникновения геометрической и физической нелинейностей в задачах строительной механики.</p> <p>Генетическая нелинейность, как разновидность геометрической нелинейности.</p> <p>Виды физической нелинейности. Понятие о конструктивной нелинейности. Виды анизотропии.</p> <p>Механические свойства материалов конструкций.</p>	А	2	-	2/2И	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Подготовка к практическому занятию.</li> <li>- Изучение основных теорем строительной механики нелинейных стержневых систем.</li> </ul>	Устный опрос студентов. Проверка самостоятельной работы.	ОПК-6, ПК-10, ПСК-1.4 - зув

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич. занятия				
<p>Гипотеза о нелинейно-упругом материале.</p> <p>Основные постановки при решении задач нелинейной строительной механики.</p>								
<p><b>Тема 2. Основные положения нелинейной строительной механики.</b></p> <p>Основные гипотезы строительной механики. Классификация напряженных состояний. Тензор напряжений, тензор деформаций. Интенсивность напряжений и деформаций.</p> <p>Основные уравнения для нелинейно упругих и упругопластических тел.</p> <p>Понятие простого и сложного нагружения. Понятия активной и пассивной деформации.</p> <p>Теории пластичности. Основные ее допущения. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Уравнения Генки.</p>	А	4	-	18/7И	10	<p>- Изучение основных постановок при решении задач нелинейной строительной механики</p> <p>- Выполнение практических работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины.</p>	<p>Устный опрос студентов.</p> <p>Проверка индивидуальных заданий.</p>	<p>ОПК-6, ПК-10, ПСК-1.4</p> <p>- зув</p>
<p><b>Тема 3. Зависимость между напряжениями и деформациями.</b></p> <p>Зависимость между напряжениями и</p>	А	4	-	18/7И	13,1	<p>Выполнение практических работ, предусмотренных рабочей программой</p>	<p>Устный опрос студентов.</p> <p>Проверка индивидуальных заданий.</p>	<p>ОПК-6, ПК-10, ПСК-1.4</p> <p>- зув</p>



Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич. занятия				
деформациями. Закон Гука. Предельные напряженные состояния. Способы аппроксимации экспериментальных кривых. Методы расчета сооружений. Теории прочности.						мой дисциплины.		
<b>Тема 4. Физически и геометрически нелинейные задачи.</b> Общие представления о нелинейных задачах. Шаговые методы решения нелинейных задач. Расчет конструкций по методу предельного равновесия. Основные положения метода предельного равновесия. Основы теории пластичности. Определение предельного состояния системы при растяжении-сжатии. Предельное состояние статически определимых систем при изгибе. Расчет статически неопределимых балок по предельному состоянию.	А	4	-	18/7И	12	Выполнение практических работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины.	Устный опрос студентов. Проверка индивидуальных заданий.	<i>ОПК-6, ПК-10, ПК-11, ПСК-1.4 - зув</i>
<b>Тема 5. Расчет стержневых конструкций по предельному равновесию.</b>	А	4	-	16/7И	12	Выполнение практических работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины.	Устный опрос студентов. Проверка индивидуальных заданий.	<i>ОПК-6, ПК-10, ПК-11, ПСК-1.4 -</i>

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич. занятия				
Предельное равновесие многопролетных неразрезных балок. Три основные теоремы предельного равновесия. Кинематический и статический методы теории предельного равновесия. Характерные особенности расчета конструкций методом предельного равновесия. Расчет рам данным методом.						мой дисциплины.		зுவ
Подготовка к экзамену							Экзамен (35,7 час)	ОПК-6,ПК-10,ПК-11, ПСК-1.4 - зув
<b>Итого за семестр</b>		<b>18</b>	<b>-</b>	<b>72/30И</b>	<b>51,1</b>		<b>Промежуточная аттестация - экзамен</b>	

## **5 Образовательные и информационные технологии**

Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

При обучении студентов дисциплине «Нелинейные задачи строительной механики» следует осуществлять следующие образовательные технологии:

**1. Традиционные образовательные технологии** ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения).

### ***Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:***

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

**2. Технологии проблемного обучения** – организация образовательного процесса, которая предполагает постановку проблемных вопросов, создание учебных проблемных ситуаций для стимулирования активной познавательной деятельности студентов.

### ***Формы учебных занятий с использованием технологий проблемного обучения:***

Проблемная лекция – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, авторские комментарии, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала.

**3. Интерактивные технологии** – организация образовательного процесса, которая предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников, достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Наряду со специализированными технологиями такого рода принцип интерактивности прослеживается в большинстве современных образовательных технологий.

### ***Формы учебных занятий с использованием специализированных интерактивных технологий:***

Лекция «обратной связи» – лекция – провокация (изложение материала с заранее запланированными ошибками), лекция - беседа, лекция - дискуссия, лекция - прессконференция.

Семинар-дискуссия – коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе (межгрупповой диалог, дискуссия как спор-диалог).

**4. Информационно-коммуникационные образовательные технологии** – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией.

Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных технологий:

Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Практическое занятие в форме презентации – представление результатов проектной или исследовательской деятельности с использованием специализированных программных средств.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

### ***Примерная структура и содержание раздела:***

По дисциплине «Нелинейные задачи строительной механики» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает выполнение практических работ.

### **Примерные аудиторные практические работы (АКР):**

#### **АКР №1 «Решение задач»**

Даны напряжения на двух взаимно перпендикулярных площадках в окрестности некоторой точки (рисунок 1).  $E = 2,06 \text{ МПа}$ ,  $\nu = 0,28$ . Требуется исследовать напряженно-деформированное состояние в данной точке.

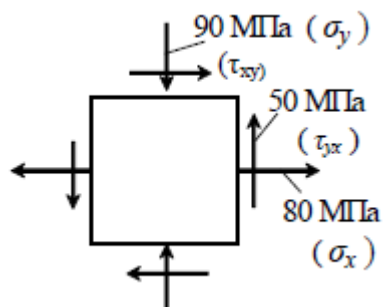


Рисунок 1

1. Поставить знаки заданных напряжений в соответствии с их направлениями на рисунке 1 согласно принятым правилам знаков для напряжений.
2. Определить величины и направления главных напряжений, изобразить главные площадки на рисунке и показать на них главные напряжения.
3. Вычислить максимальные и минимальные касательные напряжения, изобразить на рисунке площадки, на которых они действуют и показать направления напряжений. Вычислить и показать на чертеже действующие на этих площадках нормальные напряжения.
4. Определить нормальные и касательные напряжения на площадках, повернутых относительно заданных на угол  $\alpha = 30^\circ$ , показать эти площадки и напряжения на них. Определить полное напряжение на этой площадке и относительную деформацию по направлению  $\sigma_\alpha$ .
5. Определить расчетные напряжения с использованием (1-4)-й теорий прочности и сравнить их между собой, проанализировать применимость теорий прочности для конкретного материала.
6. Определить относительные деформации по направлениям главных напряжений (главные деформации).

#### **АКР №2 «Решение задач»**

Рассмотрим систему, представляющую собой абсолютно жесткую балку, с одним концом шарнирно опертую, и подвешенную на трех одинаковых идеально упругопластических подвесках, длиной  $l$ , площадью поперечного сечения  $A$ , модулем упругости материала  $E$ , при заданной схеме нагружения силой  $P$  (рисунок 2, а). Заданная система дважды статически неопределима.

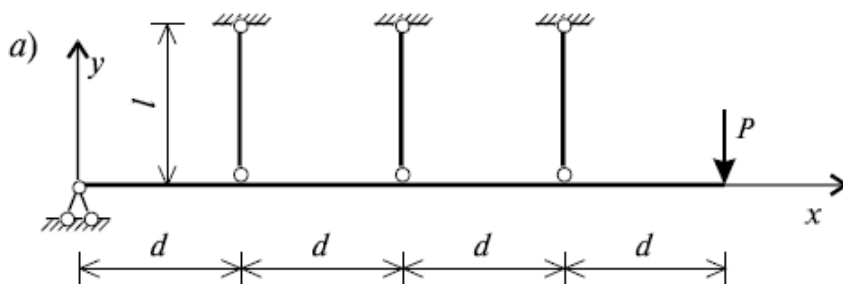


Рисунок 2

### АКР №3 «Решение задач»

Рассмотрим предельное состояние балки с двумя шарнирно опертыми концами, от действия силы  $P$ , приложенной в середине пролета. В статически определимой балке (рисунок 3), как известно, нормальные напряжения в поперечных сечениях в упругой стадии, изменяются по высоте сечения по линейному закону и пропорциональны величине изгибающего момента.

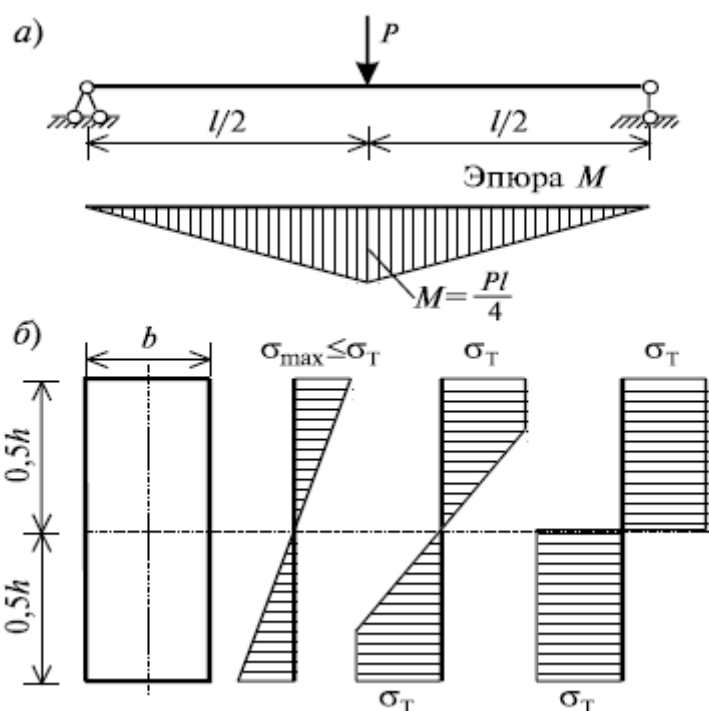


Рисунок 3

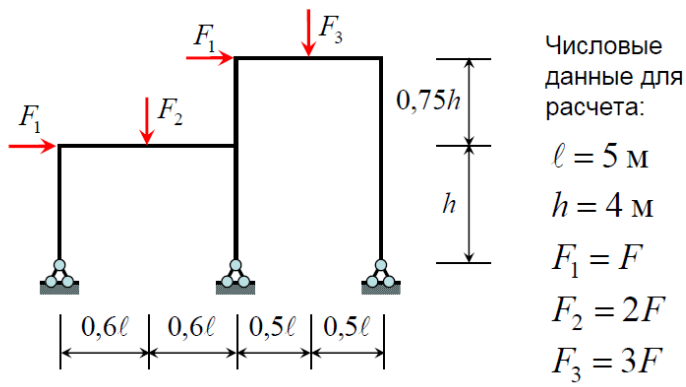
### Примерные индивидуальные домашние задания (ИДЗ):

#### ИДЗ №1 «Расчетно-графическая работа»

Для рамы с заданными размерами и поперечными сечениями элементов требуется:

1. Определить предельную нагрузку статическим методом в MS Excel и построить эпюру изгибающих моментов в предельном состоянии.
2. Определить предельную нагрузку расчетом в программном комплексе SCAD.
3. Проверить правильность решения с помощью кинематического метода.
4. Найти допускаемую по условию прочности нагрузку и сравнить ее с предельной.

Данные о сечениях взять по сортаменту ГОСТ 26020-83 «Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок»



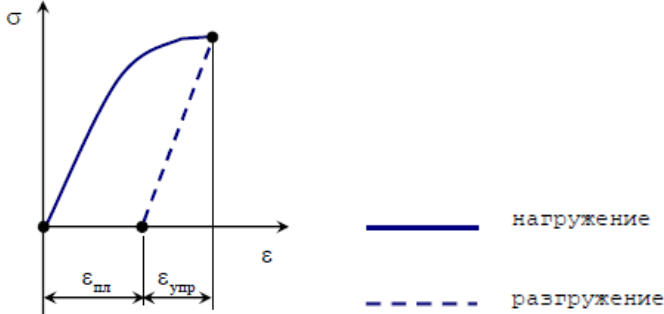
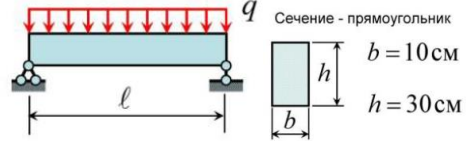
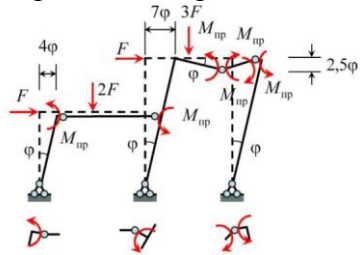
$$R = 240 \text{ МПа} \quad \sigma_T = 245 \text{ МПа}$$

Колонна – двутавр № 30К1    Ригель – двутавр № 35Ш1

## 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

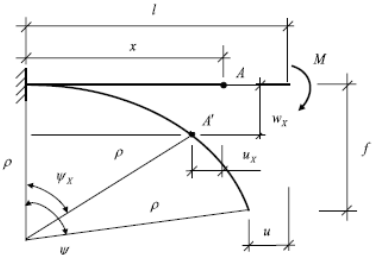
### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

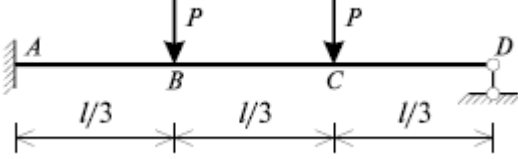
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ОПК-6: использованием основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применением методов математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования</b>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные аспекты явлений, вызывающих воздействия на конструкции;</li> <li>– основные понятия нелинейно-деформирования твёрдых тел и особенности распределения напряжений при нелинейной работе материалов конструкций.</li> </ul>	<p>Теоретические вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как учитывается процесс разгрузки в деформационной теории пластичности?</li> <li>2. Как конкретно формулируются основные допущения в теории пластического течения?</li> <li>3. Какие существуют виды напряженных состояний сооружений?</li> <li>4. Какие зависимости существуют между модулем объемной деформации, модулем упругости, модулем сдвига и коэффициентом Пуассона в идеально упругом теле?</li> <li>5. При каких условиях справедлив закон плоских сечений в нелинейно-упругих балках?</li> <li>6. Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений по высоте поперечного сечения в зависимости от уравнения между напряжениями и деформациями?</li> <li>7. Перечислите основные гипотезы, взятые за основу деформационной теории пластичности.</li> <li>8. При каких обстоятельствах в статически неопределимых системах возникают остаточные деформации и напряжения?</li> </ol>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– рассчитывать конструкции из нелинейно-упругого и упругопластического материала при статических воздействиях;</li> <li>– планировать, проводить и анализировать результаты теоретического и экспериментального исследова-</li> </ul>	<p>Практическое задание:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Написать как определяются упругие и пластические составляющие деформации в деформационной теории пластичности.</li> <li>2. Как записывается обобщенный закон Гука в напряжениях и деформациях и их приращениях в канонической и матричной формах?</li> <li>3. Какой вид имеет диаграмма «напряжение-деформация» для жесткопластического тела Сен-Венана и упругопластического тела Прандтля (диаграмма</li> </ol>

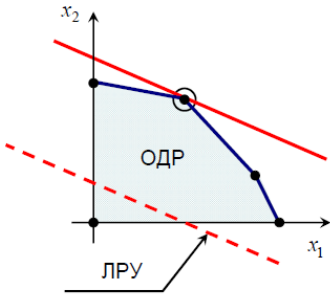
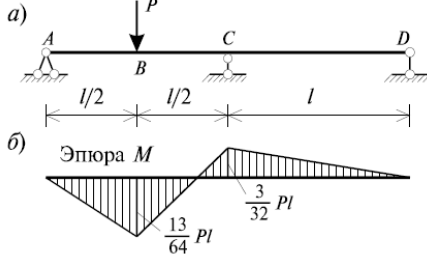
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>ния.</p>	<p>Прандтля)?</p> <p>4. Материал, диаграмма нагружения и разгрузки которого представлена нелинейной зависимостью (см. рис.), называется... а) жесткопластическим; б) нелинейно-упругим; в) упруго-пластическим; г) упруго-пластическим с упрочнением</p>  <p>5. Матрица жесткости для геометрически нелинейной задачи зависит от... а) времени; б) деформации; в) напряжений; г) перемещений.</p>
<p>Владеть</p>	<p>– современными методами определения внутренних усилий, напряжений и перемещений при нелинейной работе конструкций.</p>	<p>Задания на решение задач из профессиональной области:</p> <p>1. Рассчитать прочность балки при изгибе  <math>R = 24 \text{ кН/см}^2</math>   <math>\ell = 3 \text{ м} = 300 \text{ см}</math></p>  <p>Сечение - прямоугольник  <math>b = 10 \text{ см}</math>  <math>h = 30 \text{ см}</math></p> <p>2. Определить перемещения в схеме механизма разрушения в ПК SCAD</p> 



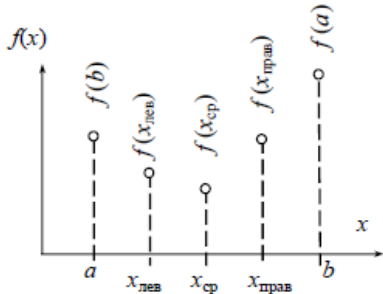
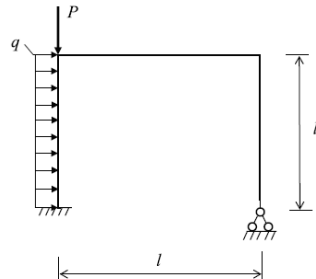
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ПК-10: знанием научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности</b>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные предпосылки нелинейной теории упругости;</li> <li>– основные понятия нелинейной строительной механики.</li> </ul>	<p>Теоретические вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое нелинейность? Какие условия линейности задач строительной механики должны выполняться?</li> <li>2. Какие основные типы нелинейности при решении задач строительной механики вы знаете?</li> <li>3. Сформулируйте основную предпосылку нелинейной теории упругости.</li> <li>4. Чем отличается физическая, геометрическая, конструктивная и генетическая нелинейность.</li> <li>5. Что такое анизотропия?</li> <li>6. Что такое эффект Баушингера?</li> <li>7. Что называется тензором напряжений, тензором деформаций?</li> <li>8. Что называется инвариантом?</li> <li>9. что такое простое и сложное нагружение?</li> <li>10. Что такое активная и пассивная деформации?</li> <li>11. В чем состоит основная гипотеза в теории пластичности?</li> <li>12. Какие существуют основные группы теорий пластичности?</li> <li>13. Какие приняты основные допущения теорий пластичности?</li> <li>14. Что называется модулем пластичности?</li> <li>15. Перечислите теории пластичности и дайте соответствующие пояснения.</li> <li>16. Какую нагрузку в методе предельного равновесия называют предельной?</li> <li>17. Дайте определение понятия пластического шарнира при изгибе конструкций.</li> <li>18. Что представляет собой пластический шарнир?</li> </ol>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– правильно определять вид нелинейности;</li> <li>– составлять расчетные схемы сооружений;</li> <li>– строить диаграммы деформирования</li> </ul>	<p>Практическое задание:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Начертить идеализированную и истинную диаграммы деформирования упругопластического тела.</li> <li>2. Начертить диаграммы нелинейно-упругого, упругопластического и жёстко-пластического материала.</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	материалов.	<p>3. Правильно определить физическую, геометрическую, конструктивную и генетическую нелинейность в конкретном примере.</p> <p>4. Какой вид имеет тензор напряжений, тензор деформаций?</p> <p>5. Чему равны интенсивности нормальных и касательных напряжений?</p> <p>6. Как записываются уравнения Генки?</p> <p>7. Почему при расчете по предельным нагрузкам нельзя использовать формулы, основанные на законе Гука?</p> <p>8. Вопрос: Выберите виды задач строительной механики, относящиеся к нелинейным задачам... Варианты ответа: а) физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, конструктивная нелинейность; б) физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, акустическая нелинейность; в) физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, генетическая нелинейность; г) физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, электромагнитная нелинейность.</p>
Владеть	– навыками решения задач нелинейной строительной механики.	<p>Задания на решение задач из профессиональной области:</p> <p>1. Решить задачу с геометрической нелинейностью:  Например, рассмотрим консольную балку (<math>0 \leq x \leq l</math>, <math>-h/2 \leq z \leq h/2</math>, <math>h \ll l</math>, соответственно длина и высота балки), изгибаемую моментом <math>M</math> (рис.1,а) и изготовленную из линейно-упругого материала (<math>E</math> – модуль упругости).</p>  <p>Необходимо определить экстремальное значение прогиба.</p> <p>2. Решить задачу с физической нелинейностью.</p> <p>3. Решить задачу с генетической нелинейностью.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>4. Пусть один раз статически неопределимая балка (рис). Ее несущая способность исчерпается в случае образования двух пластических шарниров. Пластические шарниры могут формироваться в сечениях А, В и С.</p> <p>a)</p>  <p>Определить предельную нагрузку по кинематическому способу, рассмотрев различные сочетания образования пластических шарниров в двух сечениях из трех.</p>
<p><b>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</b></p>		
Знать	– основные методы и приёмы расчёта строительных конструкций с учётом физической и геометрической нелинейности.	<p>Теоретические вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. В чем состоит суть метода упругих решений? В чем состоит суть метода переменных параметров упругости?</li> <li>2. В чем состоит суть метода Ньютона–Рафсона?</li> <li>3. В чем состоит суть метода последовательного нагружения?</li> <li>4. Поясните суть кинематического метода предельного равновесного состояния.</li> <li>5. Поясните суть статического метода предельного равновесного состояния.</li> <li>6. Поясните суть метода допускаемых напряжений.</li> <li>7. Поясните суть метода предельного равновесного состояния.</li> <li>8. Какие характерные особенности имеет расчет конструкций методом предельного равновесия?</li> <li>9. Какие недостатки имеет метод предельного равновесия?</li> </ol>
Уметь	– выполнять расчёты с использованием стандартных программ и алгоритмов в	<p>Практические задания;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. В чем заключается схематизация диаграмм растяжения?</li> <li>2. По каким формулам определяются переменные параметры упругости?</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	нелинейных задачах строительной механики.	<p>1. Для задачи линейного программирования (см. рис.) решение...</p> <p>а) не существует  б) не единственное  в) единственное  г) не найдено</p> 
Владеть	– методами математического (компьютерного) моделирования в нелинейных задачах строительной механики.	<p>Задания на решение задач из профессиональной области:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Написать алгоритм метода упругих решений и форму матричной реализации.</li> <li>2. Написать алгоритм метода переменных параметров упругости и форму матричной реализации.</li> <li>3. Написать алгоритм метода Ньютона–Рафсона и форму матричной реализации.</li> <li>4. Написать алгоритм метода последовательного нагружения и форму матричной реализации.</li> <li>5. Пусть один раз статически неопределимая балка (рис. 2.6, а) нагружена силой величиной <math>P</math>. В результате упругого расчета построена эпюра изгибающих моментов (рис. 2.6, б).</li> </ol>  <p>Рассчитать рассматриваемую балку (рис. 2.6) по предельному состоянию и по допускаемым напряжениям, при условии, что расчетное сопротивление в обоих</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>методах принято одинаковым.</p> <p>6. Задача линейного программирования: Требуется найти максимум функции <math>F(N_1, N_2, N_3)</math>. <math>F=N_1+ N_2+ N_3 \rightarrow \max</math>  При выполнении условий <math>N_1+ 2N_2+ 3N_3=0</math></p>
<b>ПСК-1.4: владением основными вероятностными методами строительной механики и теории надежности строительных конструкций, необходимыми для проектирования и расчета высотных и большепролетных зданий и сооружений</b>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные методы и практические приёмы расчёта реальных строительных конструкций на прочность, устойчивость и жесткость с учетом всех видов нелинейностей;</li> <li>– влияние нелинейностей на поведение деформируемых систем; принципы и методы учёта нелинейностей в расчётах строительных конструкций.</li> </ul>	<p>Теоретические вопросы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие основные уравнения описывают нелинейно-упругие тела? Их физический смысл?</li> <li>2. В чем состоит отличие между нелинейно-упругим и упругопластическим материалом?</li> <li>3. Какие гипотезы линейности строительной механики не соблюдаются при учете физической нелинейности материала?</li> <li>4. Какие виды нелинейности учитываются при прочностных расчетах инженерных сооружений и конструкций?</li> <li>5. Какие предельные напряженные состояния вы знаете?</li> <li>6. Какие существуют Методы расчета сооружений и в чем их отличия?</li> <li>7. Что такое коэффициент линейной деформируемости среды?</li> <li>8. В чем заключается различие между расчетами на прочность по допускаемому напряжению и по предельным нагрузкам?</li> <li>9. Почему расчет по предельным нагрузкам выполняют только для элементов конструкции из пластичных материалов?</li> <li>10. Почему расчеты статически определимых стержней при растяжении и сжатии по допускаемым напряжениям и предельным нагрузкам дают одинаковые результаты?</li> </ol>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– применять вероятностные методы и методы теории надёжности строительной механики для расчётов конкретных высотных и многопролётных зданий и сооружений;</li> </ul>	<p>Практические задания;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Записать уравнения нелинейного деформирования в форме, предложенной А.А. Ильюшиным.</li> <li>2. Написать уравнения равновесия; то же – геометрические уравнения; то же – уравнения совместности деформаций.</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– выбрать наиболее рациональный метод расчёта его напряженно-деформированного состояния, обеспечив при этом необходимую прочность и жёсткость элементов с учётом реальных свойств строительных материалов и проявления нелинейностей различных видов;</li> <li>– использовать в нелинейных расчётах современную вычислительную технику и соответствующие программные средства;</li> <li>– выполнять анализ собственных результатов расчётов с применением вероятностных методов и методов теории надёжности строительной механики конкретных высотных и многопролётных зданий и сооружений, либо выполненных другими специалистами</li> </ul>	<p>3. Какой вид имеют эпюры напряжений в поперечных сечениях бруса изгибе при предельных значениях изгибающих моментов?</p> <p>4. Какой интервал на следующем этапе поиска минимума функции <math>f(x)</math> следует оставить</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>а) От <math>x_{лев}</math> до <math>x_{прав}</math></p> <p>б) От <math>a</math> до <math>x_{сп}</math></p> <p>в) От <math>x_{сп}</math> до <math>b</math></p> </div> </div>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками использования практических приёмов и методов расчёта реальных строительных конструкций на прочность, устойчивость и жесткость с учётом факторов нелинейности.</li> </ul>	<p>Задания на решение задач из профессиональной области:</p> <p>1. Как определить предельный изгибающий момент?</p> <p>2. Дважды статически неопределимая рама, нагружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью <math>q</math> и силой <math>P</math> (<math>P=5ql</math>). Поперечное сечение стержней прямоугольное, имеющее размеры <math>b \times h</math> (<math>b=l/40</math>, <math>h=l/20</math>).</p> <p>Рассчитать раму по предельному состоянию и по допускаемым напряжениям.</p> <div style="text-align: center;">  </div>

## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

### **Примерная структура и содержание пункта:**

Успешное изучение дисциплины «Нелинейные задачи строительной механики» возможно без самостоятельного решения практических задач. Задания на расчётно-графическую работу подобраны таким образом, чтобы студент, самостоятельно изучив теоретические разделы дисциплины, смог закрепить их на практике и приобрести навыки определения предельной нагрузки для стальной статически неопределимой рамы.

В ходе защиты расчётно-графической работы студент представляет выполненные и оформленные в виде пояснительной записки расчёты, демонстрирует навыки самостоятельного решения типовых задач и отвечает на вопросы преподавателя. Оценка знаний производится по 5-и балльной шкале, которая учитывается при итоговой аттестации по дисциплине.

Формой итоговой аттестации является экзамен, который проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание. На подготовку ответов отводится 90 минут. Оценка знаний производится по 5-и балльной шкале.

### **Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Петров В.В., Нелинейная строительная механика : Учебник./ Петров В.В. - М. : Издательство АСВ, 2019. - 432 с. - ISBN 978-5-4323-0305-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432303059.html> (дата обращения: 27.10.2020). - Режим доступа : по подписке.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Мельников Б. Е. Соппротивление материалов : учебник / Б. Е. Мельников, Л. К. Паршин, А. С. Семенов, В. А. Шерстнев. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 576 с. — ISBN 978-5-8114-4740-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/131018> (дата обращения: 27.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Матросов, В.М. Нелинейная механика/Матросов В.М., Румянцев В.В., Карапетя-

на А.В. - Москва : Физматлит, 2001. - 432 с.: ISBN 978-5-9221-0091-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/544568> (дата обращения: 09.10.2020). – Режим доступа: по подписке.

**в) Методические указания:**

Кришан, А.Л. Сейсмическая нагрузка на высотное здание: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Проектирование высотных зданий и сооружений» / А.Л. Кришан, Р.Р. Сабиров. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. Гос. Техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. – 20 с - Текст : непосредственный.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно	бессрочно
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.
Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Доска, мультимедийный проектор, экран. Комплекс готовых текстовых заданий для проведения промежуточных и рубежных контролей.
Помещения для самостоятельной работы обучающихся	Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования	Шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий. Инструменты для ремонта лабораторного оборудования.