

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

А. И. Елкин  
« 31 08 2021 » г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Термоупругость»**

направление подготовки / специальность

13.04.03 – энергетическое машиностроение

направленность (профиль) подготовки

Двигатели внутреннего сгорания

г. Владимир

Год  
2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Термоупругость» является:

- ознакомление студентов с применяемыми в инженерных расчетах и научных исследованиях расчетом теплонапряженных конструкций;
- формирование научно обоснованного подхода к выбору расчетных схем и методов проведения методов расчетов таких конструкций;
- обучение умениям обеспечить требуемые качественные результаты, полученные в результате численного расчета;
- научить правильно анализировать полученные результаты расчета и выбирать оптимальные варианты по выбранным критериям;
- воспитании ответственности за правильное и рациональное оформления результатов расчета.

Задачи:

- ознакомить студентов с методами расчета термпрочности в области энергетического машиностроения;
- обучить студентов основополагающим закономерностям обработки результатов расчетных исследований в энергетическом машиностроении при расчете температурных напряжений;
- сформировать навыки наиболее оптимального метода расчета по выбранным критериям;
- сформировать у студентов навыки и умения по организации проведения расчетных исследований прочности, как в процессе обучения, так и в производственных условиях.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 «Термоупругость» относится к вариативной части блока Б1 структуры программы магистратуры.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разрабатывать методические и нормативные документы.	ПК-3.1. Знает, как составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разрабатывать методические и нормативные документы. ПК-3.2. Умеет составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разрабатывать методические и нормативные документы. ПК-3.3. Владеет методиками составления описания принципов действия и устройства проектируе-	<b>Знает</b> • основные методы постановки целей и задач исследования, приоритеты при решении задач;; <b>Умеет</b> • формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки. <b>Владеет</b> • способностью формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки.	КП

	<p>мых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений, разработки методических и нормативных документов.</p>		
<p>ПК-4. Способен проводить экспериментальные исследования с использованием автоматизированных систем регистрации и обработки информации</p>	<p>ПК-4.1. Знает, как проводить экспериментальные исследования с использованием стандартных и специализированных автоматизированных программ регистрации и обработки информации.</p> <p>ПК-4.2. Умеет выполнять экспериментальные исследования на базе автоматизированных систем регистрации и обработки информации.</p> <p>ПК-4.3. Владеет навыками пользователя стандартных и специализированных пакетов прикладных программ по обработке результатов исследований.</p>	<p><b>Знает</b> основные методы технологии проектирования в энергетическом машиностроении.</p> <p><b>Умеет</b> применять современные технологии проектирования для разработки конкурентоспособных энергетических установок.</p> <p><b>Владеет</b> современными технологиями проектирования для разработки конкурентоспособных энергетических установок с прогрессивными показателями качества.</p>	<p>Зачет</p>
<p>ПК-5. Способность выполнять научные исследования в составе научно-исследовательских групп, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов</p>	<p>ПК-5.1. Знает, как выполнять научные исследования в составе научно-исследовательских групп, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов методы оформления отчетов по результатам расчетных и экспериментальных исследований объектов энергетического машиностроения.</p> <p>ПК-5.2. Умеет выполнять научные исследования в составе научно-исследовательских групп, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов.</p> <p>ПК-5.3. Владеет навыками научных исследований в составе научно-исследовательских групп, разработки методик и организовывать проведение</p>	<p><b>Знает</b> теоретические и экспериментальные методы научных исследований, принципы организации научно-исследовательской деятельности</p> <p><b>Умеет</b> использовать знания теоретических и экспериментальных методов научных исследований, принципов организации научно-исследовательской деятельности.</p> <p><b>Владеет</b> знаниями теоретических и экспериментальных методов научных исследований, принципов организации научно-исследовательской деятельности.</p>	<p>КП</p>

	экспериментов и испытаний, проводить обработку и анализ результатов пользователя стандартных и специализированных пакетов прикладных программ по обработке результатов исследований, оформлению отчетов.		
--	--	--	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Основные уравнения термоупругости в прямоугольных декартовых координатах.	2	1-4	4	4	4		15	
2	Основные уравнения термоупругости в цилиндрических и сферических координатах. Уравнения термоупругости в перемещениях и напряжениях.	2	5-6	2	2	2		6	Рейтинг-контроль №1
3	Основные уравнения термопластичности (деформационная теория).		7-8	2	2	2		6	
4	Физические уравнения термопластичности (теория течения).	2	9-10	2	2	2		6	Рейтинг-контроль №2
5	Особенности деформации ползучести при одноосном напряженном состоянии. Краткие сведения об основных теориях ползучести.		11-16	6	6	6		15	
6	Знакопеременная термопластичность. Циклическая термопластичность.	2	17-18	2	2	2		6	Рейтинг-контроль №3
Всего за 2 семестр:				18	18	18		54	
Наличие в дисциплине КП/КР									КП
Итого по дисциплине				18	18	18		54	КП, зачет

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

1. Введение в современные программные комплексы.
2. Последовательность подготовки конечноэлементной модели.
3. Команды построения геометрии.
4. Команды задания типа конечных элементов и физико-механических свойств материала.
5. Анализ конечноэлементной модели и ее оптимизация.
6. Задание граничных условий.
7. Анализ расчетных результатов.

### Темы лабораторных работ

8. Введение в современные программные комплексы,
9. Последовательность подготовки конечно-элементной модели,
10. Команды построения геометрии,
11. Команды задания типа конечных элементов и физико-механических свойств материала,
12. Анализ конечно-элементной модели и ее оптимизация,
13. Задание граничных условий,
14. Анализ расчетных результатов.

### Темы практических занятий

1. Решение общих уравнений термоупругости.
2. Физические уравнения термоупругости.
3. Решение задач термоупругости при переменных упругих характеристиках.
4. Деформационная теория термопластичности.
5. Расчеты при укрупненных этапах нагружения.
6. Решение с использованием обобщенной теории неизотермического пластического течения.
7. Использование аппроксимирующих формул и упрощенный расчет неустановившейся стадии ползучести.
8. Решение связанной теории термоупругости.

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

### 5.1. Текущий контроль успеваемости

#### Рейтинг-контроль №1

1. Зависит ли температурное поле тела от его напряженно-деформированного состояния?
2. Можно ли считать температурное поле заданным на основании экспериментальных измерений или расчетов по уравнениям теплопроводности?
3. Какие физические уравнения термоупругости используются при решении задач?
4. Решение задач термоупругости при переменных упругих характеристиках.
5. Для чего при решении задач термоупругости используют переменные упругие характеристики?
6. Приведите основные уравнения теории пластического течения.
7. Что такое поверхность неизотермического пластического деформирования.
8. В условиях сложного напряженного состояния какие предположения используются в деформационной теории пластичности.
9. Превышает ли пластическая деформация упругую?

#### Рейтинг-контроль №2

1. Что такое метод переменных параметров упругости?
2. Что такое метод дополнительных деформаций?
3. Что такое метод дополнительных объемных деформаций?
4. Как различаются кривые деформирования при растяжении с постоянной температурой и постоянным напряжением?
5. Как ведутся расчеты при укрупненных этапах нагружения?
6. Как меняется мгновенный предел текучести в зависимости от пути нагружения.
7. Что такое ползучесть? Когда она проявляется?

## Рейтинг-контроль №3

1. Установившаяся ползучесть.
2. Теория старения и течения.
3. Теория изотропного упрочнения.
4. Использование аппроксимирующих формул и упрощенный расчет неустановившейся стадии ползучести.
5. Уравнения связанной задачи термоупругости.
6. Энергетические соотношения термоупругости.
7. Знакопеременное нагружение при меняющейся температуре.
8. Теория неізотропного пластического течения с линейным анизотропным упрочнением.
9. Теория неізотропного пластического течения с нелинейным анизотропным упрочнением.
10. Изотермические циклы при одноосном напряженном состоянии.

**5.2. Промежуточная аттестация** по итогам освоения дисциплины - *зачет*.

### Вопросы к зачету

1. Температурное поле тела при произвольном напряженно-деформированном состоянии.
2. Определение температурного поля на основании экспериментальных измерений или расчетов по уравнениям теплопроводности.
3. Физические уравнения термоупругости.
4. Решение задач термоупругости при переменных упругих характеристиках.
5. Основные уравнения теории пластического течения.
6. Поверхность неізотермического пластического деформирования.
7. Метод переменных параметров упругости.
2. Метод дополнительных деформаций.
3. Метод дополнительных объемных деформаций.
4. Кривые деформирования при растяжении с постоянной температурой и постоянным напряжением.
5. Расчеты при укрупненных этапах нагружения.
6. Мгновенный предел текучести в зависимости от пути нагружения.
7. Установившаяся ползучесть.
8. Теория старения и течения.
9. Теория изотропного упрочнения.
10. Использование аппроксимирующих формул и упрощенный расчет неустановившейся стадии ползучести.
11. Уравнения связанной задачи термоупругости.
12. Энергетические соотношения термоупругости.
13. Знакопеременное нагружение при меняющейся температуре.
14. Теория неізотропного пластического течения с линейным анизотропным упрочнением.
15. Теория неізотропного пластического течения с нелинейным анизотропным упрочнением.
16. Изотермические циклы при одноосном напряженном состоянии.

### Задание на курсовой проект

Исследование теплового и напряженного состояния (ТНДС) поршневой группы.

### Содержание курсового проекта

Исследование теплового и напряженного состояния (ТНДС) поршня дизеля по данным расчета цикла на двух режимах: максимального крутящего момента и номинальном. При этом учитываются следующие виды нагружения:

- ✓ температурное поле на режиме номинальной мощности и холостого хода;
- ✓ газовые силы;
- ✓ силы инерции;
- ✓ контакт поршневого пальца с шатуном и поршнем;
- ✓ физическая нелинейность материалов деталей поршневой группы.

Результаты расчета оформляются в расчетно-пояснительную записку и проводится защита выполненной работы.

### 5.3 Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа заключается в изучении содержания тем курса по кон-

спектам, учебникам и дополнительной литературе, подготовке к лабораторным и практическим занятиям, оформлении лабораторных работ, к рубежным контролям, к экзамену, оформлению лабораторных работ. Она может включать в себя практику подготовки рефератов, презентаций и докладов по ним. Тематика рефератов должна иметь проблемный и профессионально ориентированный характер, требующий самостоятельной творческой работы студента.

Самостоятельная работа также включает выполнение курсового проекта, которая должна содержать описание модели (постановке задачи, типы используемых конечных элементов, кинематические граничные условия, обоснование, расчет и способ приложения действующих нагрузок), результаты расчета поля температур, напряжений и деформаций, расчеты запасов прочности для зон с максимальным уровнем напряжений.

### Вопросы к самостоятельной работе студентов

1. Какие допущения используются в теории термоупругости?
2. Зависит ли температурное поле в упругом теле от его напряженно-деформированного состояния?
3. Что такое принцип суперпозиции?
4. Какие инварианты напряжений и деформаций используются в теории термоупругости?
5. Принцип решения термоупругости при переменных упругих характеристиках.
6. Что такое деформационная теория термопластичности?
7. Что такое метод переменных параметров упругости?
8. Что такое поверхности неизотермического пластического деформирования?
9. Метод переменных параметров упругости.
10. Изменение теории неизотермического течения.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцов А.А.. Трехмерное моделирование нестационарных теплофизических процессов в поршневых двигателях [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Р. З. Кавтарадзе, Д. О. Онищенко, А. А. Зеленцов. -М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.	2012	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0563.html">http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0563.html</a>
2. Основы теории тепловых процессов и машин. В 2 ч. Ч.II [Электронный ресурс] / Н.Е. Александров и др.; под ред. Н.И. Прокопенко. - 4-е изд. -М.: БИНОМ, 2012.	2012	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996308347.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996308347.html</a>
3. Основы теории тепловых процессов и машин. В 2 ч. Ч.1 [Электронный ресурс] // Н.Е. Александров и др.; под ред. Н.И. Прокопенко. - 4-е изд. -М.: БИНОМ, 2012	2012	<a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21556843">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21556843</a>
Дополнительная литература		
1. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с.	2008	<a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19576598">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19576598</a>
2. Прокопенко Н. И. Термодинамический расчет идеализированного цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс] : учебное пособие / Прокопенко Н. И. - 3-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ, 2015.	2015	<a href="https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20241353">https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20241353</a>

## **6.2. Периодические издания**

1. «Известие вузов. Машиностроение» [https://www.elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=7816](https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=7816)
2. «Двигателестроение» [https://www.elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=8643](https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8643)
3. «Двигатель» [https://www.elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7604](https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=7604)
4. «Фундаментальные исследования» [https://www.elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=10121](https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=10121)
5. «Тракторы и сельхозмашины» [https://www.elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=28193](https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=28193)

## **6.3. Интернет-ресурсы**

1. Программный комплекс «Diesel RK». Бесплатный удаленный доступ к системе ДИЗЕЛЬ-РК <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=Vozmojnosti>
2. Онлайн-калькулятор <http://ru.onlimeschool.com/math/assistance/equation/gauss/>
3. <http://ru.onlimeschool.com/math/assistance/equation/gauss/>
4. <http://math.semestr.ru/gauss/gauss.php>
5. [http://www.webmath.ru/web/prog13\\_1.php](http://www.webmath.ru/web/prog13_1.php)
6. <http://matematikam.ru/solve-equations/sistema-gaus.php>
7. [http://www.math-pr.com/equations\\_1.php](http://www.math-pr.com/equations_1.php);
8. <http://ru.onlimeschool.com/math/assistance/equation/matr/>;
9. <http://ru.numberempire.com/equationsolver.php>.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекции, практические занятия и лабораторные работы проводятся в аудитории 304-2, оснащенной проектором и учебными компьютерами.

Набор слайдов, контрольные тесты, сценарии к проведению занятий с использованием интерактивной формы организации учебного процесса, программы Ansys, SolidWorks, Matlab.

Самостоятельная работа студентов осуществляется в аудитории 334-2, оснащенной компьютерами, доступом в интернет, справочными материалами.



Рабочую программу составил

В. С. Клевцов

Рецензент

(представитель работодателя) специалист по сертификации АО «Камешковский механический завод», Владимирская область, г. Камешково  
д.т.н.

А. Р. Кульчицкий

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_  
Протокол № 1 от 31.08.21 года  
Заведующий кафедрой

А. Ю. Абаляев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
на заседании учебно-методической комиссии направления 13.04.03 – энергетическое машино-  
строение

Протокол № 1 от 31.08.21 года  
Председатель комиссии Председатель комиссии,  
д.т.н., профессор

А. Н. Гоц

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

в рабочую программу дисциплины

*«Теория поршневых двигателей»*

образовательной программы направления подготовки 13.04.03 – энергетическое машиностроение,

направленность: *двигатели внутреннего сгорания*

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

*Подпись**ФИО*