

Частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Камский институт гуманитарных и инженерных технологий»

Кафедра «Инженерных, энергосберегающих и информационных технологий в  
нефтегазовой и архитектурно – строительной отраслях»



УТВЕРЖДАЮ:  
Ректор  
ЧОУ ВО «КИГИТ»  
\_\_\_\_\_ В. А.Никулин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины «Нелинейный анализ строительных конструкций»**

Направление подготовки  
08.04.01 «Строительство»  
Профиль «Промышленное и гражданское строительство»

Степень выпускника: магистр

Форма обучения: очная, заочная

Ижевск, 2022

## **1. Цели и задачи 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.

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. Изучаемые объекты дисциплины.**

Физическая нелинейность. Аппроксимация экспериментальных кривых деформирования материалов. Геометрическая и конструктивная нелинейность. Тензоры напряжений, деформаций.

## **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине.**

ОПК-1

ИД-1ОПК-1

Знание основных методов и практических приемов расчета реальных конструкций и их элементов в нелинейной постановке из различных материалов по предельным расчетным состояниям на различные воздействия.

**Знает:** порядок выбора фундаментальных законов, описывающих изучаемый процесс или явление.

ИД-2ОПК-1

Умение 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.

**Умеет:** составлять математическую модель, описывающую изучаемый процесс или явление, проводить выбор и обоснование граничных и начальных условий; оценивать адекватность результатов моделирования, формулировать предложения по использованию математической модели для решения задач профессиональной деятельности.

#### ИД-3ОПК-1

Владение 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 ЭВМ.

**Владеет навыками:** применения типовых задач теории оптимизации в профессиональной деятельности.

#### ОПК-3

##### ИД-1ОПК-3

Знание основных методов и практических приемов расчета реальных конструкций и их элементов в нелинейной постановке из различных материалов по предельным расчетным состояниям на различные воздействия.

**Знает:** методику формулирования научно-технической задачи в сфере профессиональной деятельности на основе знания проблем отрасли и опыта их решения; последовательность сбора и систематизации информации об опыте решения научно-технической задачи в сфере профессиональной деятельности.

### ИД-2ОПК-3

Умение 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.

**Умеет:** выбирать методы решения, устанавливать ограничения к решению научно-технической задачи в сфере профессиональной деятельности на основе нормативно-технической документации и знания проблем отрасли и опыта их решения.

### ИД-3ОПК-3

Владение 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 ЭВМ.

**Владеет навыками:** составления перечня работ и ресурсов, необходимых для решения научно-технической задачи в сфере профессиональной деятельности; разработки и обоснования выбора варианта решения научно-технической задачи в сфере профессиональной деятельности.

#### 4. Содержание дисциплины.

1. Введение. Виды нелинейности в теории расчета конструкций.  
Общие фундаментальные понятия о природе возникновения геометрической и физической нелинейностей в задачах строительной механики.  
Физическая нелинейность. Нелинейно-упругий, упругопластический и жёстко пластический материал.  
Аппроксимация экспериментальных кривых деформирования материалов.  
Геометрическая нелинейность, конструктивная нелинейность, генетическая нелинейность.  
Основные постановки при решении задач нелинейной строительной механики.  
Основные теоремы строительной механики нелинейных стержневых систем.
2. Основные положения нелинейной строительной механики.  
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. О теориях деформирования.
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).

4. Расчёт физически нелинейных стержневых систем. Расчет конструкций по несущей способности. Метод предельного равновесия.  
Основы расчета нелинейно-упругих балок. Примеры расчета физически нелинейных стержневых систем приближенными методами. Основы расчета конструкций по предельному состоянию. Статический и кинематический методы решения задач предельного равновесия. Растяжение и сжатие. Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения. Предельное равновесие многопролетных неразрезных балок. Особенности расчета изгибаемых конструкций методом предельного равновесия.
5. Геометрически нелинейные задачи. Большие перемещения и устойчивость 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.
6. Основы применения метода конечных элементов для решения нелинейных задач.  
Использование расчетных комплексов ЛИРА-САПР, SCAD Office для решения нелинейных задач на ПЭМ. Создание конечно-элементных моделей конструкций. Управление нелинейным расчетом с использованием шагово-итерационных решателей. Учёт геометрической, физической и генетической нелинейности при расчёте стержневых систем методом конечных элементов. Расчет геометрически нелинейных большепролетных конструкций - вантовых и висячих систем.

## **Тематика примерных практических занятий.**

- 1 Аппроксимация экспериментальных кривых деформирования материалов
- 2 Метод дополнительных деформаций. Метод Ньютона-Рафсона
- 3 Расчет стержневой системы с учётом физической нелинейности по МКЭ
- 4 Расчет геометрически нелинейной висячей системы по МКЭ.

## **Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций.**

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### **Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины.**

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

### **Печатная учебно-методическая литература.**

1. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика : учебник для вузов. 12-е изд., стер. Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. 655 с
2. Петров В. В. Нелинейная строительная механика : учебник. Москва : Изд-во АСВ, 2019. 433 с. 27,13 усл. печ. л.



3. Кривошапко С.Н. Строительная механика : лекции, семинары, расчетно-графические работы учебное пособие для вузов. М. : Высш. шк., 2008. 391 с
4. Петров В. В. Нелинейная инкрементальная строительная механика. Москва : Инфра-Инженерия, 2014. 479 с.
5. Рудых О. Л., Соколов Г. П., Пахомов В. Л. Введение в нелинейную строительную механику : учебное пособие для вузов. Москва : Издво АСВ, 1999. 106 с.
6. Строительная механика в примерах и задачах. Статически неопределимые системы. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 464 с. 29 усл. печ. л.
7. Строительная механика в примерах и задачах. Статически определимые системы. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 333 с. 29 усл. печ. л.
8. Топчин Б. Е. Применение Mathcad в механике : учебнометодическое пособие. Калининград : БГАРФ, 2020. 91 с. URL: <https://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-160069> (дата обращения: 08.11.2021).
- 9.