

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



Елкин А.И.

20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

«Использование метода конечных элементов в энергомашиностроении»

направление подготовки / специальность

**13.03.03 «Энергетическое машиностроение»**

(код и наименование направления подготовки (специальности))

**«Двигатели внутреннего сгорания»**

(направленность (профиль) подготовки)

г. Владимир

2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Использование метода конечных элементов в энергомашиностроении» являются:

- изучение метода конечных элементов, реализованного в расчетных программах;
- формирование навыков выполнения расчетов на прочность деталей в энергомашиностроении;
- получение навыков работы с современными расчетными программами;
- получение навыков выполнения анализа результатов расчета, и их корректной интерпретации.

Задачи:

- получение знаний и практических навыков проведения численных расчетов на прочность;
- формирование у студентов навыков использования современных компьютерных программ.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Использование метода конечных элементов в энергомашиностроении» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, устанавливаемых вузом.

Для успешного изучения курса студенты должны быть знакомы с основными положениями высшей математики (дифференциальное и интегральное исчисление), физики (строение твердого тела), теории тепломассообмена, механики материалов и конструкций, численных методов расчета.

Дисциплина «Использование метода конечных элементов в энергомашиностроении» является важной составной частью процесса подготовки современного специалиста, владеющего перспективными методами разработки и исследования теплоэнергетических установок, способного к инновационной деятельности в условиях высокотехнологичной, модернизационной технологической и научной среды.

## 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                                                                                                                                                                                    | Результаты обучения по дисциплине                                                                                                           |                                  |
| ПК1 Способен разрабатывать проектную и техническую документацию при выполнении эскизных, технических и рабочих проектов изделий, выбирать основные и вспомогательные материалы при проектировании двигателей. | ПК-1.1 Знает, как разрабатывается проектная и техническая документация при выполнении эскизных, технических и рабочих проектов изделий, выбирать основные и вспомогательные материалы при проектировании двигателей | <b>Знает</b> конкретные технические решения при создании объектов энергетического оборудования.                                             | Контрольные вопросы              |
|                                                                                                                                                                                                               | ПК-1.2 Умеет разрабатывать проектную и техническую документацию при выполнении эскизных, технических и рабочих проектов изделий, выбирать основные и вспомогательные материалы при проектировании двигателей.       | <b>Умеет</b> применять методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач. | Контрольные вопросы              |
|                                                                                                                                                                                                               | ПК-1.3 Владеет навыками проектирования при выполнении эскизных, технических и рабочих проектов изделий, выборе основных и вспомогательных материалов при проектировании двигателей.                                 | <b>Владеет</b> современными компьютерными технологиями в своей предметной области.                                                          | Контрольные вопросы              |



#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 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<br>(по семестрам) |    |       |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|-------|
|                            |                                                                                                                                                                                                |         |                 | Лекции                                                    | Практические занятия | Лабораторные работы | В форме практической подготовки |                        |                                                                                        |    |       |
| 1                          | Введение. Использование метода конечных элементов (МКЭ) в инженерных расчетах. Современные программные комплексы МКЭ.                                                                          | 7       | 1               | 1                                                         |                      |                     | 1                               | 4                      |                                                                                        |    |       |
| 2                          | Перемещения, деформации и напряжения. Закон Гука. Типы анализов, проводимых в SolidWorks Simulation (SWS). Общая последовательность подготовки конечно-элементной модели и проведения расчета. | 7       | 2-4             | 3                                                         |                      | 6                   | 2                               | 8                      |                                                                                        |    |       |
| 3                          | Плоская и трехмерная постановка задачи.                                                                                                                                                        | 7       | 5-7             | 3                                                         |                      | 6                   | 2                               | 10                     | Рейтинг-контроль №1                                                                    |    |       |
| 4                          | Типы конечных элементов, используемых в программе SWS.                                                                                                                                         | 7       | 8-9             | 2                                                         |                      | 6                   | 1                               | 8                      |                                                                                        |    |       |
| 5                          | Задание физико-механических свойств материалов в программе SWS.                                                                                                                                | 7       | 10-12           | 3                                                         |                      | 4                   | 1                               | 8                      | Рейтинг-контроль №2                                                                    |    |       |
| 6                          | Кинематические и статические граничные условия (ГУ). Соединения. Граничные условия теплообмена. Учет в конечно-элементной модели симметрии детали и приложенных нагрузок.                      | 7       | 13-14           | 2                                                         |                      | 8                   | 2                               | 10                     |                                                                                        |    |       |
| 7                          | Настройка решателя и запуск процесса вычисления. Команды просмотра результатов расчета. Определение коэффициента запаса прочности.                                                             | 7       | 15-18           | 4                                                         |                      | 6                   | 2                               | 6                      | Рейтинг-контроль №3                                                                    |    |       |
| Всего за 7 семестр:        |                                                                                                                                                                                                |         |                 |                                                           |                      | 18                  |                                 | 36                     |                                                                                        | 54 | зачет |
| Наличие в дисциплине КП/КР |                                                                                                                                                                                                |         |                 | -                                                         | -                    | -                   | -                               | -                      | -                                                                                      | -  | -     |
| Итого по дисциплине        |                                                                                                                                                                                                |         |                 |                                                           |                      | 18                  |                                 | 36                     |                                                                                        | 54 | зачет |

### **Содержание лекционных занятий по дисциплине**

Раздел 1. Введение в дисциплину.

Тема 1 Введение. Использование метода конечных элементов (МКЭ) в инженерных расчетах. Современные программные комплексы МКЭ.

Содержание темы.

Раздел 2 Статический анализ средствами МКЭ.

Тема 1 Перемещения, деформации и напряжения. Закон Гука.

Содержание темы.

Тема 2 Типы анализов, проводимых в SolidWorks Simulation.

Содержание темы.

Тема 3 Общая последовательность подготовки конечно-элементной модели и проведения расчета.

Содержание темы.

Раздел 3 Виды исследований, доступных в Solidworks Simulation.

Тема 1 Плоская постановка задачи.

Тема 2 Трехмерная постановка задачи.

Раздел 4 Создание конечно-элементной модели.

Тема 1 Типы конечных элементов, используемых в Solidworks Simulation.

Тема 2 Условия задания элементами управления сетки конечных элементов.

Раздел 5 Задание физико-механических свойств материалов в программе SWS.

Тема 1 Условия использования библиотеки материалов Solidworks Simulation.

Тема 2 Создание пользовательского материала в библиотеку Solidworks Simulation.

Раздел 6 Граничные условия в Solidworks Simulation.

Тема 1 Кинематические и статические граничные условия (ГУ). Соединения.

Тема 2 Граничные условия теплообмена.

Раздел 7 Настройка решателей в Solidworks Simulation.

Тема 1 Настройка решателя и запуск процесса вычисления.

Тема 2 Команды просмотра результатов расчета.

Тема 3 Создание отчетов и датчиков в результатах решения.

Тема 4 Определение коэффициента запаса прочности.

### **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

Тема 1 Основы моделирования в среде Solidworks Simulation

Содержание темы.

Построение твердотельной модели поршня тракторного дизеля средствами Solidworks Simulation

Тема 2 Стационарное тепловое нагружение поршня

Содержание темы.

Создание конечно-элементной модели поршня, задание граничных условий теплообмена, решение стационарной задачи теплопроводности, анализ полученных результатов.

Тема 3 Задача нестационарного теплового нагружения поршня

Содержание темы.

Создание конечно-элементной модели поршня, задание начального теплового состояния, решение нестационарной задачи теплопроводности, анализ полученных результатов.

Тема 4 Анализ теплонапряженного состояния поршня при нестационарном тепловом нагружении

Содержание темы.

Определение уровня напряжений, возникающих в поршне при нестационарном тепловом нагружении



Тема 5 Оценка напряженного состояния верхней головки шатуна с запресованной втулкой. Параметрическая задача

Содержание темы.

Создание трехмерных моделей поршневой головки шатуна и втулки. Выбор модели контактной пары. Определение зависимости напряжений в головке шатуна от величины натяга

Тема 6 Расчет коэффициентов запаса прочности коленчатого вала тракторного дизеля

Содержание темы.

Расчет напряженного состояния коленчатого вала тракторного дизеля. Расчет запасов прочности проводится с использованием модели усталостного разрушения И.А. Биргера при сложном напряженном состоянии.

Тема 7 Оценка долговечности шатуна.

Содержание темы.

Выбор типа циклической нагрузки. Выбор расчетного напряжения. Выбор модели малоциклового усталости. Определение влияния величины нагружения на величину долговечности шатуна тракторного дизеля.

Тема 8 Прочностной расчет шатунно-поршневой группы с учетом нескольких факторов нагружения.

Содержание темы.

Анализ факторов нагружения, действующих на поршневую группу. Выбор расчетной схемы и видов нагружения. Анализ результатов расчета

Тема 9 Задача оптимизации.

Содержание темы.

Планирование эксперимента, создание поверхности отклика, оптимизация, шесть сигм-анализ.

Лабораторные работы выполняются в специализированной лаборатории кафедры. Для их выполнения на кафедре выпущено учебно-методическое пособие. После выполнения лабораторной работы студенты оформляют отчет и защищают выполненную работу преподавателю.

## **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**

#### **1-й рейтинг-контроль**

1. Суть метода конечных элементов. Дискретная и непрерывная величина (функция).
2. Алгоритм построения дискретной модели непрерывной функции.
3. САПР, их классификация, САПР для расчета на прочность, их преимущества и недостатки.
4. Статический линейный анализ на прочность.
5. Статический нелинейный анализ.
6. Линейная динамика.
7. Тепловой анализ. Анализ собственных колебаний.
8. Общая последовательность подготовки КЭ модели и проведения расчета.
9. Перемещения, деформации и напряжения. Закон Гука. Модуль упругости и коэффициент Пуассона.
10. Плоская задача теории упругости - плоское напряженное состояние.

## 11. Плоская задача теории упругости - плоская деформация.

### 2-й рейтинг-контроль

1. Трехмерные конечные элементы.
2. Двухмерные конечные элементы.
3. Поверхностная модель из двухмерных конечных элементов.
4. Задание свойств материала в программе для изотропных материалов.
5. Задание свойств материала в программе для анизотропных материалов.

### 3-й рейтинг-контроль

1. Граничные условия в программах расчета МКЭ. (определение, какие бывают, какие погрешности могут вносить в расчет и почему).
2. Кинематические и статические ГУ (определение). Кинематические ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (зафиксированная геометрия, ролик/ползун, зафиксированный шарнир, круговая симметрия, основание подшипника, болт).
3. Кинематические и статические ГУ (определение). Кинематические ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (для сборок – «жестко», «связать», «точечные сварные швы»).
4. Кинематические и статические ГУ (определение). Статических ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (сила, момент, давление, рабочая нагрузка, тепловая нагрузка).
5. Кинематические и статические ГУ (определение). Статических ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (граничные условия контакта компонентов в сборке, инерционные нагрузки).
6. Термический (тепловой) анализ. Способы теплообмена.
7. Термический (тепловой) анализ. ГУ теплообмена (1-го, 2-го и 3-го рода). ГУ для задачи теплопроводности, задаваемые в программе *SW Simulation*.
8. Настройка решателя и запуск процесса вычисления. Команды просмотра результатов расчета.
9. Расчет коэффициента запаса прочности.

## 5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины.

### Вопросы к зачету

1. Суть метода конечных элементов. Дискретная и непрерывная величина (функция).
2. Алгоритм построения дискретной модели непрерывной функции.
3. САПР, их классификация, САПР для расчета на прочность, их преимущества и недостатки.
4. Статический линейный анализ на прочность.
5. Статический нелинейный анализ.
6. Линейная динамика.
7. Тепловой анализ. Анализ собственных колебаний.
8. Общая последовательность подготовки КЭ модели и проведения расчета.
9. Перемещения, деформации и напряжения. Закон Гука. Модуль упругости и коэффициент Пуассона.
10. Плоская задача теории упругости - плоское напряженное состояние.
11. Плоская задача теории упругости - плоская деформация.
12. Трехмерные конечные элементы.
13. Двухмерные конечные элементы.
14. Поверхностная модель из двухмерных конечных элементов.
15. Задание свойств материала в программе для изотропных материалов.
16. Задание свойств материала в программе для анизотропных материалов.
17. Граничные условия в программах расчета МКЭ. (определение, какие бывают, какие погрешности могут вносить в расчет и почему)



18. Кинематические и статические ГУ (определение). Кинематические ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (зафиксированная геометрия, ролик/ползун, зафиксированный шарнир, круговая симметрия, основание подшипника, болт).
19. Кинематические и статические ГУ (определение). Кинематические ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (для сборок – «жестко», «связать», «точечные сварные швы»).
20. Кинематические и статические ГУ (определение). Статических ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (сила, момент, давление, рабочая нагрузка, тепловая нагрузка).
21. Кинематические и статические ГУ (определение). Статических ГУ, задаваемые в программе *SW Simulation* (граничные условия контакта компонентов в сборке, инерционные нагрузки).
22. Термический (тепловой) анализ. Способы теплообмена.
23. Термический (тепловой) анализ. ГУ теплообмена (1-го, 2-го и 3-го рода). ГУ для задачи теплопроводности, задаваемые в программе *SW Simulation*.
24. Настройка решателя и запуск процесса вычисления. Команды просмотра результатов расчета.
25. Расчет коэффициента запаса прочности.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

1. Расчет на прочность аналитически и численными методами.
2. Что такое САПР, CAD, CAE, CAM?
3. Из каких элементов состоит трехмерная геометрия детали?
4. Суть метода конечных элементов.
5. Непрерывная и дискретная функция.
6. Кусочно-непрерывная функция.
7. Современные программы расчета на прочность, их преимущества и недостатки.
8. Перемещения, деформации и напряжения.
9. Закон Гука, линейные и нелинейные материалы.
10. Статический линейный анализ на прочность.
11. Статический нелинейный анализ на прочность.
12. Анализ собственных колебаний.
13. Линейный динамический анализ.
14. Тепловой анализ.
15. Решение задачи теории упругости в осесимметричной постановке.
16. Решение задачи теории упругости в плоской постановке.
17. Отличие плоской деформации от плоского напряженного состояния.
18. Решение задачи теории упругости в трехмерной постановке.
19. Трехмерные конечные элементы.
20. Двухмерные конечные элементы.
21. Линейные и параболические конечные элементы.
22. Расчет оболочек как тонкостенных.
23. Расчет оболочек как толстостенных.
24. Способы задания свойств материалов в программе SWS.
25. Модели материала, поддерживаемые в программе SWS.
26. Изотропные и анизотропные материалы.
27. Линейные и нелинейные материалы.
28. Граничные условия, применительно к расчетным программам методом конечных элементов.
29. Кинематические и статические граничные условия.
30. Задание кинематических граничных условий в программе SWS.
31. Задание статических граничных условий в программе SWS.
32. Граничные условия компонентов в сборке.

33. Граничные условия на удалении.
34. Граничные условия теплообмена.
35. Инерционные нагрузки.
36. Прямой метод решения задачи МКЭ.
37. Итерационный метод решения задачи МКЭ.
38. Команды просмотра результатов расчета.
39. Расчет коэффициента запаса прочности для задачи в трехмерной постановке для хрупких и пластичных материалов.

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. Решение задач теории упругости методом конечных элементов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / А.В. Котович, И.В. Станкевич. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012      | 2012        | да                                 |
| 2. Глинкин С.А. Расчет деталей поршневых двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие/С.А. Глинкин; Владим. гос.ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых.– Владимир:Изд-во ВлГУ, 2013 – 107 с. | 2013        | да                                 |
| 3. Гоц А.Н.Численные методы расчета в энергомашиностроении: учеб. пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М. 2017. – 352 с.                                                | 2017        | Да                                 |
| Дополнительная литература                                                                                                                                                               |             |                                    |
| 1. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation [Электронный ресурс] / Алямовский А.А. - М. : ДМК Пресс, 2010. - (Серия "Проектирование")."                                               | 2010        |                                    |
| 2. "COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks [Электронный ресурс] / Алямовский А.А. - М. : ДМК Пресс, 2010. - (Серия "Проектирование")."                 | 2010        |                                    |

### 6.2. Периодические издания

1. Журнал «Современные наукоемкие технологии». Москва, 105037, а/я 47, Академия естествознания, <http://www.top-technologies.ru/>

### 6.3. Интернет-ресурсы

1. Журнал «САПР и Графика» <https://sapr.ru/>  
Информационно-аналитический журнал CAD/CAM/CAE Observer, изд-во CAD/CAM Media Publishing, <http://www.cad-cam-cae.ru/>



## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для выполнения самостоятельных работ и при проведении практических занятий используются ПК в компьютерном классе кафедры (ауд. 304-2). Используется программа Solidworks Simulation.

Рабочую программу составил  
к.т.н., ассистент



Д.С. Гусев

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 тепловые двигатели и энергетические установки

Протокол № 1 от 31.08.21 года  
Заведующий кафедрой



А.Ю. Абаляев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
на заседании учебно-методической комиссии направления 13.03.03 – Энергетическое машиностроение

Протокол № 1 от 31.08.21 года  
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

Использование метода конечных элементов в энергомашиностроении  
образовательной программы направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое  
машиностроение», направленность: «Двигатели внутреннего сгорания» (бакалавриат)

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

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

*Подпись**ФИО*