

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра «Теоретической и экспериментальной механики»**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан ФТФ, член корр. РАН, д.ф.-м.н.**

\_\_\_\_\_ **А.К. Чернышев**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2022 г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Программные системы инженерного анализа**

наименование дисциплины

|  |   |
|--|---|
| Направление подготовки (специальность) | 15.03.03 Прикладная механика                      |
| Наименование образовательной программы | Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры |
| Квалификация (степень) выпускника      | бакалавр  |
| Форма обучения                         | очная   |

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТиЭМ,

д.т.н., доцент

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_ **А.Л. Михайлов**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2022 г.**

г. Саров, 2022 г.

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФИТЭ, ФТФ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов

| <b>Семестр</b> | <b>В форме<br/>практической<br/>подготовки</b> | <b>Трудоемкость,<br/>кред.</b> | <b>Общий объем<br/>курса, час.</b> | <b>Лекции, час.</b> | <b>Практич.<br/>занятия, час.</b> | <b>Лаборат. работы,<br/>час.</b> | <b>СРС, час.</b> | <b>КР/КП</b> | <b>Форма(ы)<br/>контроля,<br/>экс./защ./ЗсО/</b> | <b>Интерактивные<br/>часы</b> |
|----------------|--|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------|--|-------------------------------|
| <b>7</b>       | 32   | 5                              | 180                                | 16                  | 16                                | 16                               | 96               | -            | Э  | 10                            |
| <b>ИТОГО</b>   | <b>32</b>                                      | <b>5</b>                       | <b>180</b>                         | <b>16</b>           | <b>16</b>                         | <b>16</b>                        | <b>96</b>        | <b>-</b>     | <b>36</b>  | <b>10</b>                     |

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Программные системы инженерного анализа» обеспечивает не только нормативно-методическую базу освоения обучающимися профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», с квалификацией выпускника бакалавр, но и высокую профессиональную конкурентоспособность выпускников и их востребованность для решения актуальных задач и потребностей регионального и Всероссийского рынка труда, с учетом перспектив его развития.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Программные системы инженерного анализа» являются формирование у студентов:

- ✓ знаний о теоретических основах и возможностях современных (отечественных и зарубежных) программных систем компьютерного инженерного анализа процессов удара и взрыва, используемых в них математических моделях и методах численного моделирования, которые необходимы для решения задач обеспечения безопасного функционирования устройств и сооружений в аварийных ситуациях, а также задач по тематике разработки боеприпасов различного назначения;
- ✓ умений и приёмов применения программных компьютерных систем и математического моделирования для постановки и решения конкретных задач удара и взрыва с помощью программных комплексов (ПК) «ЛОГОС-прочность», «Mathcad», «MASTERProfessional»;
- ✓ навыков обработки, анализа и обобщения получаемых в лабораторных (практических) работах результатов, оформления их в виде соответствующих отчётов.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

*Индекс дисциплины: Б1.В.ДВ.03.01*

Дисциплина относится к профессиональному циклу, вариативной части учебного плана по направлению 15.03.03 «Прикладная механика», профилю «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры» этого направления.

Она опирается на следующие дисциплины: физика, высшая математика, теоретическая механика, сопротивление материалов, теория упругости, механика жидкости и газа, термодинамика, физика взрыва и удара, основы физики прочности и механики разрушения, вычислительная механика, информатика, компьютерная графика, уравнения состояния веществ, экспериментальная механика.

Для успешного освоения дисциплины необходимо уметь работать с компьютером, в том числе – с основными компонентами «Windows 7», «MicrosoftOffice».

Вместе с этим освоение данной дисциплины благоприятно повлияет на усвоение студентами той части указанных выше дисциплин, преподавание которых может проходить параллельно или с некоторым запаздыванием (например, механика жидкости и газа, физика взрыва и удара, физика прочности и механика разрушения, вычислительная механика, уравнения состояния веществ).

Эта дисциплина является необходимой для освоения последующих дисциплин: методы и техника физического эксперимента, взрывчатые вещества, спецкурсов по проектированию боеприпасов, а также при выполнении курсовых работ и проектов по дисциплинам учебного плана и выпускной квалификационной (бакалаврской) работы.

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Ожидается, что в результате освоения дисциплины студент приобретет следующие компетенции:

#### **Профессиональные компетенции (ПК)**

в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| <b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>                         | <b>Объект или область знания</b> | <b>Код и наименование профессиональной компетенции</b> | <b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b> |
|---|----------------------------------|--|--|
| <b>Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b> |                                  |  |  |

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| участие в составе научно-исследовательской группы в в научно-исследовательских работах в области прикладной механики | Физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, приборы и аппаратура и другие объекты современной техники различных подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ, которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения экспериментальных методов исследования, математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики. | <b>ПК-1.1</b> Способен обрабатывать и анализировать результаты измерений, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытаний)<br><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» | З-ПК-1.1 Знать методы и средства научных исследований<br>У-ПК-1.1 Уметь разрабатывать методики обработки результатов измерений полученных в результате испытаний изделий (объектов испытания)<br>В-ПК-1.1 Владеть навыками проведения результатов измерений, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытания) |
|--|--|---|---|

Тип задачи профессиональной деятельности:

**расчетно-экспериментальный с элементами научно-исследовательской деятельности**

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| выполнение расчетно-экспериментальных работ в области прикладной механики с помощью экспериментально оборудованного для проведения механических испытаний | физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, приборы и аппаратура и другие объекты современной техники различных подразделений РФЯЦ-ВНИИЭФ, которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения экспериментальных методов исследования, математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики. | <b>ПК-4</b> Способен проводить расчет отдельных узлов и агрегатов изделий<br><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «32.004. Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций» | З-ПК-4 Знать методику расчета отдельных узлов на статическую прочность; основы теории пластичности; основы теории ползучести; основы взаимозаменяемости; основы теории проведения измерений при экспериментальных работах; основы материаловедения; основы механики разрушения; основы теории колебаний<br>У-ПК-4 Уметь проводить расчеты на прочность различных типов конструкций: балочных, оболочек; соединений элементов конструкции; выполнять расчеты на прочность методом конечного элемента по готовым расчетным моделям с применением специализированных программных комплексов; анализировать результаты расчета, полученные методом конечного |
|---|--|---|--|

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  | <p>элемента; применять<br/>инструментарий:<br/>пользоваться стандартным<br/>программным<br/>обеспечением при<br/>оформлении документации<br/>и инженерных расчетов;<br/>пользоваться<br/>программным<br/>обеспечением для расчетов<br/>на прочность</p> <p>В-ПК-4 Владеть<br/>подготовкой исходных<br/>данных для расчетов;<br/>проведением расчетов на<br/>прочность конструкций<br/>агрегатов; проведением<br/>расчетов устойчивости<br/>элементов конструкций;<br/>анализом результатов<br/>расчета</p> |
|--|--|--|--|

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 кредитов, 180 часов.

| № п/п            | Раздел учебной дисциплины  | Недели | Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) |  |                             | Текущий контроль успеваемости (неделя, форма) | Аттестация раздела (неделя, форма) | Максимальный балл за раздел * |
|------------------|--|--------|--|--|-----------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|
|                  |  |        | Лекции<br><b>16</b>  | Практ. занятия/<br>семинары<br><b>16</b> | Лаб.<br>работы<br><b>16</b> |   |                                    |                               |
| <b>7 семестр</b> |  |        |  |  |                             |   |                                    |                               |
| 1                | Вводная часть. Основные понятия о физическом и математическом моделировании, теории и критериях подобия и моделирования, типах математических моделей объектов и процессов, их классификации. Сведения о возрастающей роли программных систем инженерного анализа и математического моделирования в технике и научных исследованиях. Литература. |        | 2  | 2  | 2                           | Контр. работа/<br>устный опрос                | Контр. работа/<br>устный опрос     |                               |
| 2                | Примеры постановки задач, построения аналитических математических моделей процессов высокоскоростного удара и взрыва. Решение (исследование) некоторых задач удара методами теории подобия и аналитическими методами. Сведения об инженерных компьютерных программах EXCEL, MATHCAD, MATLAB.   |        | 2  | 2  | 2                           | Контр. работа/<br>устный опрос                | Контр. работа/<br>устный опрос     |                               |
| 3                | Основные предпосылки для аналитического и численного   |        | 2  | 2  | 2                           | Контр. работа/<br>устный опрос                | Контр. работа/<br>устный опрос     |                               |



|   |   |   |   |   |                                |                                |  |
|---|---|---|---|---|--------------------------------|--------------------------------|--|
|   | <p>моделирования задач динамики удара и взрыва в рамках представлений механики сплошной среды. О построении математических моделей на основе механики сплошной среды (вводная часть).</p> <p>Примеры ударов и характерные физические явления при ударах. Лагранжев и эйлеров подходы к описанию движения сплошной среды. Системы общих уравнений динамики сплошной среды в лагранжевых и эйлеровых координатах. Физический смысл основных уравнений и параметров.</p> |   |   |   |                                |                                |  |
| 4 | <p>Примеры ударов с пробитием преград пулями, косых ударов. Характерные скорости ударов в реальных условиях. Классификация ударов.</p> <p>Аналитические решения ряда задач: соударения пластин, проникания стержней в металлические преграды (осесимметричная и двумерная задачи с учётом прочности), удара стержня о жёсткую преграду (задача Тейлора). Аналитические (полуэмпирические) модели расчета пробития преград, размеров кратеров. Опытные данные.</p>     | 2 | 2 | 2 | Контр. работа/<br>устный опрос | Контр. работа/<br>устный опрос |  |
| 5 | <p>Основные сведения о методах численного моделирования процессов соударения и взрыва, истории их развития и её связи с развитием ЭВМ. Сеточные и</p>   | 2 | 2 | 2 | Контр. работа/<br>устный опрос | Контр. работа/<br>устный опрос |  |

|   |   |  |          |          |          |                                |                                |  |
|---|---|--|----------|----------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--|
|   | бессеточные (SPH) методики численного моделирования. Сущность и основные понятия вычислительных с методов конечных разностей и конечных элементов. Основные модели и уравнения состояния материалов.  |  |          |          |          |                                |                                |  |
| 6 | Аналитическое и численное моделирование в задачах детонации и взрыва. Примеры постановки и решения некоторых задач.   |  | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | Контр. работа/<br>устный опрос | Контр. работа/<br>устный опрос |  |
| 7 | Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и блоке расчёта динамической прочности «ЛОГОС-прочность» («ЛЭГАК-ДК»), возможности применения «ЛОГОС-прочность» для численного моделирования задач удара и взрыва. Подготовка задач с помощью препроцессоров LS-Prepost, «ЛОГОС - Препост».               |  | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | Контр. работа/<br>устный опрос | Контр. работа/<br>устный опрос |  |
| 8 | Примеры постановки ряда задач удара и результатов численного моделирования с помощью программного комплекса «ЛОГОС-прочность».  |  | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | Контр. работа/<br>устный опрос | Контр. работа/<br>устный опрос |  |
| 9 | Обзор ряда других современных методик и программных комплексов (систем), зарубежных и отечественных, в том числе, коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN; «MASTERProfessional», «ЭГИДА» и др.), позволяющих осуществлять эффективное решение широкого круга динамических задач инженерного анализа (CAE, CAD |  | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | Контр. работа/<br>устный опрос | Контр. работа/<br>устный опрос |  |

|     |                           |  |  |  |  |  |  |        |
|-----|---------------------------|--|--|--|--|--|--|--------|
|     | и др.) на ЭВМ и суперЭВМ. |  |  |  |  |  |  |        |
| ... | <b>Экзамен</b>            |  |  |  |  |  |  | 0 - 50 |
|     | <b>СРС – 96 час</b>       |  |  |  |  |  |  | 100    |

Оценочные баллы за усвоение студентом материалов дисциплины и выполнение учебной работы в каждом семестре составляют: 0 – 50 баллов за текущую успеваемость (по п. а)) и 0 – 50 баллов за оценку знаний на зачёте. Максимальный оценочный балл студента по дисциплине равен 100.

## Лабораторные работы:

Цель работ состоит в практическом освоении студентами программного инструментария по подготовке, получению решения на компьютере и оформлению результатов решения конкретных задач численного моделирования удара и взрыва (по ПК «ЛОГОС-прочность» (базовая программа), «Mathcad» и др.).

Каждая лабораторная работа выполняется в соответствии с разработанным преподавателем заданием, содержащим постановку задачи, исходные данные, указания и рекомендации по этапам выполнения работы, составу и объёму получаемых параметров, анализу результатов, сопоставлению с экспериментальными данными и имеющимися данными расчётов по другим методикам, составу и оформлению отчёта о работе, литературные источники.

### Темы лабораторных работ в 7-м семестре.

Лабораторная работа №1. Часть 1. Ознакомление с операционной системой и возможностями компьютера, с основами ПК «Mathcad».

Часть 2. Задача расчёта с использованием ПК «Mathcad» параметров проникания жёсткого цилиндро-конического ударника в мягкий грунт при ударе по нормали к поверхности преграды со скоростями (0,8 - 1,2) км/с по аналитическим формулам и методом численного решения дифференциального уравнения движения ударника.

Лабораторная работа №2. Проникание составного ударника в мягкий грунт при ударе по нормали к поверхности преграды со скоростями (0,8 – 1,2) км/с; ударник представлен в виде двухмассовой системы с упругой связью. Численное решение с помощью ПК «Mathcad» системы дифференциальных уравнений движения ударника 2-го порядка.

Лабораторная работа №3. Часть 1. Ознакомление с практическими возможностями и интерфейсом пре-постпроцессоров «LS-PrePost» и «ЛОГОС-препост», с интерфейсом ПК «ЛОГОС-прочность».

Часть 2. Задача удара стального шарика по алюминиевой пластине по нормали к поверхности. С помощью препроцессора «LS-PrePost» подготовить расчётную конечно-элементную модель и исходный файл в формате «\*.k» в лагранжевой 3D постановке. Выполнить численное моделирование по программе «ЛОГОС-прочность» процесса взаимодействия шарика с пластиной (начальные скорости удара (0,7- 1,4) км/с).

Лабораторная работа №4. Осесимметричный удар алюминиевого цилиндра («стержня Тейлора») по плоской стальной преграде (скорости удара (185 – 350) м/с). Подготовка конечно-элементной модели 3D задачи в «LS-PrePost» в лагранжевой или ALE постановке, численное решение по ПК «ЛОГОС-прочность», обработка результатов с помощью «LS-PrePost», построение графиков и картин распределения характерных параметров, анализ результатов.

Лабораторная работа №5. Численное моделирование детонации цилиндрического заряда ВВ и разгона алюминиевой пластины (3D постановка, решатель типа SPH или ALE), ПК «ЛОГОС-прочность». Обработка и анализ результатов.

Лабораторная работа №6. Удар модели пули калибра 7,62 мм по высокопрочной стальной пластине под углом  $\theta = 50^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  со скоростью 750 м/с. С помощью препроцессора LS-PrePost проанализировать заданный преподавателем исходный «\*.k» - файл, соответствующий задаче численного 3D моделирования в лагранжевой постановке удара модели пули постальной пластине под углом  $\theta = 50^{\circ}$  (вариант 1) и  $\theta = 20^{\circ}$  (вариант 2). Проконтролировать геометрические размеры, типы моделей и характеристики материалов, начальную скорость пули, граничные условия, тип и параметры контакта. Выполнить численное моделирование по программе «ЛОГОС-прочность» процесса взаимодействия модели пули с пластиной, в результате которого необходимо получить, проанализировать и описать в отчёте комплекс характерных параметров процесса.

В процессе лекционных и лабораторных занятий проводятся рабочие обсуждения возникающих вопросов, собеседования по разработке студентами отчётов по лабораторным работам, приём отчётов преподавателем. Дополнительное рассмотрение отчётов по лабораторным работам может проводиться преподавателем в домашних условиях. Предусматривается, что доработка отчётов по лабораторным работам проводится студентами в дополнительное к аудиторным занятиям время (в частности, в форме выполнения домашних заданий).

Состав материалов лекций и лабораторных работ может быть уточнён в процессе изучения учебного курса.

#### **Домашние задания студентам, самостоятельная работа.**

Задания для самостоятельных и домашних работ студентам даются по ряду вопросов изучаемой дисциплины. Предусматривается изучение материалов (пособий) по ПК «Mathcad», пре-постпроцессору «LS-PrePost», материалов руководств по ПК «ЛОГОС-прочность», «MASTER», подготовка (доработка) отчётов по лабораторным работам, проработка материалов лекций, подготовка к зачётам, изучение материалов рекомендованной литературы.

#### **Методические рекомендации студенту по организации самостоятельной работы.**

Самостоятельная работа студентов должна также включать изучение содержания тем курса по конспектам и рекомендованной литературе, проведение расчётов и оформление лабораторных работ, выполнение домашних заданий, подготовку к зачёту.

Для успешного освоения дисциплины необходимо активизировать полученные студентом знания по указанным дисциплинам, умение работать с компьютером.

Проработку лекционного материала рекомендуется проводить после завершения определённой темы, что даёт возможность составить более целостную картину изучаемой проблемы.

Не следует стремиться к механическому запоминанию формулировок, положений, формул. Для понимания материала эффективным является активная самостоятельная работа при выполнении лабораторных работ, домашних заданий, изучении лекционных материалов. Это нужно не преподавателю, а прежде всего – самому студенту для формирования прочных знаний и их практического применения в жизни.

#### **Методические рекомендации преподавателю.**

Необходимо отметить особенности лекционного материала данного курса, указать, с основами каких предметов должен быть знаком студент к моменту изучения данной дисциплины, какими основными понятиями, методами и представлениями должен владеть студент, начиная изучение данной дисциплины.

Так как учебным планом предусмотрены лабораторные работы и домашние задания, целесообразно акцентировать внимание студентов на необходимости дальнейшего использования полученных знаний при выполнении работ на производственной практике и дипломной работы.

С программой лабораторных работ и домашними заданиями студенты должны быть ознакомлены на начальной стадии курса, поскольку они, наряду с лекциями, способствуют усвоению программы курса.

При организации самостоятельной работы студентов следует указать им на наличие в сети Интернет полного описания всех ФГОС и многих рабочих программ учебных дисциплин, находящихся в "страничках" Российского образовательного портала ([www.education.ru](http://www.education.ru)).

#### **4. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Все лекционные занятия проводятся с использованием подготавливаемых преподавателем электронных компьютерных презентаций, содержащих большое количество наглядного иллюстрационного материала. В процессе изложения лекционного материала в интерактивной форме обсуждаются актуальные вопросы по тематике занятия.

Лабораторные работы выполняются на имеющихся в СарФТИ НИЯУ МИФИ современных многопроцессорных компьютерах с применением современных вычислительных методик и программ, в соответствии с заданиями на каждую работу, разрабатываемыми преподавателем (см. п. 4.2.1.2.). Лабораторные работы проводятся под руководством преподавателя и техников (лаборантов); задаваемые варианты работы выполняются либо каждым студентом индивидуально, либо группой из двух-трёх студентов.

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

Текущий контроль знаний и успеваемости студентов осуществляется:

- выборочным опросом в ходе лекций;
- при выполнении лабораторных работ, разработке отчетов по работам, при приёме отчётов по лабораторным работам.

По результатам текущего контроля формируется балльная оценка (см. п. 4.1) и делается вывод о допуске студента к зачёту.

Итоговый контроль успеваемости студента и уровня освоения им учебной дисциплины проводится в каждом семестре при сдаче зачёта.

- Зачёт проводится в форме ответов студента на контрольные вопросы. Перечень вопросов соответствует основным материалам лекций и лабораторных работ; он составляется заблаговременно перед зачётом. Студенты должны быть ознакомлены с перечнем вопросов для зачёта (или с билетами, содержащими вопросы) не позже, чем за две недели перед зачётом.

### **Вопросы к экзамену:**

1. Понятия о процессах удара и взрыва. Сведения о характерных процессах удара и взрыва в природе и технике.
2. Модели и моделирование. Физическое и математическое моделирование. Другие виды моделирования.
3. Математическая модель и математическое моделирование. Аналитическое и численное моделирование. Имитационное моделирование. Возрастающая роль математического моделирования в технике и научных исследованиях.
4. Основные требования к математическим моделям и их отработке. Понятия тестирования, верификации, валидации моделей (методик), программного обеспечения (ПО).
5. Основные физические величины и их размерности в системе СИ. Производные величины и их размерности.
6. Основные понятия теории подобия и размерностей. П – теорема теории подобия. Критерии подобия объектов, процессов.
7. Пример задачи, решаемой с помощью теории подобия: определение силы, действующей на конус при вертикальном ударе о воду.

8. Классификация ударов и соответствующие ей уровни характерных параметров (давлений, напряжений) в зависимости от скорости удара.
9. Понятия уравнения состояния (УРС), ударной адиабаты, изэнтропы. Примеры соответствующих аналитических зависимостей.
10. Линейное упругое УРС. УРС идеального газа.
11. УРС типа Ми-Грюнайзена, форма «Shock» этого УРС. УРС квазиакустического типа.
12. Аналитическое определение начальных параметров удара при столкновении двух пластин (удар по нормали к поверхности пластин).
13. Анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) в зоне соударения пластин. Условие текучести Мизеса. Связь между давлением, главными напряжениями и пределом текучести.
14. Аналитическое решение задачи определения основных параметров осесимметричного движения цилиндро-конического ударника при внедрении в мягкую преграду с заданной начальной скоростью. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad), полученных при выполнении лабораторной работы №1 (скорости (0,6 – 1,2) км/с,  $m_{0y} = (10 - 50)$  кг)).
15. Аналитическое моделирование взаимодействия составного ударника (двухмассового с упругой связью) с мягкой преградой. Уравнения движения; силы, действующие на массы ударника. Обсуждение результатов расчётов (по программе Mathcad), полученных при выполнении лабораторной работы №2.
16. Классическая гидродинамическая теория Лаврентьева М.А. проникания кумулятивной струи и стержня в преграду. Формулы для расчёта скорости и глубины проникания.
17. Модифицированная с учётом прочности теория Алексеевского-Тейта проникания стержневых ударников в преграды (осесимметричный случай, сравнение с теорией Лаврентьева). Влияние угла атаки стержня на процесс и глубину проникания.
18. Аналитическое решение задачи пластического деформирования металлического стержня (стержня Тейлора) при осесимметричном ударе о плоскую жёсткую преграду. Простейшая формула для определения динамического пределы текучести по результатам соответствующего эксперимента.
19. Характерные опытные и расчётные данные по размерам кратеров в металлических преградах при воздействии на них компактных металлических ударников со скоростями до  $\approx 10$  км/с. Зависимость глубины кратера от кинетической энергии ударника.
20. Понятие предельно пробиваемой толщины преграды ( $h_{пр}$ ). Её зависимость от кинетической энергии компактного ударника и от угла соударения. Понятие угла рикошетирования ( $\alpha_p$ ).



Примеры количественных данных по  $h_{пр}$ ,  $\alpha_r$  для дюралюминиевой преграды и стального сферического ударника.

21. Понятие детонации ВВ. Основные соотношения гидродинамической теории детонации, необходимые для получения аналитических решений ряда задач взрыва. Условие и точка Жуге. Прямая Михельсона.
22. Простейшее уравнение изэнтропы продуктов взрыва (ПВ). Связь между основными параметрами за фронтом детонационной волны (ДВ) при  $n = 3$ .
23. Примеры аналитических решений некоторых задач взрыва на основе гидродинамической теории детонации (распределение основных параметров за фронтом ДВ; взаимодействие плоской ДВ с преградой; кривая торможения, оценка давления «химического пика»).
24. Основные предпосылки для построения математических моделей удара и взрыва на основе механики сплошной среды (МСС). Эйлеров и лагранжевы подходы к описанию движения сплошной среды.
25. . Состав основных уравнений (лагранжевых или эйлеровых) динамики сплошной среды и необходимость применения численных методов их решения с использованием ЭВМ и суперЭВМ.
26. Основные сведения о методах численного моделирования процессов удара и взрыва. Сеточные методы (Лагранжевы, эйлеровы, смешанные). Бессеточный метод SPH
27. Сущность и основные понятия вычислительных методов конечных разностей и конечных элементов.
28. Основные сведения о пре-постпроцессоре LS-PrePost. Основные этапы подготовки задач численного моделирования соударения ударников с преградами (на примере подготовки задач при выполнении лабораторных работ №№3 - 6).
29. Уруго-пластические модели поведения материала: идеальная, с линейным деформационным упрочнением (`matplastic_kinematic`) и с учётом скоростного упрочнения в форме Купера-Саймондса. Гидродинамическая модель.
30. Модель сдвиговой прочности Джонсона-Кука (аналитическая и кусочно-линейная формы).
31. Основные типы критериев разрушения материалов посредством разрыва и сдвига, использующиеся в задачах численного моделирования удара и взрыва, в том числе, в ПК «ЛОГОС – прочность».
32. Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и модуле расчёта задач динамической прочности «ЛОГОС – прочность». Основные типы расчётных методов (решателей) и конечных элементов, используемых для численного моделирования динамических задач в модуле «ЛОГОС-прочность».

33. Обсуждение постановки и результатов численного 3D моделирования задачи соударения сферического стального ударника с алюминиевой пластиной (по материалам лабораторной работы №3, скорости удара (0,7 – 1,4) км/с).
34. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения стержня Тейлора с жёсткой пластиной (скорости (185-350) м/с, по материалам лабораторной работы №4).
35. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» детонации цилиндрического заряда ВВ и разгона алюминиевого диска (лагранжевая постановка), по материалам лабораторной работы №5).
36. Постановка задачи и результаты численного 3D моделирования с помощью ПК «ЛОГОС-прочность» соударения модели пули калибра 7,62 мм со стальной пластиной со скоростью 750 м/с под углом  $\theta = 50^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  к поверхности пластины (по материалам лабораторной работы №6).
37. Сведения о ряде современных методик и программных комплексов, в том числе – коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное численное моделирование широкого круга задач удара и взрыва на ЭВМ и суперЭВМ.

#### Примечание.

Из указанного перечня вопросов каждому студенту на зачёте необходимо будет ответить, как минимум, на два вопроса, один из которых относится к выполнявшемуся студентом варианту лабораторной работы, к ПК «ЛОГОС-прочность» или к LS-PrePost, к ПК «Mathcad».

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература:**

1. В.С. Зарубин. Математическое моделирование в технике. Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.(Есть электронная версия (ЭВ-2)).
2. Глушак Б.Л. Начала физики взрыва. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
3. Прикладные задачи высокоскоростного удара. Сборник научных статей/ Под ред. дтн, проф. Ю.Н. Бухарева. Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
4. Документация на программный комплекс «ЛОГОС» («ЛОГОС-прочность»). Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013-2014. Электронная версия (ЭВ-1).

5. Бухарев Ю.Н. Материалы лекций по дисциплине «Программные системы инженерного анализа процессов удара и взрыва». Электронные презентации (ЭВ-1). Саров. СарФТИ НИЯУ МИФИ. 2014.
6. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров, конструкторов (ЭВ-2). СПб. 2007.
7. Руденко В.В. и др. Комплекс программ MASTERProfessional. Версия 1.03. Руководство пользователя (ЭВ-1). Саров. 2010.
8. LS – PrePost 3.1. Tutorials. 2011. (ЭВ-2).

#### **Дополнительная литература:**

1. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара. Учебн. пособие для вузов. М.- Физматлит. 2006. (ЭВ-2).
2. Бабкин А.В., Селиванов В.В. Основы механики сплошных сред. Учебник для вузов. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006. (Серия: Прикладная механика сплошных сред. Т.1. ЭВ-2).
3. Бабкин А.В., Селиванов В.В. и др..Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов.Учебник для вузов. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006. (Серия: Прикладная механика сплошных сред. Т.3. ЭВ-2).
4. Трунин Р.Ф. и др. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2006.
5. Муйземнек А.Ю., Богач А.А. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA. Учебное пособие (ЭВ-2). Пенза. ИИЦ ПГУ, 2005.
6. Кравчук А.С. и др.. Электронная библиотека механики и физики. Лекции по ANSYS/LS-DYNA и основам LS-PREPOST с примерами решения задач. Часть 3. Минск. 2013. (ЭВ-2).
- 7.Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Москва. Наука. Физматлит, 1972.
8. Журналы: а) Физика горения и взрыва (ПАН), б) International Journal of Impact Engineering (Pergamon, [www/elsevier.com](http://www.elsevier.com)).

#### **Примечания:**

1. Электронные версии литературных источников типа ЭВ-1 передаются преподавателем студентам при изучении соответствующих разделов дисциплины; версии типа ЭВ-2 доступны на соответствующих сайтах.
2. При проведении лекций и лабораторных работ список литературы может дополняться источниками (пособиями) по конкретным вопросам.

#### **Программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

Для освоения дисциплины предусмотрено следующее основное программное обеспечениена:

- ПК «ЛОГОС» («ЛОГОС-прочность»), разработчик РФЯЦ-ВНИИЭФ(лицензия);
- ПК «MASTER-Professional», разработчики – группа сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ;

- ПК «Mathcad» (имеется в составе специализированного ПО на учебных компьютерах);
- пре-постпроцессорLS – Pre Post(версии 3.1, 4.1; ЭВ-2);
- ряд программ из состава «Microsoft office».

Ресурсы электронно- библиотечной системы (ЭБС) НИЯУ МИФИ **IQLib**, библиотеки **eLIBRARY.RU** и др.

#### **Сайты интернет по вопросам дисциплины:**

[http:// window.edu.ru](http://window.edu.ru) ,<http://techlibrary.ru> ,<http://univerty.ru/video/>, [www.library.mrsu.ru](http://www.library.mrsu.ru) и др.

Преподавателем на лекциях указываются и другие сайты по соответствующей тематике.

В распоряжение студентов предоставлен комплект материалов учебно-методического комплекса УМК, размещенный на сайте СарФТИ, на компьютерах кафедры, на электронных носителях. Описания всех ГОС и ряда рабочих программ учебных дисциплин, находящихся в "страничках" Российского образовательного портала, имеются на сайте [www.education.ru](http://www.education.ru).

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

Занятия по дисциплине проводятся в компьютерном классе (аудитория 210Д, корпус 4),оснащённом современными многопроцессорными компьютерами с операционными системами Windows 7, оборудованием для демонстрации презентаций лекций.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению 15.03.03 Прикладная механика.

**Программу составил:** профессор кафедры ОТДиЭ, д. т. н., профессор Ю.Н. Бухарев  
**Рецензент:** заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент А.Л. Михайлов