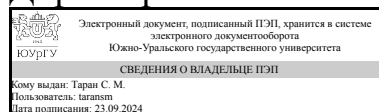


УТВЕРЖДАЮ:

Директор



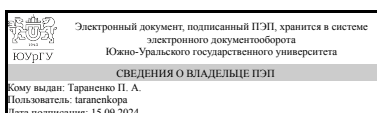
С. М. Таран

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.М0.06.01 Современные методы оценки тепловой и механической напряженности элементов конструкций  
**для направления** 09.04.01 Информатика и вычислительная техника  
**уровень** Магистратура  
**магистерская программа** Цифровые двойники в двигателестроении и транспортном машиностроении  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Техническая механика

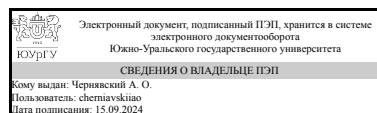
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 09.04.01 Информатика и вычислительная техника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 918

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



П. А. Тараненко

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



А. О. Чернявский

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель - изучение методов расчетной оценки прочности теплонапряженных конструкций. Задачи: - изучение предельных состояний, характерных для теплонапряженных конструкций, и исходных данных, необходимых для выполнения анализа; - освоение технологии расчета параметров напряженно-деформированного состояния теплонапряженных конструкций (применительно к разным предельным состояниям); - выполнение расчетных оценок прочности и долговечности для конкретных конструкций.

## Краткое содержание дисциплины

Предельные состояния теплонапряженных металлических конструкций. Критерии прочности - общие и индивидуальные для конструкций. Свойства материалов, связь описания свойств с рассматриваемым предельным состоянием. Технология расчетного определения параметров теплового и напряженного состояния. Исходные данные, возможность экспериментальной проверки и корректировки моделей. Выполнение расчетных оценок прочности и долговечности для конкретных конструкций с различными предельными состояниями.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен разрабатывать конструкции двигателей, транспортных средств и их компонентов с применением современных технологий цифровых двойников, анализировать влияние ключевых факторов на выходные характеристики изделий, внедрять и применять технологии цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла изделия	Знает: современные методы оценки прочности различных подсистем автотранспортных средств и их компонентов с применением современных технологий цифровых двойников Умеет: выполнять анализ напряженно-деформированного состояния, а также прочностной анализ элементов автотранспортных конструкций, в том числе с учетом теплового воздействия Имеет практический опыт: расчетов на прочность элементов автотранспортных конструкций при механическом и тепловом воздействии
ПК-3 Способен планировать работы и разрабатывать конструкции двигателей и автотранспортных средств на основе сложных конечноэлементных расчетов и результатов междисциплинарного анализа динамики и прочности их узлов и агрегатов; разрабатывать методики и проводить виртуальные испытания различных подсистем двигателей и автотранспортных средств	Знает: основной набор методов оценки тепловой и механической напряженности элементов конструкций Умеет: искать информацию о развивающихся возможностях систем математического (численного) моделирования поведения конструкций Имеет практический опыт: сравнения различных возможных подходов к решению задач тепловой и механической напряженности элементов конструкций

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Основы автоматизированного проектирования, Технологии цифровых двойников, Современное программное обеспечение построения цифровых двойников, Применение метода конечных элементов при построении цифровых двойников, Мониторинг состояния конструкций	Управление жизненным циклом изделия

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

Дисциплина	Требования
Основы автоматизированного проектирования	Знает: методы и средства компьютерной графики и геометрического моделирования, особенности разработки и редактирования САD-моделей узлов и механизмов транспортных средств, передовые информационные технологии и компьютерные программы для 3D-моделирования узлов и механизмов транспортных средств Умеет: графически представлять 2D и 3D-объекты; создавать и редактировать изображения, разрабатывать САD-модели, подготавливать геометрические модели деталей и механизмов для инженерного анализа Имеет практический опыт: использования современного программного обеспечения в области разработки САD-моделей, работы в современных компьютерных программах САD-моделирования
Технологии цифровых двойников	Знает: концепцию цифровых двойников; основные подходы к определению понятия "цифровой двойник"; основные подходы к валидации и верификации моделей Умеет: использовать подходы к созданию цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла изделия Имеет практический опыт: создания цифровых двойников машиностроительных конструкций на стадии проектирования
Применение метода конечных элементов при построении цифровых двойников	Знает: типичные расчетные случаи, рассчитанные на предотвращение критической ситуации, связанной с нарушением прочности конструкции, типовые задачи, решаемые методом конечных элементов в современных системах CAE, причины нарушения работоспособности элементов конструкции; виды расчетных случаев, применяемых в прочностных расчетах; интерфейс и основы работы в широко распространенных современных САD и CAE системах, основанных на применении метода конечных элементов, основы метода конечных элементов Умеет: на

	<p>основе системного подхода решать задачи методом конечных элементов, вырабатывать стратегию действий для предотвращения нарушения прочности конструкции, обосновывать выбор метода расчета, создавать адекватные геометрические модели деталей и механизмов для инженерного анализа; эффективно разбивать детали на конечные элементы; вычислять и анализировать поля напряжений, деформаций и перемещений при статическом, динамическом и тепловом воздействии; выполнять расчеты на устойчивость; делать многовариантные расчеты и выполнять параметрическую оптимизацию; анализировать результаты расчетов и формулировать выводы, корректировать геометрические модели изделия для последующего построения конечноэлементной модели; создавать конечноэлементные модели механических систем, выполнять их расчет, анализировать результаты расчета конечноэлементных моделей; Имеет практический опыт: решения задач в современных системах САЕ, основанных на использовании метода конечных элементов, анализа проблемной ситуации, разработки адекватной расчетной конечноэлементной модели, анализа результатов и формулировки выводов, владения современными конечноэлементными пакетами; расчета динамики и прочности конечноэлементных моделей конструкций</p>
<p>Мониторинг состояния конструкций</p>	<p>Знает: современные автоматизированные системы технической диагностики объектов; элементы технологий цифровых двойников, методы технической диагностики, особенности оценки технического состояния диагностируемых систем, алгоритмы и техническое обеспечение систем диагностики, методы и средства технического диагностирования как средства повышения экономичности и надежности конструкции в процессе проектирования и эксплуатации Умеет: пользоваться методами и средствами технической диагностики для проведения научно-исследовательских, расчетных и экспериментальных работ в сфере разработки цифровых двойников с целью анализа динамики, прочности и надежности конструкций, оценивать эффективность автоматизированных систем технической диагностики в общей структуре АСУ ТП, пользоваться методикой оценки остаточного ресурса оборудования и поиска неисправностей на основе данных мониторинга; формулировать задачу и способ ее решения Имеет практический опыт: использования</p>

	современных средств измерений, программных продуктов, предназначенных для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга, использования современных средств измерений, программных продуктов, предназначенных для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга, выбора метода и средств мониторинга состояния объекта; выбора диагностических параметров и критериев работоспособности
--	--

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 36,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72	
<i>Аудиторные занятия:</i>	32	32	
Лекции (Л)	16	16	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	35,75	35,75	
Подготовка исходных данных для расчета предложенного преподавателем элемента конструкции	8	8	
подготовка к зачету	7	7	
Выполнение расчета элемента конструкции	20,75	20,75	
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Предельные состояния теплонапряженных металлических конструкций	10	8	2	0
2	Технология расчетного определения параметров теплового и напряженного состояния	16	6	10	0
3	Выполнение расчетных оценок прочности и долговечности для конкретных конструкций	6	2	4	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Предельные состояния. Типовые и индивидуальные предельные состояния. Расчеты на разных стадиях жизненного цикла.	2
2	1	Предельные состояния теплонапряженных конструкций из хрупких материалов. Трещины и сетки трещин, механика развития трещин при тепловом нагружении.	2
3	1	Предельные состояния конструкций из пластичных материалов. Знакопеременное течение, прогрессирующее накопление деформаций, комбинированный цикл; механика возникновения и развития.	2
4	1	Свойства материалов при различных программах нагружения. Вопросы полноты исходных данных. Влияние допусков. Достоверные и недостоверные результаты расчетов.	2
5	2	МКЭ как средство решения дифференциальных уравнений в частных производных. Задачи расчета напряженно-деформированного и теплового состояния. Физически и геометрически нелинейные задачи. Многодисциплинарные и связанные задачи.	2
6	2	Особенности построения КЭ-моделей для анализа разных предельных состояний. Библиотека моделей материалов и библиотека конечных элементов пакета ANSYS. Особенности математических формулировок, программной реализации и применения.	2
7	2	Организация вычислений и анализ результатов в задачах о циклическом нагружении (расчеты кинетики с экстраполяцией, расчет стабильного цикла)	2
8	3	Особенности оценки долговечности в различных условиях (суммирование повреждений, ползучесть, много- и малоцикловая усталость)	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Анализ поведения простейшей системы при циклическом неизотермическом нагружении (задача Бри)	2
2	2	Расчет напряжений при механической нагрузке. Сингулярные задачи (без скругления). Конструкторские и расчетные модели. Подход Нэйбера и его ограничения.	4
3	2	Расчет тепловых полей. Теплопроводность, конвекция и радиация. Использование КЭ разных типов.	4
4	2	Предельные состояния. Расчеты тел с трещинами, расчеты при больших пластических деформациях.	2
5	3	Выполнение расчетных оценок прочности и долговечности для конкретных конструкций	4

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на	Семестр	Кол-во

	ресурс		часов
Подготовка исходных данных для расчета предложенного преподавателем элемента конструкции	Справочники по свойствам материалов (Гохфельд Д.А. и др. Мезанические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении; Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов и др.). Нормативные документы по расчетам на прочность в выбранной отрасли.	3	8
подготовка к зачету	Порошин В.Б., Чернявский А.О. Современные подходы к анализу и численному решению задач пластичности и ползучести. Учебник - М.: Инфра-Инженерия, 2024 г. - 116 с. (раздел Б) ГОСТ Р 59115.10—2021 ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. Уточненный поверочный расчет на стадии проектирования	3	7
Выполнение расчета элемента конструкции	Документация к пакетам программ. Нормативно-техническая документация по расчетам на прочность (ГОСТ 59115 и др.)	3	20,75

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	3	Текущий контроль	Планирование расчетов элемента конструкции	1	5	Учитывается: - полнота перечня предельных состояний, которые должны быть рассмотрены; - полнота перечня режимов работы и исходных данных по ним (при отсутствии прямых данных - прогноз); - Корректность выбора модели материала и ее параметров.	зачет
2	3	Текущий контроль	Выполнение расчетов элемента конструкции	1	5	Учитывается полнота расчетов (по списку, подготовленному на предыдущем этапе) и доказательство корректности полученных результатов.	зачет
3	3	Промежуточная аттестация	зачет	-	5	За полноту ответа на вопрос.	зачет

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Не предусмотрены

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ		
		1	2	3
ПК-1	Знает: современные методы оценки прочности различных подсистем автотранспортных средств и их компонентов с применением современных технологий цифровых двойников	+		+
ПК-1	Умеет: выполнять анализ напряженно-деформированного состояния, а также прочностной анализ элементов автотранспортных конструкций, в том числе с учетом теплового воздействия		+	+
ПК-1	Имеет практический опыт: расчетов на прочность элементов автотранспортных конструкций при механическом и тепловом воздействии		+	+
ПК-3	Знает: основной набор методов оценки тепловой и механической напряженности элементов конструкций	+		+
ПК-3	Умеет: искать информацию о развивающихся возможностях систем математического (численного) моделирования поведения конструкций	+		+
ПК-3	Имеет практический опыт: сравнения различных возможных подходов к решению задач тепловой и механической напряженности элементов конструкций	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Гохфельд Д. А. Несущая способность конструкций при повторных нагрузениях / Редкол. сер.: С. Д. Пономарев (пред.) и др.. - М. : Машиностроение, 1979. - 263 с. : ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

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

1. Проблемы машиностроения и автоматизации : междунар. журн. / Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова Рос. акад. наук, Моск. гор. центр науч.-техн. информ.. - М., 1999-. -
2. Проблемы машиностроения и надежности машин : науч. журн. / Рос. акад. наук, Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова, Межотраслевой науч.-техн. комплекс "Надежность машин". - М. : Наука, 1990-. -
3. Тяжелое машиностроение : науч.-техн. и произв. журн. / Ком. Рос. Федерации по машиностроению, АО "ТЭНМА", АО "Концерн "Трансмаш". - М. : Машиностроение, 1990-. -

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:



1. Чернявский А.О. НЕЛИНЕЙНЫЕ И СВЯЗАННЫЕ ЗАДАЧИ В МЕТОДЕ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021 - 67 с.

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

1. Чернявский А.О. НЕЛИНЕЙНЫЕ И СВЯЗАННЫЕ ЗАДАЧИ В МЕТОДЕ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021 - 67 с.

### **Электронная учебно-методическая документация**

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Не предусмотрено