

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 компьютерной математики

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

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

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Программные системы компьютерной математики» 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 компьютерной математики» являются формирование у студентов:

- ✓ знаний об основах и функциональных возможностях современных систем компьютерной математики, их применения для решения различных прикладных задач динамики и прочности конструкций, включая задачи удара и взрыва, которые актуальны для обеспечения безопасного функционирования устройств и сооружений в аварийных ситуациях, а также при разработке боеприпасов различного назначения;
- ✓ умений и приёмов применения систем компьютерной математики «Excel», «Mathcad», «MASTER Professional», «ЛОГОС-прочность» для постановки и решения конкретных задач динамики и прочности, удара и взрыва;
- ✓ 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.03.02

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: базовый курс математического анализа, знания основ дифференциального исчисления и методов решения дифференциальных уравнений, физика, теоретическая механика, сопротивление материалов, основы механики жидкости и газа, физика взрыва и удара, вычислительная механика, информатика, компьютерная графика.

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

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, математическое моделирование динамически процессов взрыва и удара, основы физики прочности и механики разрушения, исследование свойств материалов при динамических нагрузках вычислительная механика).

Эта дисциплина является необходимой для освоения последующих дисциплин: методы и техника физического эксперимента, 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:

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

| | | | |
|--|--|---|---|
| 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. | ПК-1.1 Способен обрабатывать и анализировать результаты измерений, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытаний) <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» | 3-ПК-1.1 Знать методы и средства научных исследований У-ПК-1.1 Уметь разрабатывать методики обработки результатов измерений полученных в результате испытаний изделий (объектов испытания) 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. | ПК-4 Способен проводить расчет отдельных узлов и агрегатов изделий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «32.004. Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций» | 3-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 У-ПК-4 Уметь проводить расчеты на прочность различных типов конструкций: балочных, ферменных, 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 инструментарий: пользоваться стандартным программным обеспечением при оформлении документации и инженерных расчетов; пользоваться программным обеспечением для расчетов на прочность</p> <p>В-ПК-4 Владеть подготовкой исходных данных для расчетов; проведением расчетов на прочность конструкций агрегатов; проведением расчетов устойчивости элементов конструкций; анализом результатов расчета</p> |
|--|--|--|--|

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет _____ кредитов, 144 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 16 | Практ. занятия/ семинары 16 | Лаб. работы 18 | | | |
| 7 семестр | | | | | | | | |
| 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 систем компьютерной математики и математического моделирования в технике и научных исследованиях. Литература. | | 2 | 2 | 2 | Контр. работа/ устный опрос | Контр. работа/ 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/ устный опрос | Контр. работа/ устный опрос | |
| 3 | Основные предпосылки для аналитического и численного моделирования задач динамики | | 2 | 2 | 2 | Контр. работа /устный опрос | Контр. работа/ устный опрос | |

| | | | | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|--------------------------------|--------------------------------|--|
| | <p>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/ устный опрос | Контр. работа/ 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 бессеточные (SPH) методики</p> | | 2 | 2 | 2 | Контр. работа/ устный опрос | Контр. работа/ устный опрос | |

| | | | | | | | | |
|---|--|--|---|---|---|--------------------------------|--------------------------------|--|
| | 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. | | 1 | 1 | 2 | Контр. работа/ устный опрос | Контр. работа/ устный опрос | |
| 7 | Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и блоке расчёта динамической прочности «ЛОГОС-прочность» («ЛЭГАК-ДК»), возможностях применения «ЛОГОС-прочность» для численного моделирования задач удара и взрыва. Подготовка задач с помощью препроцессоров LS-Prepost, «ЛОГОС - Препост». | | 2 | 2 | 2 | Контр. работа/ устный опрос | Контр. работа/ устный опрос | |
| 8 | Примеры постановки ряда задач удара и результатов численного моделирования с помощью программного комплекса «ЛОГОС- прочность». | | 1 | 1 | 2 | Контр. работа/ устный опрос | Контр. работа/ устный опрос | |
| 9 | Обзор ряда других современных методик и программных комплексов (систем), зарубежных и отечественных, в том числе, коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN; «MASTER Professional», «ЭГИДА» и др.), позволяющих осуществлять эффективное решение широкого круга динамических задач инженерного анализа (CAE, CAD и др.) на ЭВМ и суперЭВМ. | | 2 | 2 | 2 | Контр. работа/ устный опрос | Контр. работа/ устный опрос | |

| | | |
|--|---------------------|--------|
| | Экзамен | 0 - 50 |
| | СРС – 94 час | 100 |

Все лабораторные и практические занятия и частично лекционные проводятся в интерактивной форме.

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», «Excel» 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

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

Часть 2. Задача расчёта с использованием ПК «Mathcad», «Excel» 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 (с применением «Excel») и методом численного решения дифференциального уравнения движения ударника (с применением «Mathcad»).

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° 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 по стальной 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.

Для повышения эффективности усвоения студентами материалов по тематике «MASTER Professional» впервые предусматривается использование инновационной технологии обучения, в соответствии с которой ПК «MASTER» устанавливается на домашние компьютеры студентов, на которых ими самостоятельно выполняется несколько домашних заданий.

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 ГОС и многих рабочих программ учебных дисциплин, находящихся в "страничках" Российского образовательного портала (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 проводятся в интерактивной форме под руководством преподавателя и техников (лаборантов) в соответствии с заданиями на каждую работу, разрабатываемыми преподавателем. Задаваемые варианты работы выполняются либо каждым студентом индивидуально, либо группой из двух-трёх студентов.
- Лабораторные работы выполняются на имеющихся в НИЯУ СаpФТИ современных многопроцессорных компьютерах и гибридных суперЭВМ (две – три работы по «MASTER Professional») с применением современных вычислительных методик и программ (см. п. 4.2.1.2, 4.2.2.2).
- Как указано в п.4.2.3, для повышения эффективности образовательного процесса впервые предусматривается использование инновационной технологии обучения, в соответствии с которой ПК «MASTER Professional» устанавливается на домашние компьютеры студентов, на которых ими самостоятельно выполняется несколько домашних заданий.

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 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 цилиндрично-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 предела 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 ≈ 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 (α_p). Примеры количественных данных по $h_{пр}$, α_p 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. Упруго-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

Рекомендуемая литература.

Основная литература.

1. В.С. Зарубин. Математическое моделирование в технике. Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. (Есть электронная версия (ЭВ-2)).
2. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров, конструкторов (ЭВ-2). СПб. 2007.
3. Документация на программный комплекс «ЛОГОС» («ЛОГОС-прочность»). Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2013-2014. Электронная версия (ЭВ-1).
4. Руденко В.В. и др. Комплекс программ MASTER Professional. Версия 1.03. Руководство пользователя (ЭВ-1). Саров. 2010.
5. LS – PrePost 3.1. Tutorials. 2011. (ЭВ-2).
6. Уокенбах Дж. Microsoft Excel 2007. Библия пользователя. Пер. с англ. 2008. (ЭВ-2).
7. Бухарев Ю.Н. Материалы лекций по дисциплине «Программные системы инженерного анализа процессов удара и взрыва». Электронные презентации (ЭВ-1). Саров. СарФТИ НИЯУ МИФИ. 2014.
- 8 Глушак Б.Л. Начала физики взрыва. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
9. Прикладные задачи высокоскоростного удара. Сборник научных статей/ Под ред. дтн, проф. Ю.Н. Бухарева. Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.

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 (РАН), б) International Journal of Impact Engineering (Pergamon, [www/elsevier.com](http://www.elsevier.com)).

Примечания:

- Электронные версии литературных источников типа ЭВ-1 передаются преподавателем студентам при изучении соответствующих разделов дисциплины; версии типа ЭВ-2 доступны на соответствующих сайтах.
- 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 обеспечение на:

- ПК «ЛОГОС» («ЛОГОС-прочность»), разработчик РФЯЦ-ВНИИЭФ;
- ПК «MASTER Professional», разработчики – группа сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ;
- ПК «Mathcad» (имеется в составе специализированного ПО на учебных компьютерах);
- препостпроцессор LS – PrePost (версии 3.1, 4.1; ЭВ-2);
- ряд программ из состава «Microsoft office» (в том числе «Excel»).

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 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.

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.

Численное моделирование нескольких задач удара и взрыва при выполнении лабораторных работ с помощью ПК «MASTER Professional» предусматривается проводить с использованием гибридных суперЭВМ, расположенных в аудитории корпуса 4, которые имеют линии связи с терминальными компьютерами в аудитории 210Д этого же корпуса.

В соответствии с п. 4.2.3 предусматривается выполнение ряда домашних заданий, в том числе с применением ПК «MASTER», на домашних компьютерах студентов.

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