

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**

« ____ » _____ **2023 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 _____ 2023 г.

_____ **А.Л. Михайлов**

« ____ » _____ **2023 г.**

г. Саров, 2023 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 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:

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 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»	З-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 анализа 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»	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 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
---	--	---	---

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

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	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы			
			16	16	16			
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 программных систем инженерного анализа 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		2	2	2	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	

	моделирования задач динамики удара и взрыва в рамках представлений механики сплошной среды. О построении математических моделей на основе механики сплошной среды (вводная часть). 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.							
4	Примеры ударов с пробитием преград пулями, косых ударов. Характерные скорости ударов в реальных условиях. Классификация ударов. 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.		2	2	2	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
5	Основные сведения о методах численного моделирования процессов соударения и взрыва, истории их развития и её связи с развитием ЭВМ. Сеточные и		2	2	2	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ 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.		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	1	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; «MASTERProfessional», «ЭГИДА» и др.), позволяющих осуществлять эффективное решение широкого круга динамических задач инженерного анализа (CAE, CAD		2	2	1	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	

	и др.) на ЭВМ и суперЭВМ.							
...	Экзамен							0 - 50
	СРС – 96 час							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° 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).

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 приеме отчетов 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 ≈ 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 рикошетирувания (α_p).

Примеры количественных данных по $h_{пр}$, α_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. 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, используемые 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 $\theta = 50^0, 20^0$ 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 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.

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