

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

Математическое моделирование динамических процессов взрыва и удара

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, экз./зач./ЗсО/	Интерактивные часы
7	16	3	108	16	16	-	76	-	Зач	8
ИТОГО	16	3	108	16	16	-	76	-	Зач	8

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Математическое моделирование динамических процессов взрыва и удара» 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

Цель курса - дать основные понятия о моделировании объектов и процессов, показать возможности математического моделирования динамических процессов удара и взрыва, научить студентов проводить самостоятельные расчёты характерных задач динамики высокоскоростного удара и взрыва с использованием аналитических моделей и современных методик численного моделирования

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Индекс дисциплины: Б1.В.ДВ.04.02

Дисциплина относится к вариативной части дисциплин по выбору основной образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры» направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика». Ё

Она опирается на следующие дисциплины: теоретическая механика, сопротивление материалов, термодинамика, взрывчатые вещества, теория упругости, физика взрыва, экспериментальная механика, основы физики прочности и механики разрушения, вычислительная механика, уравнения состояния вещества.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и математического анализа. Необходимо уметь работать с компьютером, иметь знания по САД программам.

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 Способен к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	З-ПК-1 Знать методы анализа научных данных У-ПК-1 Уметь оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ В-ПК-1 Владеть проведением анализа научных данных, результатов экспериментов и наблюдений; осуществлением теоретического обобщения научных данных, результатов экспериментов и наблюдений
		ПК-1.1 Способен обрабатывать и анализировать результаты измерений, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытаний)	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)

		разработкам»	
		<p>ПК-2 Способен к осуществлению выполнения экспериментов оформлению результатов исследований и разработок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «40.011. Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»</p>	<p>3-ПК-2 Знать цели и задачи проводимых исследований разработок; методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации</p> <p>У-ПК-2 Уметь оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; применять методы проведения экспериментов</p> <p>В-ПК-2 Владеть проведением наблюдений и измерений, составление их описаний и формулировка выводов; составление отчетов (разделов отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов</p>
<p>Тип задачи профессиональной деятельности:</p> <p>расчетно-экспериментальный с элементами научно-исследовательской деятельности</p>			
<p>выполнение расчетно-экспериментальных работ в области прикладной механики с помощью экспериментального оборудования для проведения механических испытаний</p>	<p>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.</p>	<p>ПК-3 Способен к определению расчетных характеристик материалов, применяемых при конструировании изделий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт «32.004. Специалист по прочностным расчетам авиационных конструкций»</p>	<p>3-ПК-3 Знать основы теории проведения измерений при экспериментальных работах; основы материаловедения; физические и механические характеристики конструкционных материалов; основы теории устойчивости конструкций; основы механики разрушения; основы теории колебаний</p> <p>У-ПК-3 Уметь применять методики расчета на прочность различных типов конструкций; применять инструментарий: - пользоваться стандартным программным обеспечением при оформлении</p>

			<p>документации и инженерных расчетов; - пользоваться программным обеспечением для расчетов на прочность В-ПК-3 Владеть экспериментальное определение усталостных характеристик образцов материалов и элементов конструкции; обработка экспериментальных данных по результатам испытаний образцов; анализ результатов экспериментальных исследований</p>
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 кредитов, 108 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 --			
8 семестр								
1	Основные понятия о физическом и математическом моделировании, теории и критериях подобия и моделирования, типах математических моделей объектов и процессов, их классификации.		4	4		контр. работа/устный опрос	контр. работа/устный опрос	
2	Теоретические основы аналитического и численного моделирования задач динамики удара и взрыва в рамках представлений механики сплошной среды.		4	4		контр. работа/устный опрос	контр. работа/устный опрос	
3	Ознакомление студентов с программными комплексами (ПК) «Mathcad», «ЛОГОС» (блок «ЛОГОС-прочность»), «MASTER» (методика SPH), позволяющими решать разнообразные задачи численного моделирования соударения объектов, развития детонации ВВ и воздействия продуктов взрыва на различные конструкции,		4	4		контр. работа/устный опрос	контр. работа/устный опрос	

	обучение работе с этими комплексами на примерах конкретных задач (в процессе лекционных, лабораторных и самостоятельных занятий).							
4	Обзор ряда других современных методик и программных комплексов, в том числе, коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное решение широкого круга динамических задач на ЭВМ и суперЭВМ.	4	4			контр. работа/устный опрос	контр. работа/устный опрос	
	Экзамен							0 - 50
	СРС – 76 час							100

4.1. План лекционных занятий.

Лекция 1. 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 математического моделирования в технике и в научных исследованиях.

Лекция 2. Примеры ударов, характерные физические явления при ударах и параметры интенсивности нагружения твёрдых тел при различных скоростях ударов. Классификация ударов. Возможности экспериментальных установок для моделирования высокоскоростных ударов.

Лекция 3. Теоретические основы аналитического и численного моделирования задач динамики удара и взрыва в рамках представлений механики сплошной среды. Эйлеров и Лагранжев подходы к описанию движения сплошной среды.

Лекция 4. Примеры постановки задач, построения аналитических математических моделей процессов высокоскоростного удара и взрыва. Решение (исследование) некоторых задач методами теории подобия (задачи об ударе клина и конуса о воду, высокоскоростного соударения сферического сегмента с преградой).

Лекция 5. Применение аналитических моделей для решения ряда задач соударения ударников с различными преградами (грунт, вода, металлические преграды). Аналитические решения ряда задач: соударения пластин, проникания стержней в металлические преграды (осесимметричная и двумерная с учётом прочности), удара стержня о жёсткую преграду (задача Тейлора).

Лекция 6. Процессы образования кратеров при ударах, Пробитие преград (однослойных и многослойных). Аналитические (полуэмпирические) модели расчета пробития преград, размеров кратеров. Опытные данные.

Лекция 7. Аналитическое моделирование в задачах взрыва. Примеры постановки и решения задач с применением гидродинамической теории детонации.

Лекция 8. Постановка ряда задач численного моделирования процессов соударения твердых тел и взрыва.. Сеточные и бессеточные (SPH) методики численного моделирования. Метод конечных разностей. Метод конечного элемента. Основные понятия. Примеры постановки задач.

Лекция 9. Основные типы уравнений состояния материалов (инертных и ВВ), моделей сдвиговой и откольной прочности.

Лекция 10. Основные сведения о программном комплексе «ЛОГОС» и блоке расчёта динамической прочности «ЛОГОС-прочность», возможностях применения «ЛОГОС-прочность» для численного моделирования задач удара и взрыва. Примеры постановки задач.

Лекция 11. Интерфейс препроцессоров «LS-Prepost» и «ЛОГОС-Препост», используемых для подготовки задач численного моделирования удара и взрыва с помощью ПК «ЛОГОС-прочность». Основные этапы и процедуры подготовки исходных **к-файлов**.

Лекция 12. Примеры постановки ряда задач удара и результатов численного моделирования с помощью программного комплекса «ЛОГОС-прочность».

Лекция 13. Опыт применения различных моделей и критериев прочности и разрушения материалов в прикладных задачах численного моделирования высокоскоростных ударов.

Лекция 14. Обзор ряда других современных методик и программных комплексов, в том числе, коммерческих (ANSYS, LS-DYNA, AUTODYN и др.), позволяющих осуществлять эффективное решение широкого круга динамических задач на ЭВМ и суперЭВМ

Лекция 15. Основные сведения о программном комплексе «MASTER» и базовой методике расчёта SPH. Возможностях применения ПК «MASTER» для численного моделирования задач высокоскоростного удара и взрыва. Примеры постановки и решения задач.

Лекция 16. Методика сглаженных частиц (SPH) для решения 2D и 3D задач численного моделирования удара и взрыва в ПК «MASTER». Основные уравнения для гидро-газодинамики и упругопластики. Разностные схемы для получения численных решений.

Лекция 17. Знакомство с интерфейсом ПК «MASTER», процедурами запуска и начала работы. Типы объектов и процедуры работы с ними (с конкретными примерами). Подготовка и редактирование задачи для численного моделирования. Основные этапы подготовки в диалоговом режиме: 1D (лагранжевая), 2D, 3D (SPH) постановки. Ввод общей и областной информации. Формирование геометрии областей задачи с помощью графического редактора. Ввод граничных условий, счётной (координатной) сетки, параметров счётных частиц, параметров записи и накопления результатов расчёта.

Лекция 18. ПК «МАСТЕР». Подготовка задачи к счёту, расчет задачи. Управление счетом, визуальное сопровождение счета. Экспресс-обработка результатов, выдачи результатов. Накопление выданных результатов в формате Excel-таблиц. Обработка результатов, построение графиков. Расчёт серии задач. Динамическое сравнение. Оптимизация. Презентационный инструментарий.

4.2. Лабораторные (практические) работы

В рамках данного курса предусмотрено проведение 9-и лабораторных (практических) работ (36 часов), предусматривающих постановку задач, разработку моделей и выполнение решения ряда задач удара и взрыва аналитическими методами и методами численного моделирования с помощью ПК «Mathcad», программного блока «ЛОГОС-прочность» комплекса «ЛОГОС» и ПК «MASTER». Проводится сравнение времени счёта задач численного

моделирования на одном процессоре (ядре) компьютера и при распараллеливании задач на несколько процессоров.

Примерные темы лабораторных работ.

Лаб. раб.1 – 4 часа. Аналитическое и численное решение задачи определения силы сопротивления и параметров движения жёсткого ударника с конической носовой частью при ударе о песок по нормали к лицевой поверхности со скоростями около 1,0 км/с.. Решение аналитических и численных задач, построение графиков проводится на компьютере с использованием пакетов Mathcad, EXEL, а также других программ по желанию студента.

Лаб. раб. 2 – 4 часа. Численное моделирование с помощью ПК «Mathcad» задачи проникания в грунт составного (двухмассового с упругой связью) ударника при начальных скоростях от 0,7 до 1,5 км/с..

Лаб. раб. 3 - 4 часа. Знакомство с интерфейсом препроцессора «LS-PrePost», его освоение на примере подготовки исходного **к-файла** для численного моделирования по программе «ЛОГОС-прочность» задачи взаимодействия сферического стального ударника с алюминиевой пластиной при скорости удара по нормали около 1,3 км/с (Лагранжевая 3D постановка).

Лаб. раб. 4 – 4 часа. Численное моделирование по программе «ЛОГОС-прочность» процесса взаимодействия сферического стального ударника с алюминиевой пластиной при скорости удара по нормали около 1,3 км/с (Лагранжевая 3D постановка, без учёта термических эффектов).

Лаб. раб 5 – 4 часа. Подготовка задачи и численное моделирование по программе «ЛОГОС-прочность» процесса взаимодействия сферического стального ударника с алюминиевой пластиной при скорости удара по нормали около 1,3 км/с с учётом разогрева материалов (Лагранжевая 3D постановка).

Лаб. раб. 6 - 4 часа. Подготовка задачи и численное моделирование по программе «ЛОГОС-прочность» процесса взаимодействия сферического стального ударника с алюминиевой пластиной при скорости удара около 1,3 км/с под углами 30-60 градусов к поверхности пластины с учётом разогрева материалов (Лагранжевая 3D постановка).

Лаб. раб. 7 - 4 часа. Подготовка задачи и численное моделирование по программе «ЛОГОС-прочность» процесса взаимодействия пули калибра 7,62 мм со стальной пластиной при скорости удара 750 м/с под углами 30-90 градусов к поверхности пластины с учётом разогрева материалов (Лагранжевая 3D постановка).

Лаб. раб. 8 - 4 часа. Подготовка задачи и численное моделирование по программе «ЛОГОС-прочность» процесса взаимодействия сферического стального ударника с

алюминиевой двухслойной пластиной при скорости удара 6,2 км/с под углом 90 градусов к поверхности пластины с учётом разогрева материалов (SPH 3D постановка).

Лаб. раб. 9 - 4 часа. Численное моделирование по программе «MASTER» (методика SPH) динамики деформирования цилиндрической металлической оболочки при взрыве в ней цилиндрического заряда ВВ

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.

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.

4.3. Домашние задания студентам, самостоятельная работа.

Домашние задания студентам даются по тематике изучаемого курса. Предусматривается написание рефератов по разделам (вопросам) курса, подготовка презентационных материалов к лекциям, разработка отчётов по результатам расчётов задач в соответствии с домашними заданиями преподавателя

4.4. 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.

Как указывалось, цель курса - дать студентам основные понятия о моделировании объектов и процессов, показать возможности математического моделирования динамических процессов удара и взрыва, научить студентов проводить самостоятельные расчёты характерных задач динамики высокоскоростного удара и взрыва с использованием аналитических моделей и современных методик численного моделирования.

Курс опирается на следующие дисциплины: вычислительная механика, уравнения состояния веществ, физика взрыва, гидродинамика, теория упругости, основы физики прочности, теоретическая механика, термодинамика, экспериментальная механика, взрывчатые вещества, знания по курсам общей физики и математического анализа по САД программам. 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.

4.5. 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.

Возможной иллюстрацией ряда требований, предъявляемых к студенту при изучении дисциплины, может служить ОС высшего профессионального образования. «Направление подготовки дипломированного специалиста 651500-Прикладная механика Специальность 150303 "Динамика и прочность машин".

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).

Примечание. Наряду с ПК «ЛОГОС», «MASTER» весьма эффективным явилось бы применение ПК «ANSYS» с компонентами «LS-DYNA», «AUTODYN», «SPH».

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Все лекционные занятия проводятся с использованием 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 современных многопроцессорных компьютерах с применением современных вычислительных методик и программ. Выполнение одной из лабораторных работ предусматривается провести с использованием компактной суперЭВМ терафлопного класса разработки РФЯЦ-ВНИИЭФ (типа АМК-5М).

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

Для текущего контроля успеваемости используются тестовые вопросы в процессе лекционных занятий, лабораторные работы, домашнее задания (рефераты).

Вопросы к зачету:

1. Понятия о процессах удара и взрыва.
2. Модели и моделирование. Физическое и математическое моделирование. Другие виды моделирования.
3. Математическая модель и математическое моделирование. Аналитическое и численное моделирование. Имитационное моделирование.
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. Сведения о характерных процессах удара и взрыва в природе и технике. Возрастающая роль математического моделирования в технике и научных исследованиях.
8. Пример задачи, решаемой с помощью теории подобия: определение силы, действующей на конус при вертикальном ударе о воду.
9. Классификация ударов и соответствующие ей уровни характерных параметров (давлений, напряжений) в зависимости от скорости удара.
10. Понятия уравнения состояния (УРС), ударной адиабаты, изэнтропы. Примеры соответствующих аналитических зависимостей.
11. Линейное упругое УРС. УРС идеального газа.

12. УРС типа Ми-Грюнайзена, форма «Shock» этого УРС. УРС квазиакустического типа.
13. Аналитическое определение начальных параметров удара при столкновении двух пластин (удар по нормали к поверхности пластин).
14. Анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) в зоне соударения пластин. Условие текучести Мизеса. Связь между давлением, главными напряжениями и пределом текучести.
15. 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).
16. 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.
17. Классическая гидродинамическая теория Лаврентьева М.А. проникания кумулятивной струи и стержня в преграду. Формулы для расчёта скорости и глубины проникания.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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_p для дюралюминиевой преграды и стального сферического ударника.
22. Понятие детонации ВВ. Основные соотношения гидродинамической теории детонации, необходимые для получения аналитических решений ряда задач взрыва. Условие и точка Жуге. Прямая Михельсона.
23. Простейшее уравнение изэнтропы продуктов взрыва (ПВ). Связь между основными параметрами за фронтом детонационной волны (ДВ) при $n = 3$.

24. 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»).
25. Основные предпосылки для построения математических моделей удара и взрыва на основе механики сплошной среды (МСС). Эйлера и лагранжевы подходы к описанию движения сплошной среды.
26. Состав основных уравнений (лагранжевых или эйлеровых) динамики сплошной среды и необходимость применения численных методов их решения с использованием ЭВМ и суперЭВМ.
27. Основные сведения о методах численного моделирования процессов удара и взрыва. Сеточные методы (Лагранжевы, эйлеровы, смешанные). Бессеточный метод SPH.
28. Сущность и основные понятия вычислительных методов конечных разностей и конечных элементов.
29. 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).
30. Упруго-пластические модели поведения материала: идеальная, с линейным деформационным упрочнением (`matplastic_kinematic`) и с учётом скоростного упрочнения в форме Купера-Саймондса. Гидродинамическая модель.
31. Модель сдвиговой прочности Джонсона-Кука (аналитическая и кусочно-линейная формы).
32. Основные типы критериев разрушения материалов посредством разрыва и сдвига, использующиеся в задачах численного моделирования удара и взрыва, в том числе, в ПК «ЛОГОС – прочность».
33. 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».
34. 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).
35. 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° к поверхности пластины (по материалам лабораторной работы №6).

36. 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.
37. Основные сведения о программном комплексе (ПК) «Master Professional» и его применении для решения задач высокоскоростного удара и взрыва с использованием методики SPH.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ, ИНФОРМАЦИОННОЕ И МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Москва. Наука. Физматлит, 1972.
2. В.С. Зарубин. Математическое моделирование в технике. Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
3. Муйземнек А.Ю., Богач А.А. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA. Учебное пособие. Пенза. ИИЦ ПГУ, 2005.
4. Прикладные задачи высокоскоростного удара. Сборник научных статей/ Под ред. д-на, проф. Ю.Н. Бухарева. Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
5. Глушак Б.Л. Начала физики взрыва. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
6. Забабахин Е.И. Некоторые вопросы газодинамики взрыва.. Снежинск. РФЯЦ-ВНИИТФ, 1997.
7. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. Москва. Наука, 1975.
8. Высокоскоростные ударные явления. Пер. с англ. Москва. МИР, 1971.
9. Динамика удара. Пер. с англ. Москва. МИР, 1985.
10. Глушак Б.Л. Физика взрыва. Сборник задач и упражнений с решениями. Саров. РФЯЦ ВНИИЭФ, 2009
11. Документация на программный комплекс «ЛОГОС». Саров. РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2012.
12. Руденко В.В. Документация на программный комплекс «MASTER Professional». 2009-2012..
13. Бухарев Ю.Н. Материалы лекций по курсу «Математическое моделирование динамических процессов удара и взрыва». 2012.

б) дополнительная литература:

1. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М:Физматгиз. 1963.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Том I, II/ Москва. Наука, 1976, 1978.
3. Копышев В.П. Теория уравнений состояния. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2009.

4. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ. Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2006.
5. Алабужев П.М., Геронимус В.Б., Минкевич Л.М, Шеховцов Б.А. Теории подобия и размерностей. Моделирование. Москва. Высшая школа, 1968.
- 6.. Глушак Б.Л., Куропатенко В.Ф.,Новиков С.А. Исследование прочности материалов при динамических нагрузках. РАН СО Новосибирск.. Наука, 1992.
7. Рахматклин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. Москва. Физматлит, 1961

Интернет – ресурсы:

Лицензионное программное обеспечение для учебных компьютеров и интернет-ресурсы: Windows XP PRO (или Windows 7).

Другие ресурсы, входящие в состав УМК кафедры ТиЭМ, а также указанные в материалах лекций.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Для освоения дисциплины необходимо наличие:

- лекционной учебной аудитории, снабженной компьютерным проектором;
- учебной аудиторией (классом) для проведения лабораторных работ, оснащённой современными компьютерами с необходимым программным обеспечением для аналитического и численного моделирования, в том числе - с установленными программными комплексами «ЛОГОС», «MASTER»;
- компактной суперЭВМ терафлопного класса (типа АПК-М5) с установленным программным обеспечением.

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:

Вед. науч. сотр. ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ, доцент каф. ТиЭМ, к.ф.-м.н.

И.Р. Трунин

Рецензент: заведующий кафедрой ТиЭМ, д.т.н., доцент

А.Л. Михайлов