

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 12 от 26.12.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Моделирование высокоскоростного удара с грунтом в среде
моделирования ЛОГОС

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
15.03.03 - Прикладная механика

Направленность образовательной программы
Инженерное приложение суперкомпьютерного моделирования

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Моделирование высокоскоростного удара с грунтом в среде моделирования ЛОГОС относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3: Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира и современное экспериментальное оборудование, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах	ПК-3.1: Знает методологию определения круга задач в рамках поставленной цели. ПК-3.2: Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира и современное экспериментальное оборудование. ПК-3.3: Имеет практический опыт применения математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах	ПК-3.1: Знает методологию определения круга задач в рамках поставленной цели. ПК-3.2: Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира и современное экспериментальное оборудование ПК-3.3: Владеет навыками применения математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах	Задачи Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	0 зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабора- торные работы), часы	Всего	
	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф
1. Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения	9	2	2	4	5
2. Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов	9	2	2	4	5
3. Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей	9	2	2	4	5
4. Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов	10	2	2	4	6
5. Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов	11	2	2	4	7
6. Моделирование взрывных процессов	12	3	3	6	6
7. Пользовательское программирование в ПП Ansys-AUTODYN	11	3	3	6	5
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	16	16	33	39

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения

1.1. Особенности поведения материалов при высоких скоростях деформирования

1.2. Обзор методов и средств экспериментального изучения быстропротекающих процессов

1.3. Математическая формулировка и использование метода Кольского

2. Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов

2.1. Адиабатичность процесса высокоскоростного деформирования

2.2. Влияние условий нагружения (скорость деформации, температура) на диаграмму деформирования материала

2.3. Эмпирические определяющие соотношения

3. Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей
 - 3.1. Экспериментальное определение диаграмм деформирования для различных условий нагружения
 - 3.2. Формулировка и решения оптимизационной задачи для определения параметров эмпирических определяющих соотношений
4. Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов
 - 4.1. Пространственная дискретизация уравнений механики сплошной среды: метод конечных разностей и метод конечного элемента
 - 4.2. Явные и неявные схемы интегрирования уравнений по времени
5. Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов
 - 5.1. подход Лагранжа
 - 5.2. схема Эйлера
 - 5.3. метод ALE
 - 5.4. метод SPH
6. Моделирование взрывных процессов
 - 6.1. Методы и подходы оценки действия взрыва на конструкции и их элементы
 - 6.2. Математическая модель взрывчатого вещества
 - 6.3. Моделирования процесса детонации в взрывчатом веществе и формирования ударной воздушной волны
7. Пользовательское программирование в ПП Ansys-AUTODYN
 - 7.1. Создание пользовательского проекта ПП ЛОГОС и работа с ним (модификация, отладка, сборка)
 - 7.2. Подпрограмма ПП ЛОГОС Прочность доступные для пользователя
 - 7.3. Программирование собственных определяющих соотношений и критериев разрушения в ПП ЛОГОС

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лабораторного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лабораторного типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях лабораторного типа),
- решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях лабораторного типа),
- подготовка к промежуточной аттестации.

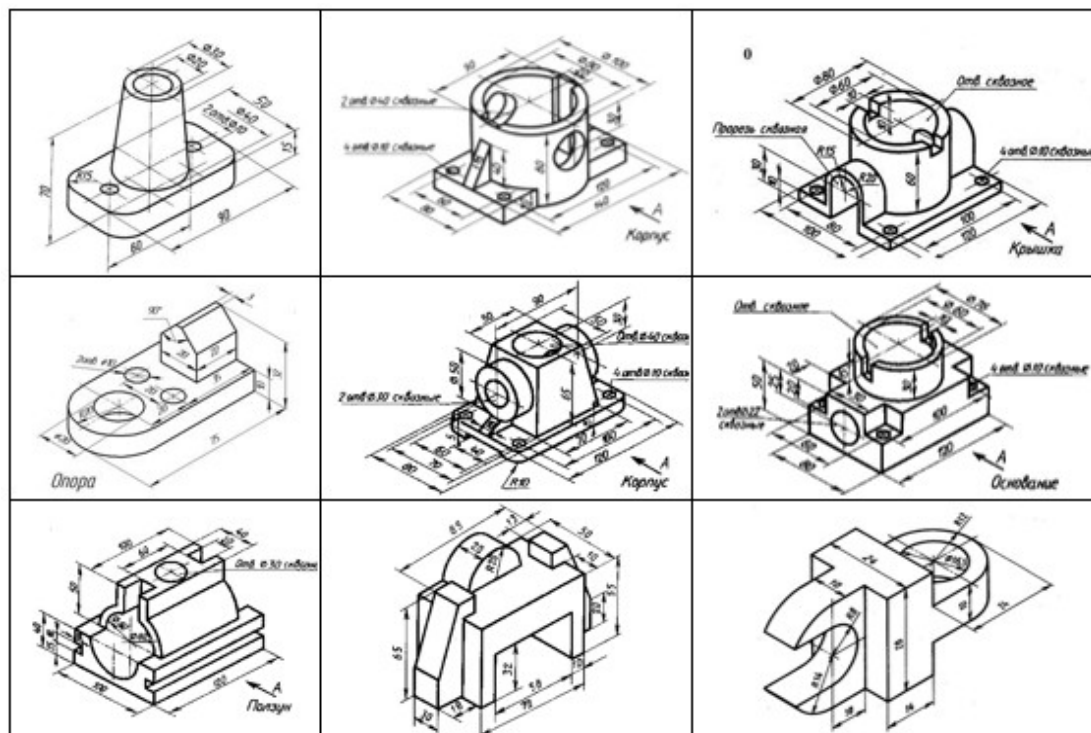
5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Построение в среде ПП ЛОГОС Препост трехмерных деталей (варианты заданий в таблице 1)

Таблица 1 – Варианты заданий построения трехмерных объектов



2. Решение задачи об упругом соударении стержней и сравнение параметров сформировавшегося импульса деформации с аналитическими оценками:

$$\text{Длительность импульса } T = \frac{2 \cdot L}{c}$$

$$\text{Амплитуда импульса } \varepsilon = \frac{V}{2c}$$

Где L – длина короткого стержня-ударника, V – скорость стержня-ударника, c – стержневая скорость звука в материале стержней.

Схема расчета приводится на рисунке 1. Варианты расчета приведены в таблице 2.

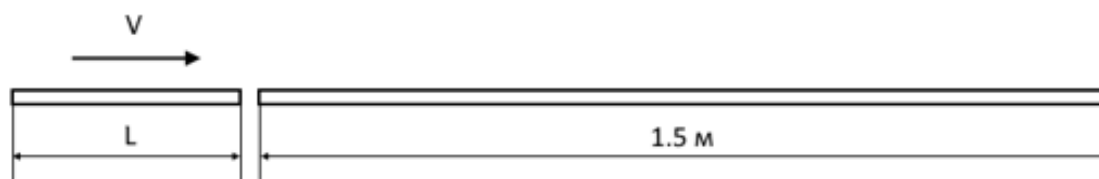


Рисунок 1 – Схема расчета

Таблица 2 – Варианты расчета

Вариант	Материал	Длина ударника, мм	Скорость ударника, м/с
1	сталь	100	5
2	сталь	200	5
3	сталь	300	5
4	сталь	100	10
5	сталь	200	10
6	сталь	300	10
7	сталь	100	15
8	сталь	200	15
9	сталь	300	15
10	Д16Т	100	5
11	Д16Т	200	5
12	Д16Т	300	5
13	Д16Т	100	10
14	Д16Т	200	10
15	Д16Т	300	10
16	Д16Т	100	15
17	Д16Т	200	15
18	Д16Т	300	15

3. Моделирование высокоскоростного взаимодействия шарика (диаметр 10 мм) с деформируемой разрушаемой пластиной (диаметр 100 мм, толщина 10 мм) согласно схеме рисунка 2 с использованием различных подходов (лагранж, эйлер, SPH). Начальная скорость шарика 500 м/с.

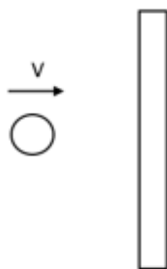


Рисунок 2 – Схема моделирования

Таблица 3 – Варианты расчета

Вариант расчета	Шарик	Мишень
1	Лагранж	Лагранж
2	Лагранж	Эйлер
3	Эйлер	Эйлер
4	Эйлер	Лагранж
5	Лагранж	SPH
6	SPH	Лагранж
7	SPH	SPH

4. Моделирование пробития стакана с водой шариком (рисунок 3):

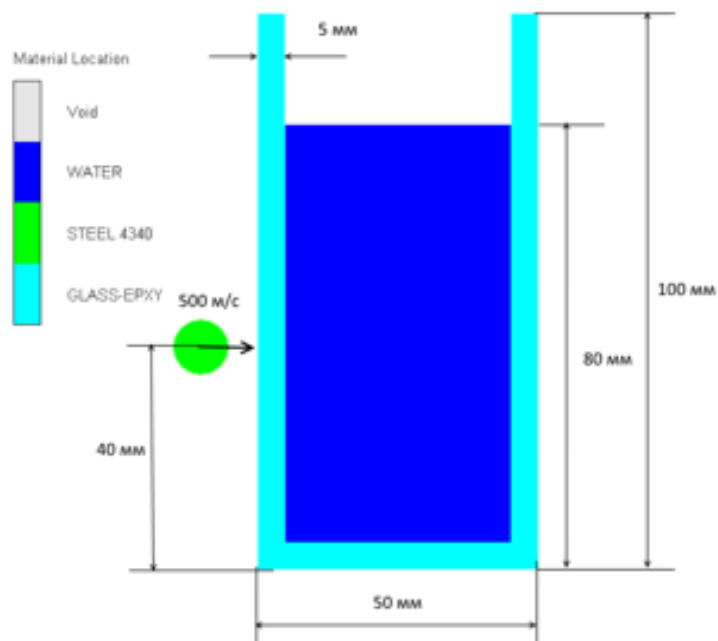


Рисунок 3 – Схема моделирования пробития шариком стакана с водой

5. Моделирование взрывного разрушения цилиндрической оболочки (рисунок 4).



Рисунок 4 – Схема моделирования

Материал оболочки: мягкая сталь, алюминиевый сплав, медь, керамика.

6. Аппроксимация диаграмм, полученных при различных условиях (скорость деформации, температура) аналитическими зависимостями вида:

$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(1 + C \ln \dot{\varepsilon}_p^* \right) (1 - T^{*m}),$$

$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(1 + C \ln \dot{\varepsilon}_p^* + C_2 \cdot (\ln \dot{\varepsilon}_p^*)^2 \right) (1 - T^{*m})$$

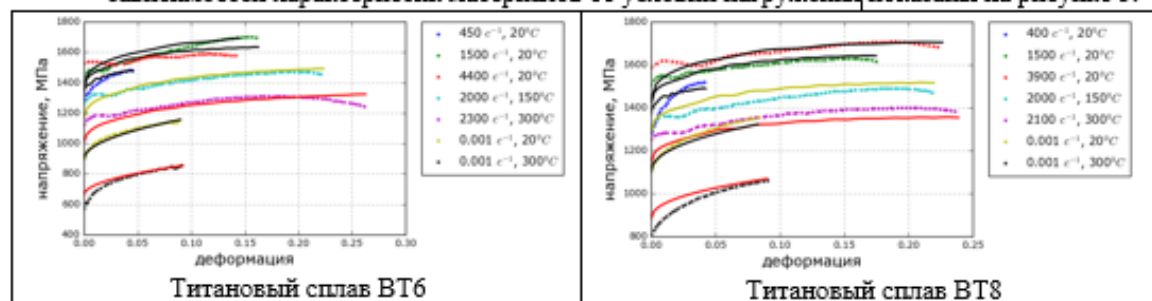
$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(\dot{\varepsilon}_p^* \right)^C (1 - T^{*m})$$

$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_p^*}{C} \right)^{\frac{1}{p}} \right) (1 - T^{*m})$$

где $T^* = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}$, ε_p – эквивалентная пластическая деформация, $\dot{\varepsilon}_p^* = \dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_0$ – безраз-

мерная скорость пластической деформации $\dot{\varepsilon}_0 = 1.0 \text{ с}^{-1}$, T_0 и T_m , соответственно относительная температура и температура плавления материала, A, B, n, C, C_2, p и m – параметры материала.

Исходные данные для решения задачи выдаются студентам в виде таблицы xls. Примеры зависимостей характеристик материалов от условий нагружения показаны на рисунке 5.



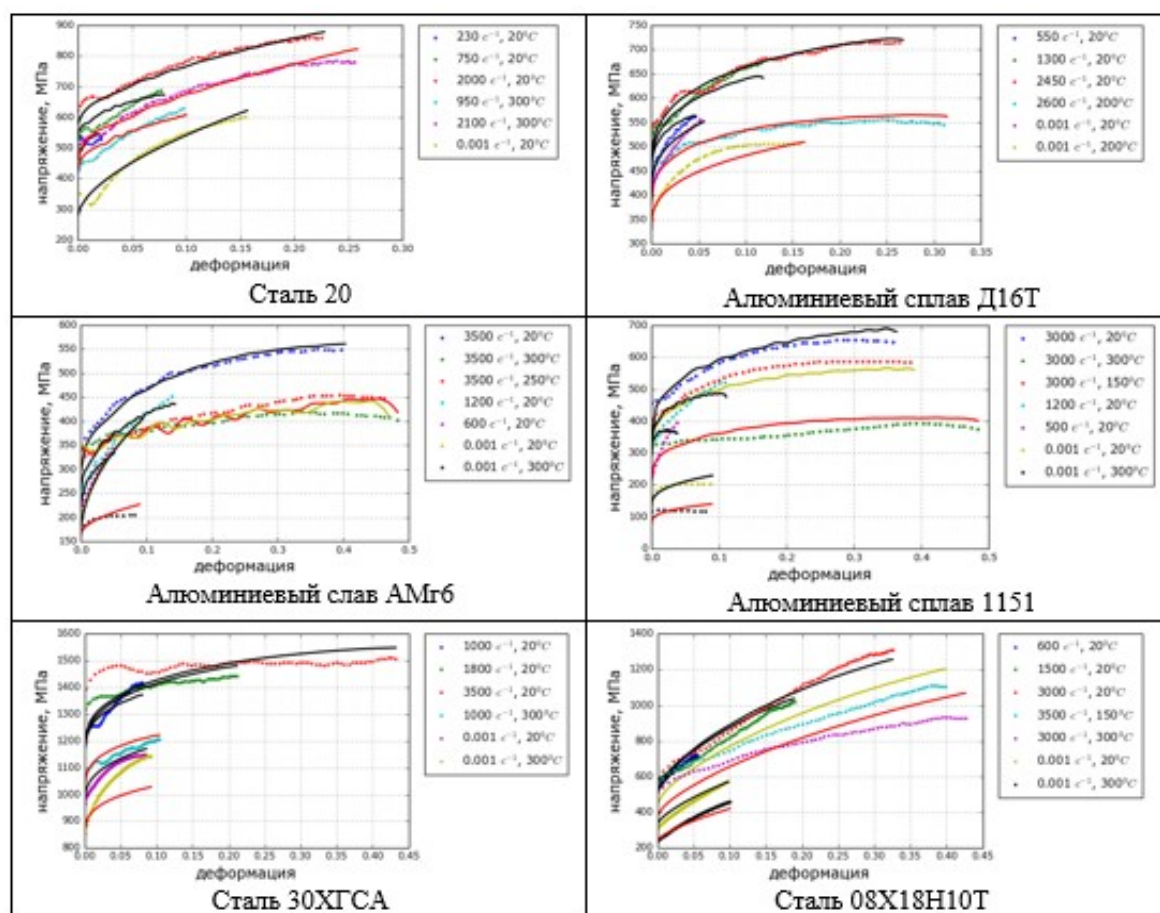


Рисунок 5 – Исходные данные для решения задачи для ряда материалов

7. Программирование в ЛОГОС зависимостей радиуса поверхности текучести от пластической деформации, скорости деформации и температуры в виде:

$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(1 + C \ln \dot{\varepsilon}_p^* \right) (1 - T^{*m}),$$

$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(1 + C \ln \dot{\varepsilon}_p^* + C_2 \cdot (\ln \dot{\varepsilon}_p^*)^2 \right) (1 - T^{*m})$$

$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(\dot{\varepsilon}_p^* \right)^C (1 - T^{*m})$$

$$\sigma = (A + B\varepsilon_p^n) \left(1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_p^*}{C} \right)^{\frac{1}{r}} \right) (1 - T^{*m})$$

где $T^* = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}$, ε_p – эквивалентная пластическая деформация, $\dot{\varepsilon}_p^* = \dot{\varepsilon}_p / \dot{\varepsilon}_0$ – безраз-

мерная скорость пластической деформации $\dot{\varepsilon}_0 = 1.0 \text{ с}^{-1}$, T_0 и T_m , соответственно относительная температура и температура плавления материала, A , B , n , C , C_2 , r и m – параметры материала.

Проведение тестовых расчетов с полученными моделями материалов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения
2. Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов
3. Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей
4. Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов
5. Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов
6. Пользовательское программирование в ПП ЛОГОС

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три не существенные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	вследствие отказа обучающегося от ответа		негрубых ошибок	. Допущено несколько негрубых ошибок	. Допущено несколько несущественных ошибок	и. Ошибок нет.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Методы экспериментального исследования процессов высокоскоростного деформирования и разрушения:
2. Особенности поведения материалов при высоких скоростях деформирования
3. Методы и средства экспериментального изучения быстропротекающих процессов
4. Математическая формулировка и использование метода Кольского
5. Математические модели динамического деформирования и разрушения материалов:
6. Адиабатичность процесса высокоскоростного деформирования
7. Влияние условий нагружения (скорость деформации, температура) на диаграмму деформирования материала
8. Эмпирические определяющие соотношения
9. Использование экспериментальных данных для идентификации математических моделей:
10. Экспериментальное определение диаграмм деформирования для различных условий нагружения
11. Формулировка и решения оптимизационной задачи для определения параметров эмпирических определяющих соотношений
12. Численные методы и схемы моделирования быстропротекающих процессов:
13. Пространственная дискретизация уравнений механики сплошной среды: метод конечных разностей и метод конечного элемента
14. Явные и неявные схемы интегрирования уравнений по времени
15. Моделирование процессов ударного взаимодействия объектов с использованием различных методов и подходов:
16. - подход Лагранжа
17. - схема Эйлера
18. - метод ALE
19. - метод SPH
20. Моделирование взрывных процессов:
21. Методы и подходы оценки действия взрыва на конструкции и их элементы
22. Математическая модель взрывчатого вещества
23. Моделирование процесса детонации в взрывчатом веществе и формирования ударной воздушной волны
24. Пользовательское программирование в ПП ЛОГОС:
25. Создание пользовательского проекта ПП ЛОГОС и работа с ним (модификация, отладка, сборка)
26. Подпрограммы ПП ЛОГОС Прочность доступные для пользователя
27. Программирование собственных определяющих соотношений и критериев разрушения в ПП ЛОГОС

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три

Оценка	Критерии оценивания
	несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Динамика удара / пер. с англ. под ред. С. С. Григоряна. - М. : Мир, 1985. - 295 с. : ил. - 2.90., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Эпштейн Григорий Наумович. Высокоскоростная деформация и структура металлов . - М. : Металлургия, 1971. - 197 с. : ил. - 1.32., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. ППП Ansys v. 14.5 и выше
<http://www.cadfem-cis.ru/>
<https://www.facebook.com/cadfemcis>
<http://www.youtube.com/user/CADFEM>
<http://www.cae-club.ru/forum>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 - Прикладная механика.

Автор(ы): Баландин Владимир Владимирович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 10.10.2023 г., протокол № 2.