

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

«05» июля 2023 г.

Регистрационный № УД – 12912/уч.



Дополнительные главы прикладной механики

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021, утвержденного 25.04.2022 г. № 98, типового учебного плана № G31-1-025/пр-тип. от 30.06.2021 г., учебных планов: № G31-1-029/уч.-СИБД от 30.06.2021 г., № G31-1-209/уч.- СИБД от 22.03 .2022 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Журавков Михаил Анатольевич – заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

Николайчик Михаил Александрович – старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Бело-русского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

Чигарев Анатолий Власович – профессор кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

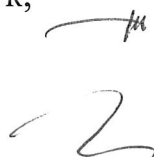
Василевич Юрий Владимирович – профессор кафедры теоретической механики и механики материалов Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
(протокол № 13 от 28.06.2023)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 9 от 29.06.2023)

Заведующий кафедрой,
доктор физико-математических наук,
профессор



М. А. Журавков

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики» - изучить новые разделы прикладной механики.

Образовательная цель: приобретение новых знаний и обучение студентов решению практических задач, возникающих в различных областях современной прикладной механики (машиностроение, CAD/CAE-технологии в механике, использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) в механике).

Развивающая цель: развитие компетенций студентов в области компьютерных расчетов и анализа напряженно-деформированного состояния инженерных механических систем и объектов.

Основные задачи дисциплины:

- ознакомить студентов с техническими методами расчета на прочность, жесткость, устойчивость и вибрацию применительно к задачам машиностроения.
- ознакомиться с инженерной теорией малых упругопластических деформаций.
- сформировать у студентов представление о подходах и методах автоматизированного проектирования и автоматизации инженерных расчетов.
- выработать у студентов навыки работы в современных CAD-пакетах для построения твердотельных моделей объектов, выполнения операций по проектированию инженерно-технических объектов.
- сформировать у студентов навыки работы с современными CAD/CAE-системами для оценки поведения модели изделия в реальных условиях эксплуатации, оценки работоспособности, прочности и надежности инженерного изделия.
- ознакомить студентов с основами технологий искусственного интеллекта, с основными методами машинного обучения.
- ознакомить студентов с основами построения интеллектуальных систем компьютерного моделирования применительно к задачам прикладной механики.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Дополнительные главы прикладной механики» относится к дисциплинам специализации компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами

Программа учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях из дисциплин «Физика», «Теоретическая механика», «Теория упругости», «Компьютерная механика», «Информационные технологии».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики» должно обеспечить формирование следующих универсальных, базовых профессиональных и специализированных компетенций.

Универсальные компетенции:

УК-1. Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

УК-2. Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий;

УК-3. Осуществлять коммуникации на иностранном языке для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;

УК-4. Работать в команде, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные, культурные и иные различия;

УК-5. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности;

Базовые профессиональные компетенции:

БПК-1. Применять основные законы и методы естественнонаучных дисциплин для решения теоретических и практических задач в профессиональной деятельности;

БПК-2. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей, организовывать работу коллективов исполнителей для достижения поставленных целей

БПК-3. Применять нормы международного и национального законодательства в процессе создания и реализации объектов интеллектуальной собственности;

БПК-4. Применять понятия и методы вещественного, комплексного и функционального анализа для изучения моделей окружающего мира;

БПК-6. Использовать основополагающие понятия, определения и теоремы физики при решении задач механики и физики;

Специализированные компетенции:

СК-5. Применять методы и законы механики к исследованию робототехнических систем и решению прикладных задач механики.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- методы и основные алгоритмы численного решения задач прикладной механики применительно к таким конструкциям, как пластины и оболочки;
- методы расчета резиновых и резинокордных деталей;
- назначение, структуру и особенности использования систем автоматизации проектирования и инженерных расчетов применительно к задачам современной прикладной механики;
- назначение и особенности работы CAD-систем при создании твердотельной модели изделия;
- порядок и специфику использования CAD-систем при прохождении полного цикла проектирования изделия;

- особенности работы CAE-систем при их использовании для решения различных прикладных и инженерных задач механики;
- основные понятия технологий ИИ, основные методы машинного обучения применительно к разработке интеллектуальных систем моделирования и инженерных расчетов в механике.

уметь:

- использовать системы трехмерного компьютерного моделирования для создания тел различной топологии;
- самостоятельно работать в пакетах твердотельного компьютерного моделирования, осуществлять в них численный расчет деталей по методу конечных элементов;
- применять современные средства САПР для создания прототипов изделий и оснастки, а также сопроводительной конструкторской и технической документации,
- применять специализированные программные комплексы автоматизации математических и инженерно-технических расчетов (CAE) при проектировании изделия и оснастки;
- выполнять теоретическое обоснование проектных и научно-исследовательских работ в области конструирования и расчетов механических узлов инженерных конструкций, мехатронных и роботизированных систем в программной среде CAD/CAE.

владеть:

- навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач.
- навыками самостоятельного выполнения научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ в области конструирования и расчетов механических узлов инженерных конструкций, мехатронных и роботизированных систем в программной среде CAD/CAE.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Дополнительные главы прикладной механики» отведено:

– для очной формы получения высшего образования –112 часов, в том числе 86 аудиторных часов, из них:

лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 46 часов, управляемая самостоятельная работа – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Расчет толстостенных симметрично нагруженных цилиндрических деталей

Задача Ляме (равномерно распределенная по длине нагрузка). Расчет прессовых посадок при одинаковой длине деталей. Скрепление цилиндров. Графический способ определения напряжений в толстостенных цилиндрах. Деформации толстостенных цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением. Расчет полых цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением. Применение метода Ритца для расчета полых цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением.

Тема 2. Напряженно-деформированное состояния в зоне силового контакта деталей

Нагружение полупространства сосредоточенной силой, нормальной к граничной плоскости. Нагружение полупространства распределенными силами. Геометрические соотношения для поверхностей контактирующих тел.

Тема 3. Расчеты резиновых и резино-кордных деталей

Конструкционные свойства резины. Расчет резиновых амортизаторов, работающих на сжатие. Метод Ритца для решения задач при больших деформациях. Расчет резино-кордных конструкций. Равновесная конфигурация и напряжения в симметричных резино-кордных оболочках, нагруженных внутренним давлением.

Тема 4. Расчеты толстостенных труб и шайб, нагруженных внешним и внутренним давлениями за пределами упругости

Основные уравнения расчета толстостенных труб за пределами упругости. Упруго-пластическое состояние шайбы, нагруженной внутренним и наружным давлениями. Упруго-пластическое состояние бесконечной пластинки, ослабленной круговым отверстием.

Тема 5. Расчеты на ползучесть

Экспериментальные данные по ползучести конструкций. Простое последствие, обратное последствие. Длительная прочность, предел ползучести. Простая релаксация. Неустановившаяся и установившаяся ползучесть.

Тема 6. Расчеты деталей конструкций, выполненных в виде упругих симметричных оболочек

Безмоментная теория. Изгибные напряжения в цилиндрической оболочке. Общие уравнения симметричных оболочек (уравнения равновесия, уравнения совместности, определяющие уравнения, граничные условия).

Тема 7. Технологии искусственного интеллекта и интеллектуальные системы компьютерного моделирования и инженерных расчетов

Общие понятия и определения технологий ИИ. Интеллектуальные системы компьютерного моделирования и инженерных расчетов. Разработка прикладных систем на базе CAD&CAE-технологий. О понятии машинного обучения. Основные виды (типы) машинного обучения. Методы нейронных сетей. Технологии цифровых двойников. Экспертные системы.

Тема 8. Назначение, сущность и содержание CAD- и CAE-технологий применительно к задачам современной механики

CALS-технологии. Определение CAD/CAE-технологий. Применение CAD/CAE на этапах жизненного цикла инженерного изделия. Прогрессивные методы проектирования и автоматизированных инженерных расчетов.

Тема 9. Основные принципы и подходы геометрического и твердотельного моделирования. Типы CAD-систем.

Введение в САПР. Задачи и принципы автоматизации проектирования. Геометрические модели, принципы создания 2D и 3D моделей. Системы двумерного геометрического моделирования. Каркасное моделирование. Системы поверхностного моделирования. Системы твердотельного моделирования (3D-модели). Функции геометрического моделирования (примитивы, булевы операции, объектно-ориентированное программирование, параметрическое моделирование). Сборка объекта.

Тема 10. Применение CAE-систем для анализа напряженно-деформированного состояния, выполнения прочностных расчетов инженерных изделий и конструкций.

Архитектура CAE-систем. Основные принципы работы CAE-систем. Расчетная часть CAE-пакетов, основные численные методы инженерных расчетов. Алгоритмы выполнения расчетов на основе CAE-пакетов, содержание основных этапов. Типы прикладных задач современной механики, решаемые на основе CAE-пакетов. Современные CAE-системы, гибридные CAD/CAE-системы. Примеры из различных разделов современной механики.

Тема 11. Создание твердотельных моделей сложных систем с применением современных CAD-программ.

Создание твердотельных геометрических моделей. Редактирование геометрии. Подготовка геометрии к расчетам. Возможности экспорта/импорта геометрических моделей. Оптимизация и упрощение геометрии.

Тема 12. Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов.

Загрузка геометрической модели из CAD-систем. Задание физико-механических свойств материалов. Создание и оптимизация конечно-элементной сетки. Задание граничных условий. Настройки решателя. Анализ результатов решения задачи.

Тема 13. Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и CAE-систем.

Определение вида нелинейности (модели материалов, контактное взаимодействие и др.). Особенности построение решения нелинейных задач. Сходимость решения. Особенности настроек решателя для нелинейных задач. Решение нелинейных динамических задач. Применение расширенного метода конечных элементов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов по УСП	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Расчет толстостенных симметрично нагруженных цилиндрических деталей	4			4			Собеседование
2	Напряженно-деформированное состояние в зоне силового контакта деталей	2			2			Собеседование
3	Расчеты резиновых и резино-кордных деталей	2			2			Собеседование
4	Расчеты толстостенных труб и шайб, нагруженных внешним и внутренним давлениями за пределами упругости	2			2			Собеседование
5	Расчеты на ползучесть	2			2			Собеседование
6	Расчеты деталей конструкций, выполненных в виде упругих симметричных оболочек	4			4		2	Собеседование, контрольная работа
7	Технологии искусственного интеллекта и интеллектуальные системы компьютерного моделирования и инженерных расчетов	8			4			Вопросы для самопроверки, устный опрос, дискуссия
8	Назначение, сущность и содержание CAD и CAE-технологий применительно к задачам современной механики	2						Собеседование
9	Основные принципы и подходы геометрического и твердотельного моделирования. Типы CAD-систем	4						Вопросы для самопроверки, устный опрос, дис-

								куссия
10	Применение CAE-систем для анализа напряженно-деформированного состояния, выполнения прочностных расчетов инженерных изделий и конструкций	4						Вопросы для само-проверки, устный опрос
11	Создание твердотельных моделей сложных систем с применением современных CAD-программ.				6			Отчет по лабораторной работе
12	Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов.				12		2	Проверка типовых заданий, отчет по лабораторной работе
13	Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и CAE-систем.				8		2	Проверка типовых заданий, отчет по лабораторной работе
	Всего	34			46		6	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Zhuravkov M., Lyu Y., Starovoitov E. Mechanics of Solid Deformable Body. Springer. 2023. 317p. ISBN 978-981-19-84009-9. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-8410-5>
2. Журавков М.А., Старовойтов Э.И. Математические модели механики твердых тел: учеб.пособие. – Минск: БГУ, 2021 – 535 с. (Классическое университетское издание). (Допущено Министерством образования республики Беларусь в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальности «Механика и математическое моделирование», «Физика (по направлениям)», «Промышленное и гражданское строительство», «Автомобильные дороги»). ISBN 978-985-881-131-0.
3. Божко А.Н., Волосатова Т.М., Грошев С.В., Жук Д.М., Карпенко А.П., Маничев В.Б., Мартынюк В.А., Норенков Ю.И., Пивоварова Н.В., Трудоношин В.А. Основы автоматизированного проектирования: учебник / под ред. А.П. Карпенко. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 329 с.
4. Computer Mechanics: Introduction to FEA and CAD/CAE Systems: lecture course / Громыко О.В., Журавков М.А., Медведев Д.Г., Гляков С.А., Громыко А.О., Громыко А.О., Царева А.А.; под общ. ред. проф. М.А. Журавкова. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
5. CALS-технологии в машиностроении: основы работы в CAD/CAE-системах: учебное пособие / С.И. Пестрецов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2020. – 104 с.
6. Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А.А. Алямовский. - Санкт Петербург: БХВ-Петербург, 2022. - 442 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб. : Питер, 2014. – 560 с.
2. Гляков С.А., Громыко О.В., Журавков М.А, Медведев Д.Г. Компьютерная механика. Динамический и кинематический анализ механических систем: курс лекций / под ред. М.А.Журавкова. Мн.: БГУ, 2006. –375 с.
3. FEA.RU|CompMechLab – О системе Unigraphics. <http://www.fea.ru/education/cad/unigraphics/>.
4. FEA.RU|CompMechLab – О системе CATIA. <http://www.fea.ru/education/cad/catia/>.
5. Autodesk Inventor: Autodesk Inventor. <http://www.inventor.ru/>.
6. CAD.RU – О программном продукте Autodesk Revit. <https://cad.ru/support/bz/archive/65/autodesk-revit26900/>
7. Autodesk Fusion 360: Autodesk Fusion 360. <https://fusion-360.ru/>.
8. FEA.RU|CompMechLab – О системе SolidWorks. <http://www.fea.ru/education/cad/solidworks/>.

9. Nei Nastran в России и СНГ – Система конечно-элементного анализа CAD/FEA/CAE. <http://www.nenastran.ru/>.
10. Welcome to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. <http://www.ansys.com>.
11. ANSYS, Inc. Products. <http://www.ansys.com/products/default.asp>.
12. LS-DYNA.RU – результаты расчётов, учебные курсы, новости. <http://www.ls-dyna.ru/>.
13. CAE-FIDESYS.RU – О CAE-системе Fidesys. <https://cae-fidesys.com/>
14. MSC Software – программная линейка компании MSC. <https://www.cae-sim-sol.com/en/software/msc-software>.
15. KOMPAS.RU – О системе трехмерного проектирования Компас-3D. <https://kompas.ru/kompas-3d/about/>
16. CAD-IS.RU – САПР Solid Edge. <https://www.cad-is.ru/solid-edge>

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Дополнительные главы прикладной механике» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой;
- собеседования;
- дискуссия;**
- контрольная работа;
- проверка типовых заданий.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную оценку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в Белорусском государственном университете (приказ ректора № 189-ОД от 31.03.2020).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Дополнительные главы прикладной механики» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой отметки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- собеседование – 30 %;
- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой – 70%.

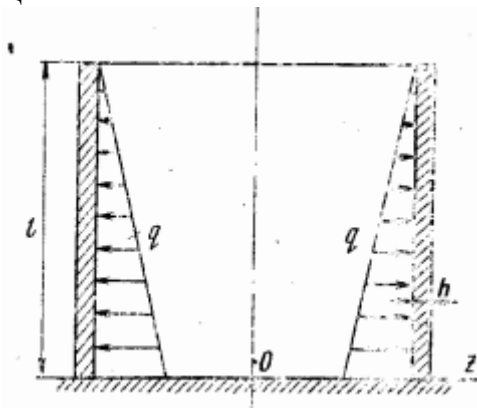
Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) и экзаменационной отметки с учетом их весовых коэффициентов. Вес отметки по текущей аттестации составляет 40%, экзаменационной отметки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 6. Расчеты деталей конструкций, выполненных в виде упругих симметричных оболочек. (2 ч)

Примерный вариант задания.

Рассчитать напряжения в цилиндрическом резервуаре, используя моментную теорию оболочек, наполненном до краев жидкостью. Резервуар имеет следующие размеры: радиус оболочки 2 м, длина оболочки вдоль образующей 3 м, толщина оболочки 0.15 м. Удельный вес воды, 10 кН/м^3 , коэффициент Пуассона материала оболочки- железобетона $1/6$. Верхний край оболочки свободен от закрепления, нижний зашцеplen.



Форма контроля - контрольная работа.

Темы 12. Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов. (2 ч.) и Тема 13. Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и CAE-систем. (2 ч.)

Примерные варианты заданий.

Для выбранных преподавателем задач (из курсов сопротивления материалов, теории упругости) в системах AutoCad, SolidWorks построить твердотельные модели и выполнить на базе их расчеты НДС в системе Ansys.

Выполнить обзор актуальных CAE-комплексов, основанных на конечно-элементном моделировании, а также систем автоматизированного проектирования (CAD-систем).

Выполнить анализ возможностей современных программных решений компании Ansys Inc.

Выполнить анализ возможностей современных программных решений компании MSC Software.

Выполнить анализ возможностей современных программных решений компании Autodesk.

Форма контроля - проверка типовых заданий, отчет по лабораторной работе

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Расчет цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением;
2. Изучить напряженное состояние в случае эллиптической площадки контакта.
3. Расчет резино-металлического шарнира.
4. Расчет резиновых амортизаторов, работающих на сжатие.
5. Расчет напряжений в зоне краевого эффекта в осесимметричных оболочках.
6. Расчет толстостенных труб за пределами упругости.
7. Упруго-пластическое состояние толстостенной трубы без упрочнения.
8. Расчеты на ползучесть и релаксацию.
9. Выбор метода машинного обучения для различных предложенных задач прикладной механики.
10. Создание твердотельных моделей сложных систем с применением современных CAD-программ.
11. Решение прикладных задач механики деформированного твердого тела с применением систем автоматизированного проектирования и конечно-элементных программных комплексов.
12. Решение некоторых нелинейных задач механики с применением CAD и CAE-систем.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной решаемой задаче (проблеме), а также **методы и приемы развития критического мышления**, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к лабораторным занятиям, материалы текущего контроля и промежуточной аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта высшего образования и учебно-программной документации, в т.ч. вопросы для подготовки к экзамену, задания, тесты, вопросы для самоконтроля и др., список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Задача Ляме (равномерно распределенная по длине нагрузка).
2. Графический способ определения напряжений в толстостенных цилиндрах.
3. Деформации толстостенных цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением.
4. Применение метода Ритца для расчета полых цилиндров, нагруженных переменным по длине давлением.
5. Нагружение полупространства сосредоточенной силой, нормальной к граничной плоскости.
6. Нагружение полупространства распределенными силами. Геометрические соотношения для поверхностей контактирующих тел.
7. Конструкционные свойства резины.
8. Расчет резиновых амортизаторов, работающих на сжатие.
9. Метод Ритца для решения задач при больших деформациях.
10. Расчет резино-кордных конструкций.
11. Равновесная конфигурация и напряжения в симметричных резино-кордных оболочках, нагруженных внутренним давлением.
12. Основные уравнения расчета толстостенных труб за пределами упругости.
13. Упруго-пластическое состояние шайбы, нагруженной внутренним и наружным давлениями.
14. Упруго-пластическое состояние бесконечной пластинки, ослабленной круговым отверстием.
15. Экспериментальные данные по ползучести конструкций.
16. Простое последствие, обратное последствие.
17. Длительная прочность, предел ползучести.
18. Простая релаксация.
19. Неустановившаяся и установившаяся ползучесть.
20. Изгибные напряжения в цилиндрической оболочке.
21. Общие уравнения симметричных оболочек (уравнения равновесия, уравнения совместности, определяющие уравнения, граничные условия).
22. Определение, основное назначение САД-систем.
23. Определение, основное назначение САЕ-систем.
24. Технологии ИИ.
25. Методы машинного обучения.
26. Нейронные сети. Архитектура нейронных сетей.
27. Цифровые двойники.
28. Экспертные системы.
29. САЕ-комплексы, основанные на конечно-элементном моделировании.
30. Последовательность решения задач с использованием САД- и САЕ-технологий.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменении в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
отсутствует			

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
на ____ / ____ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20_ г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор
(степень, звание)

(подпись)

М.А. Журавков
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Д.ф.-м.н., профессор
(степень, звание)

(подпись)

С.М. Босяков
(И.О.Фамилия)