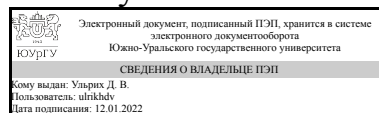


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
Архитектурно-строительный
институт



Д. В. Ульрих

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины П.1.В.07.02 Анализ колебаний с учетом физической и конструктивной нелинейности

для направления 08.06.01 Техника и технологии строительства

уровень аспирант тип программы

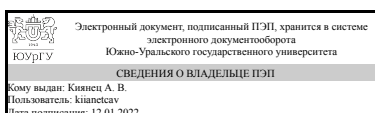
направленность программы

форма обучения очная

кафедра-разработчик Строительное производство и теория сооружений

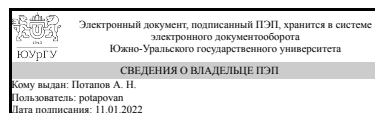
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 08.06.01 Техника и технологии строительства, утверждённым приказом Минобрнауки от 30.07.2014 № 873

Зав.кафедрой разработчика,
к.техн.н., доц.



А. В. Киянец

Разработчик программы,
д.техн.н., проф., профессор



А. Н. Потапов

1. Цели и задачи дисциплины

Дисциплина “ Анализ колебаний с учетом физической и конструктивной нелинейности ” базируется на курсах технической механики, строительной механики, динамики и устойчивости сооружений. Цели дисциплины: Приобретение знаний, умений и навыков по оценке прочности и жесткости динамических конструкций при их колебаниях с физически и конструктивно нелинейной восстанавливающей силой. Задачи дисциплины: Подготовка студента к выполнению научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени.

Краткое содержание дисциплины

Данная дисциплина опирается на материал, излагаемый в 1-м семестре в курсе "Динамика повреждённых конструкций". Основу этой темы составляет теория временного анализа дискретных диссипативных систем (ДДС). Дается краткое изложение основных положений данной теории. Рассматриваются математические модели нелинейных колебаний. Рассматриваются два вида нелинейных колебаний: конструктивно-нелинейные и физически нелинейные колебания ДДС. В каждом случае рассматриваются физические соотношения между динамической восстанавливающей силой (ДВС) и относительными перемещениями. В конструктивно-нелинейной задаче выделяется два самостоятельных вида нелинейных колебаний: при внезапном выключении (разрушении) несущего элемента конструкции и при работе односторонних связей (ОС). Для обеих задач строятся математические модели, формируются уравнения движения расчётной динамической модели (РДМ) и уравнения динамической реакции. При упругопластическом анализе ДДС рассматривается диаграмма деформирования по закону Прандтля и билинейного вида с учетом повторной текучести и разгрузки. Строятся зависимости ДВС для произвольной петли упругопластического гистерезиса и для различных участков этой петли (нагружение, упрочнение, разгрузка). Приводится расчётная схема процесса анализа упругопластических колебаний и выводятся уравнения реакции ДДС на квазилинейном интервале. Дается подробный пример упругопластического анализа каркасного здания при действии импульсной нагрузки.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПК-1.1 умением выполнять методы расчета сооружений и их элементов на прочность, устойчивость и колебания при силовых, температурных и других воздействиях	Знать:основные положения, принципы и методы теории временного анализа реакции дискретных диссипативных конструкций при силовых воздействиях; базовые средства программирования, операторы, функции и графические средства системы Matlab.
	Уметь:применять методы расчёта в динамическом анализе конструкций с нелинейной восстанавливающей силой; самостоятельно составлять программу по заранее разработанному алгоритму.

Владеть:современными компьютерными технологиями, в частности, математическим программным обеспечением Matlab.

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
П.1.В.04 Математическое моделирование	Подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук (6 семестр)

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
П.1.В.04 Математическое моделирование	ПК-1 способностью моделировать процессы в профессиональной области: Знать: классификацию и типы математических моделей физических явлений; базовые классические модели профессиональной деятельности (в области колебательных систем); основные математические методы, используемые при исследовании математических моделей. Уметь: формировать систему рабочих гипотез (постулатов) модели и построить содержательную модель; проводить оценку научной и практической значимости результатов научных исследований. Владеть: навыками использования современных информационно-коммуникационных технологий; навыками построения математических моделей в области колебательных систем; построения алгоритмов решения практических задач колебаний балок и рам; использования современного прикладного программного обеспечения при исследовании математических моделей.

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		5
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	38	38
Лекции (Л)	38	38
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	0	0

Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа (СРС)	70	70
Подготовка к экзамену	15	15
Задание № 1: Временной анализ реакции неразрезной балки с двумя односторонними связями (составление программы расчета в системе МАТЛАБ).	30	30
Реферат на тему: Методы анализа конструкций с учетом пластических зон	25	25
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Упругий анализ дискретной диссипативной системы (ДДС). Расчётная динамическая модель (РДМ) и уравнение движения ДДС. Математические модели упругих колебаний. Построение динамической реакции ДДС в матричной форме интеграла Дюамеля. Частные случаи внешних воздействий.	6	6	0	0
2	Конструктивно-нелинейный анализ ДДС. Математические модели нелинейных колебаний при внезапном выключении несущего элемента конструкции. Свободные и вынужденные колебания ДДС с односторонними связями. Примеры конструктивно-нелинейного анализа реакции системы.	14	14	0	0
3	Упругопластический анализ ДДС с диаграммой Прандтля. Математические модели нелинейных колебаний. Учёт упругопластического гистерезиса (УПГ). Уравнение реакции ДДС на квазилинейном интервале. Пример упругопластического анализа каркасного здания при действии импульсной нагрузки.	10	10	0	0
4	Упругопластический анализ ДДС с билинейной диаграммой. Математические модели нелинейных колебаний. Учёт упругопластического гистерезиса на участке нагружения, упрочнения и разгрузки. Понятие предельной амплитуды петли УПГ. Уравнение реакции ДДС на квазилинейном интервале. Пример упругопластических колебаний 1-этажного каркаса при действии импульсной нагрузки.	8	8	0	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Упругий анализ дискретной диссипативной системы (ДДС). Построение расчётной динамической модели (РДМ): матрицы масс, Жёсткости и демпфирования. Дифференциальное уравнение движения ДДС. Математические модели упругих колебаний. Характеристическое уравнение движения собственных колебаний РДМ. Анализ и решение этого уравнения.	2
2	1	Обобщённая ортогональность форм собственных колебаний упругой ДДС. Построение динамической реакции ДДС в матричной форме интеграла Дюамеля. Частные случаи интеграла Дюамеля: внезапное воздействие по постоянному закону, вибрационные силы, импульсное воздействие,	4

		периодический импульс. Вывод условия статического равновесия от действия неподвижной нагрузки из общего уравнения реакции динамической системы. Построение динамической реакции с учётом действия статической нагрузки.	
3	2	Конструктивно-нелинейный анализ ДДС. Моделирование физических соотношений для динамической восстанавливающей силы (ДВС). Диаграмма деформирования "ДВС - относительное перемещение". Математические модели нелинейных колебаний при внезапном выключении несущего элемента конструкции. Формирование новых параметров РДМ при выключении связи и постановка начальных условий Вывод уравнения динамической реакции повреждённой системы.	4
4	2	Анализ колебаний ДДС с выключающимися связями. Анализ реакции расчётной модели в момент выключения связи. Скачки у параметров реакции. Учёт влияния эффекта выключения связи в диссипативной и консервативной системах. Частный случай: действие статической нагрузки. Пример колебаний двухпролётной металлической балки при разрушении промежуточной опоры от совместного действия постоянной (статической) и динамической нагрузок. Компьютерное моделирование колебаний повреждённой балки при помощи программного обеспечения Matlab. Анализ результатов.	4
5	2	Конструктивно-нелинейный анализ ДДС. Математические модели нелинейных колебаний ДДС с односторонними связями. Условия включения и выключения односторонней связи (ОС). Начальные условия расчётной модели и учёт влияния жёсткости ОС на реакцию в связи. Практический пример аэродинамических колебаний надземного газопровода при ветровом резонансе с устройством гашения колебаний, выполненным в виде ОС. Моделирование задачи в математической системе Matlab.	4
6	2	Динамический анализ колебаний каркасного здания при разрушении колонны 1-го этажа от действия импульсных и вибрационных сил. Формирование матриц М, С, К исходной и повреждённой модели. Реализация задачи колебаний повреждённого каркаса в системе Matlab. Анализ результатов.	2
7	3	Физическая модель упругопластического несущего элемента. Диаграммы деформирования (ДД) Прандтля в осях ""ДВС - относительное перемещение". Построение математической модели упругопластических колебаний ДВС, подчиняющейся диаграмме Прандтля.	4
8	3	Понятие квазиупругой, предельной и остаточной составляющих ДВС. Векторная форма записи ДВС. Упругопластический гистерезис (УПГ), ширина и амплитуда его петли. Запись ДВС для произвольного полуцикла ДД. Связь параметров петли УПГ с нелинейными составляющими ДВС. Формирование РДМ конструкции, уравнения движения с упругопластической восстанавливающей силой и уравнения динамической реакции ДДС на квазилинейном интервале.	4
9	3	Пример упругопластических колебаний каркасного здания с диаграммой Прандтля при действии импульсной и вибрационной нагрузки.	2
10	4	Построение зависимости ДВС для участков билинейной ДД: нагружения, упрочнения и разгрузки. Представление ДВС в виде квазиупругой составляющей и нелинейных (предельной и остаточной) составляющих. Векторная форма записи ДВС.	2
11	4	Учёт повторной текучести и разгрузки в несущем элементе конструкции для ДД с несколькими циклами. Параметры УПГ, ширина и амплитуда его петли, Запись ДВС произвольной петли УПГ через квазилинейную составляющую 1-го полуцикла. Формирование уравнения движения с упругопластической восстанавливающей силой и уравнения динамической реакции ДДС на квазилинейном интервале.	2
12	4	Пример упругопластического анализа 1-этажного каркасного здания с билинейной диаграммой деформирования при действии импульсной	2

		нагрузки.	
13	4	Заключительная лекция	2

5.2. Практические занятия, семинары

Не предусмотрены

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Задание № 1: Временной анализ реакции одноэтажного каркаса с восстанавливающей силой, изменяющейся по закону Прандтля	Потапов А.Н. Динамический анализ ДДС при нестационарных процессах, гл. 6-8, стр. 89-135	30
Реферат на тему: Методы анализа конструкций с учетом пластических зон	Потапов А.Н. Динамический анализ ДДС при нестационарных процессах, Введение, стр. 7-16.	25
Подготовка к экзамену	Потапов А.Н. Динамический анализ ДДС при нестационарных процессах, гл. 6-8, стр. 89-135 Потапов А.Н., Зямбаев Н.А. Временной анализ диссипативных упругопластических конструкций / проблемы оптимального проектирования сооружений: докл. 4-й Всеросс. конф. (Новосибирск, 2017), стр. 221-229. Потапов А.Н., Уфимцев Е.М. Временной анализ диссипативных конструкций: моделирование нелинейных процессов, теория расчета / Проблемы оптимального проектирования сооружений: докл. 4-й Всеросс. конф. (Новосибирск, 2017), стр. 229-237.	15

6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Разбор конкретных ситуаций	Лекции	Построение математической модели с упругопластической ДВС для произвольного полуцикла диаграммы деформирования на участках нагружения, упрочнения и разгрузки	6

Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: нет

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНЫ	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Упругопластический анализ ДДС с диаграммой Прандтля. Математические модели нелинейных колебаний. Учёт упругопластического гистерезиса (УПГ). Уравнение реакции ДДС на квазилинейном интервале. Пример упругопластического анализа каркасного здания при действии импульсной нагрузки.	ПК-1.1 умением выполнять методы расчета сооружений и их элементов на прочность, устойчивость и колебания при силовых, температурных и других воздействиях	Задание № 1	1
Упругопластический анализ ДДС с билинейной диаграммой. Математические модели нелинейных колебаний. Учёт упругопластического гистерезиса на участке нагружения, упрочнения и разгрузки. Понятие предельной амплитуды петли УПГ. Уравнение реакции ДДС на квазилинейном интервале. Пример упругопластических колебаний 1-этажного каркаса при действии импульсной нагрузки.	ПК-1.1 умением выполнять методы расчета сооружений и их элементов на прочность, устойчивость и колебания при силовых, температурных и других воздействиях	Реферат	2
Все разделы	ПК-1.1 умением выполнять методы расчета сооружений и их элементов на прочность, устойчивость и колебания при силовых, температурных и других воздействиях	Подготовка к экзамену	3

7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Задание № 1	баллы	Отлично: 5 баллов Хорошо: 4 балла Удовлетворительно: 3 балла Неудовлетворительно: 2 балла
Реферат	баллы	Отлично: 5 баллов Хорошо: 4 балла Удовлетворительно: 3 балла Неудовлетворительно: 2 балла
Подготовка к экзамену	Баллы	Отлично: 5 баллов Хорошо: 4 балла Удовлетворительно: 3 балла Неудовлетворительно: 2 балла

7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
Задание № 1	<p>Вопросы и задания самопроверки обучающегося по всем разделам дисциплины</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Что такое конструктивно-нелинейная система? 2. Какие виды конструктивно-нелинейных систем известны? 3. Как упругопластические свойства материала проявляются при разгрузке? 4. Какие идеализированные диаграммы деформирования (ДД) физически нелинейного тела известны? 5. Как выглядит ДД j-го узла системы при внезапном выключении элемента? 6. То же самое при работе односторонней связи? 7. То же самое при упругопластической работе элемента? 8. Что такое упругопластический гистерезис и какие параметры его петли известны? 9. Какой аналитический вид записи имеет динамическая восстанавливающая сила (ДВС) при конструктивно-нелинейной работе системы? 10. То же самое при упругопластической работе системы? 11. В чём отличие в записи ДВС при конструктивно-нелинейной и упругопластической работе? 12. Из каких составляющих состоит ДВС при упругопластической работе системы? 13. Как записывается квазиупругая составляющая ДВС при упругопластической работе системы? 14. Как записывается предельная составляющая ДВС при упругопластической работе системы? 15. Как записывается остаточная составляющая ДВС при упругопластической работе системы? 16. Чем отличается запись уравнений движения упругой ДДС от уравнений движения конструктивно-нелинейной системы? 17. То же самое для упругопластической системы? 18. Какие величины относятся к кинематическим параметрам реакции? 19. То же самое - к силовым параметрам? 20. Содержат ли функции перемещений и скоростей скачки при внезапном выключении связи? 21. Тот же вопрос по отношению к другим параметрам реакции. 22. Имеет ли ДВС скачок на осциллограмме в критической точке (в момент текучести или разгрузки) и почему? 24. При каких условиях нелинейных колебаний на осциллограммах ДВС могут быть скачки? 25. При каких условиях нелинейных колебаний на осциллограммах диссипативных сил могут быть скачки? 26. Чему равен скачок инерционной силы при внезапном выключении связи в ДДС? 27. Какая расчётная схема лежит в основе процесса нелинейного анализа ДДС?
Реферат	<ol style="list-style-type: none"> 1. Что такое предельная амплитуда УПГ? 2. Как записывается ДВС произвольного полуцикла на участке нагружения? 3. То же самое на участке упрочнения? 4. То же самое на участке разгрузки? 5. Чем отличается запись уравнений движения упругой ДДС от уравнений движения упругопластической системы? 7. Какие величины относятся к кинематическим параметрам реакции? 8. То же самое - к силовым параметрам? 9. Какая расчётная схема лежит в основе процесса нелинейного анализа ДДС? 10. Какой вид колебаний вызывает квазилинейная составляющая ДДС? 11. Какой вид колебаний вызывают нелинейные составляющие ДДС?
Подготовка к	По всем разделам

экзамену	<ol style="list-style-type: none"> 1. Какие известны виды конструктивно-нелинейных систем? 2. Какие параметры реакции при внезапном выключении связи имеют скачки, а какие нет? 3. Как идеализируются упругопластические свойства материала диаграммах деформирования (ДД)? 4. Как выглядит ДД системы при: внезапном отказе элемента, работе односторонней связи, упругопластической работе элемента? 5. Что такое упругопластический гистерезис и какие параметры его петли известны? 6. Из каких составляющих состоит ДВС при упругопластической работе системы? 7. Как записывается квазиупругая составляющая ДВС при упругопластической работе системы? 8. Как записывается предельная и остаточная составляющие ДВС при упругопластической работе системы? 9. Имеет ли ДВС скачок на осциллограмме в критической точке (в момент текучести или разгрузки) и почему? 10. Что такое предельная амплитуда УПГ? 11. Как записывается ДВС произвольного полуцикла на участках нагружения, упрочнения и разгрузки? 12. Чем отличаются по структуре записи уравнения движения упругопластической системы на квазилинейном интервале от уравнений движения упругой ДДС? 13. На какую часть уравнения реакции ДДС (при свободных или вынужденных колебаний) влияют нелинейные составляющие ДДС?
----------	---

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Потапов, А. Н. Динамический анализ дискретных диссипативных систем при нестационарных воздействиях Моногр. А. Н. Потапов; Юж.-Урал. гос. ун-т, Архитектур.-строит. фак., Каф. Строит. механика; Юж.-Урал. гос. ун-т, Архитектур.-строит. фак., Каф. Строит. механика; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2003. - 166,[1] с.
2. Потапов, А. Н. Расчет статически неопределимых рам с учетом пластических зон методом перемещений [Текст : непосредственный] метод. указания для специальности 08.05.01 "Стр-во уникал. зданий и сооружений" А. Н. Потапов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Строит. пр-во и теория сооружений ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2020. - 54, [1] с. ил. электрон. версия

б) дополнительная литература:

1. Артемьева, Л. М. Временной анализ реакции каркасных многоэтажных зданий при горизонтальных импульсных воздействиях [Текст] Автореф. дис. ... канд. техн. наук : Специальность 05.23.17 - Строительная механика Л. М. Артемьева ; науч. рук. А. Н. Потапов ; Юж.-Урал. гос. ин-т ; ЮУрГУ. - Томск, 2009. - 24 с. ил.
2. Потапов, А. Н. Строительная механика стержневых систем. Статически определимые системы [Текст] курс лекций А. Н. Потапов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Строит. механика ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2014. - 82, [1] с. ил. электрон. версия

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Строительная механика и расчет сооружений
2. Journal of engineering mechanic
3. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering (IJCCSE)

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Потапов А.Н., Уфимцев Е.М. Математическая система MATLAB. Учебное пособие по самостоятельной работе.- Челябинск, Изд. ЮУрГУ, 2009.- 76 с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

Электронная учебно-методическая документация

Нет

9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Math Works-MATLAB, Simulink 2013b(бессрочно)
2. -ЛИРА 9.4 PRO(бессрочно)

Перечень используемых информационных справочных систем:

1. -База данных ВИНТИ РАН(бессрочно)

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	604 (1)	Лекционная мультимедийная аудитория Компьютер – 1 шт., проектор – 1 шт., экран – 1 шт. *Microsoft office **Windows, FineReader 8 (ABBY:FCRM-8000-0004-3380-4394)/ Учебная лаборатория «Учебный центр «САПР в строительстве» Системный блок Intel + монитор LCD – 13 шт., Проектор ASER PD100D, мультимедийная система: Колонки JetBalanceJB-3812x30Вт-2шт, микрофон SHURE C606-N-динамический с выкл. и кабелем, мультимедийный информационный комплекс: документ-камера ASER Video CP300, монитор ASER 19», специализированный рабочий стол преподавателя, пульт управления видеокоммутатором, принтер лазерный HP6L ANSYS 12.1 Academic Teaching, AutoCAD 2011 Autodesk 3ds Max 2009, Autodesk Revit Architecture 2011, Columbus 2007 (Виртуальные лабораторные по сопротивлению материалов). FEM Models 2.0, GIMP 2.8 Ing+ 2008 (MicroFE); LIRA-SAPR 2013 (R2), OpenOffice 4.0, SMathStudioDesktop 0.96, САПФИР 2013; Виртуальные дидактические модули по направлению «Строительная механика» *Microsoft office **Windows; MathCAD (PTC: order #2456861 #2497812).