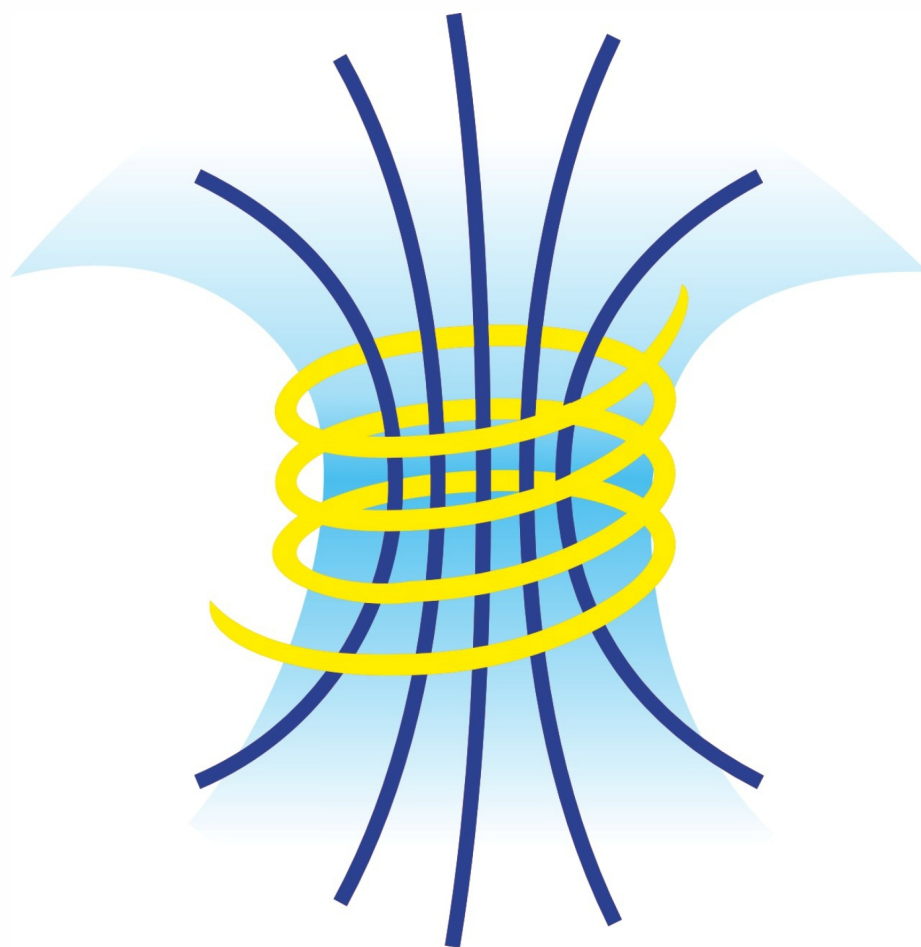


ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ГИДРОДИНАМИКА ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИИ,

посвященная 80-летию со дня рождения чл.-к. РАН Г. А. Швецова
24 – 26 апреля 2024 г.
Новосибирск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Новосибирск
2024

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ИНСТИТУТ ГИДРОДИНАМИКИ
ИМ. М. А. ЛАВРЕНТЬЕВА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**Гидродинамика
высоких плотностей энергии,**

посвященная 80-летию со дня рождения чл.-к. РАН Г. А. Швецова
24 – 26 апреля 2024 г.
Новосибирск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

УДК 53:544.45
ББК 22.3:24.54
В85

Программный комитет:

д.ф.-м.н. Э. Р. Прууэл, председатель
чл.-корр. РАН В. Д. Селемир, сопредседатель
д.ф.-м.н. С. Д. Гилев, сопредседатель
к.ф.-м.н. А. С. Юношев, сопредседатель
к.ф.-м.н. М. С. Котельникова, ученый секретарь
академик РАН Б. Д. Аннин (Новосибирск)
академик РАН М. П. Федорук (Новосибирск)
академик РАН В. М. Фомин (Новосибирск)
чл.-корр. РАН М. В. Сильников (Санкт-Петербург)
чл.-корр. РАН Г. А. Шнеерсон (Санкт-Петербург)
чл.-корр. РАН Е. А. Хмельников (Нижний Тагил)
д.т.н. А. А. Батаев (Новосибирск)
д.ф.-м.н. А. А. Васильев (Новосибирск)
д.т.н. А. В. Гуськов (Новосибирск)
д.ф.-м.н. В. А. Демидов (Саров)
д.ф.-м.н. В. В. Пай (Новосибирск)
д.т.н. Е. И. Пальчиков (Новосибирск)
д.ф.-м.н. В. К. Кедринский (Новосибирск)
д.ф.-м.н. В. В. Козлов (Новосибирск)
д.т.н. Е. Ф. Лебедев (Москва)
к.ф.-м.н. А. Г. Анисимов (Новосибирск)
к.т.н. С. В. Ладов (Москва)
к.ф.-м.н. С. В. Синяев (Томск)
к.ф.-м.н. А. В. Шурупов (МО, г. Шатура))
к.г.-м.н. В. Ю. Колобов (Новосибирск)
М. Е. Непомнящих (Новосибирск)

В85 Всероссийская конференция «Гидродинамика высоких плотностей энергии», посвященная 80-летию со дня рождения чл.-к. РАН Г.А. Швецова: тезисы докладов, 24–26 апреля 2024 г., г. Новосибирск, Россия / Сиб. отд-ние РАН, Ин-т гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, м-во науки и высшего образования РФ, НГУ. – Новосибирск: СО РАН, 2024. – 51 с.

ISBN 978-5-6049901-1-7

В сборнике представлены тезисы докладов Всероссийской конференции «Гидродинамика высоких плотностей энергии», посвященной 80-летию члена-корреспондента РАН Геннадия Анатольевича (24–26 апреля 2024 г., г. Новосибирск). Электронная версия сборника доступна по ссылке <https://www.hydro.nsc.ru/science/conf/hhde2024.pdf>.

Издается в авторской редакции

Содержание

Ядренкин М. А., Фомичев В. П. Экспериментальное моделирование взаимодействия микропорошков с преградами с помощью рельсотрона	6
Фомичев В. П., Ядренкин М. А. Использование рельсового ускорителя масс в задачах высокоскоростного взаимодействия тел с преградами	7
ПРОХОРОВ Е. С. Моделирование детонационного сгорания углеродной пыли	8
КОЗЛОВ А. А., КОЗЛОВ А. В., ПОЛИЩУК В. П. Резонансная деформация в высокоскоростных метательных установках	10
ПАЛЬЧИКОВ Е. И. Портативные импульсные рентгеновские аппараты для регистрации быстротекущих процессов	11
СТАНКЕВИЧ С. В. Джоулев нагрев кумулятивной струи, формируемой при схлопывании конической металлической облицовки в магнитном поле	12
КРЫКИН М. Д., ПАТРИКЕЕВ Д. И., ТЕРЕНТЬЕВ А. Г., АВАТИНЯН Г. А. Электрические явления в энергонасыщенном веществе при ударном нагружении	13
СИНЯЕВ С. В., ХРИСТЕНКО Ю. Ф., ЯЩУК А. А. Индукционный датчик скорости для высокоскоростных метательных установок и области его применения	15
МАТРОСОВ А. Д., ШВЕЦОВ Г. А., АНИСИМОВ А. Г., ГИЛЕВ С. Д. Экспериментальное исследование влияния магнитного поля на работу кумулятивного заряда (обзор)	16
ГИЛЕВ С. Д. Швецов Геннадий Анатольевич. Очерк жизни и научной деятельности	17
ГИЛЕВ С. Д., ПРОКОПЬЕВ В. С. Метод переворота магнитного потока в задачах магнитной кумуляции	18
КОЗЛОВ В. В. Режимы горения водородных микроструй	19
КУЗАВОВ В. Т. Новая модель эрозионного разрушения и образования микротрещин	20
СТРЕЛКОВ И. С., БОРИСКОВ Г. В., БЫКОВ А. И., ЕГОРОВ Н. И., КОРШУНОВ А. С., МАКАРОВ И. В., ПАВЛОВ В. Н., РЕПИН П. Б., СЕЛЕМИР В. Д., СУРДИН О. М., АГАПОВ А. А., БЕЛЯЕВА Н. А., БЕЛОВ С. И. Исследование изотропической сжимаемости и электрической проводимости твёрдой фазы двуокиси углерода в области мегабарных давлений	21
СТРЕЛКОВ И. С., БОРИСКОВ Г. В., БЫКОВ А. И., ЕГОРОВ Н. И., ПАВЛОВ В. Н., БЕЛОВ С. И. Исследование кривой «холодного» сжатия изотопов водорода в области высоких и сверхвысоких давлений	22
СУРДИН О. М., БОРИСКОВ Г. В., БЫКОВ А. И., ЕГОРОВ Н. И., КОРШУНОВ А. С., МАКАРОВ И. В., ПАВЛОВ В. Н., РЕПИН П. Б., СЕЛЕМИР В. Д., СТРЕЛКОВ И. С., БЕЛЯЕВА Н. А., БЕЛОВ С. И. Исследование изотропической сжимаемости сплава ВНМ-3-2 в области сверхвысоких давлений	23
ИБРАГИМОВ М. Ш., РЕПИН Б. Г., ОРЛОВ А. П., ПОКРОВСКИЙ Д. С., КОРНИЛОВ С. Ю. Исследование генерации рентгеновского излучения с энергией квантов больше 1 кэВ при запитке многопроволочных алюминиевых лайнеров импульсами тока микросекундной длительности	24
ГУРОВА Н. В., ВИДЕНЬКИН М. А., КЛИМАШОВ М. В., КЛИМОВ Е. Ю., КОРОЛЕВ П. В., ПИКАРЬ А. С., ТОЛШМЯКОВ Д. А. Взрывомагнитный мегаджоульный источник питания ускорителя макротел с внешним магнитным полем	25
ГУРОВА Н. В., ВИДЕНЬКИН М. А., КЛИМАШОВ М. В., КЛИМОВ Е. Ю., КОРОЛЕВ П. В., ПИКАРЬ А. С., СЕЛЕМИР В. Д., ТОЛШМЯКОВ Д. А. МГД ускорение твердых ударников до гиперзвуковых скоростей	26

СЕЛЕМИР В. Д., Вилков Ю. В. <i>Моделирование воздействия токового импульса молнии на элементы заземления с помощью магнитокумулятивных генераторов</i>	27
ТЕПАЕВ Д. А., ДЕМИДОВ В. А., АГАПОВ А. А., КАЗАКОВ С. А., ВЛАСОВ Ю. В., ВОЛОДЧЕНКОВ С. И., СЫЧЕВ А. А. <i>Спиральные взрывомагнитные генераторы как инструмент исследований в физике высоких плотностей энергии</i>	28
АГАПОВ А. А., ВЛАСОВ Ю. В., ГАЛАНОВА С. В., ДЕМИДОВ В. А., КАЗАКОВ С. А., СЫЧЕВ А. А., ТЕПАЕВ Д. А. <i>Устройство для исследования свойств материалов методом изоэнтропического сжатия с запиткой от дискового ВМГ</i>	29
ВОЛОДЧЕНКОВ С. И., БОРИСКИН А. С., АГАПОВ А. А., ДЕМИДОВ В. А., КАЗАКОВ С. А., ВЛАСОВ Ю. В., СЫЧЕВ А. А., ТАЦЕНКО О. М., ТЕПАЕВ Д. А. <i>Устройство для ускорения плоских пластин магнитным полем спирального взрывомагнитного генератора</i>	30
АГАПОВ А. А., РЕПИН П. Б., ИБРАГИМОВ М. Ш., РЕПИН Б. Г., ОРЛОВ А. П., МАРКЕВЦЕВ И. М., КОРНИЛОВ С. Ю., ПОКРОВСКИЙ Д. С., ПОКРОВСКИЙ В. С., ФИЛИППОВ А. В., БАРЫШНИКОВ М. Д. <i>Исследования возможности генерации К-линии алюминия в экспериментах с взрывомагнитным генератором</i>	31
ЕГОРОВ Н. И., БОРИСКОВ Г. В., БЫКОВ А. И., ПАВЛОВ В. Н., СТРЕЛКОВ И. С., СУРДИН О. М. <i>Рентгенографические измерения в экспериментах по построению уравнений состояния веществ</i>	32
ОРЛОВ А. П., РЕПИН П. Б., РЕПИН Б. Г., ИБРАГИМОВ М. Ш. <i>Исследования возможности генерации к-линии алюминия в экспериментах с взрывомагнитным генератором численный эксперимент по генерации плазменной струи с использованием конусной многопроволочной сборки</i>	33
АНИСИМОВ А. Г. <i>Магнитно-импульсная сварка плоских образцов</i>	34
ФЕДОРОВ С. В., БАБКИН А. В., ЛАДОВ С. В., ШВЕЦОВ Г. А., МАТРОСОВ А. Д. <i>О возможности увеличения пробития кумулятивного заряда при создании магнитного поля в его облицовке</i>	35
СОРОКИН И. В., БЕЛОУСОВА Н. С., ГЛОТОВ О. Г., СУРОДИН Г. С. <i>Влияние размера и морфологии частиц титана на характеристики его агломерации в составе смесевых топлив</i>	37
БЕЛОУСОВА Н. С., ГЛОТОВ О. Г., СУРОДИН Г. С. <i>Генерация наноразмерного диоксида титана при горении воздухе</i>	38
КОСТЫЛЕВ С. С. <i>С название?</i>	39
ПАРАСКУН А. Г. <i>Исследование и моделирование электродинамических процессов в векторно-инверсионных генераторах</i>	40
ХИЩЕНКО К. В. <i>Термодинамика материалов при высоких плотностях энергии</i>	41
БОЯРСКИХ К. А., ХИЩЕНКО К. В. <i>Уравнение состояния жидкого алюминия в экстремальных условиях при высокой концентрации энергии</i>	42
ЕМЕЛЬЯНОВ А. А., ПЛОТНИКОВ М. Ю., ТИМОШЕНКО Н. И., ЮДИН И. Б., УЛЬЯНИЦКИЙ В. Ю., БАТРАЕВ И. С. <i>Влияние обработки поверхности высокоэнергетичными частицами на износостойкость осаждаемого алмазного CVD – покрытия</i>	43
ШУРУПОВ А. В., ШУРУПОВ М. А., КОЗЛОВ А. В. <i>Применение взрывомагнитных генераторов для питания нелинейных плазменных нагрузок</i>	44
ПРУУЭЛ Э. Р., ТЕН К. А., РУБЦОВ И. А., СТУДЕННИКОВ А. А. <i>Использование синхротронного излучения для исследования быстротекающих процессов</i>	45
ВАГНЕР Т. Н., МИЛЕВСКИЙ К. Е. <i>Возможности противокумулятивной защиты бронированной техники с помощью электромагнитного воздействия</i>	46

Гуськов А. В., Цыбрий А. И. *Распределение материала облицовки кумулятивно-го заряда в струе и песке* 48

Авторский указатель **50**

Экспериментальное моделирование взаимодействия микропорошков с преградами с помощью рельсотрона

Ядренкин М. А., Фомичев В. П.

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск

Современные научно-технологические задачи, связанные с процессами ударного высокоскоростного взаимодействия твердых деформируемых тел, требуют развития экспериментальных и численных методов исследования поведения материалов в условиях высокоэнергетического импульсного нагружения. К таким задачам можно отнести исследования механических, прочностных характеристик новых материалов и покрытий, создаваемых для защиты различных объектов от механического воздействия. Например, для защиты элементов космических аппаратов от попадания космического мусора или пыли, а также при разработке методов модификации поверхности и создания покрытий с помощью высокоускоренных порошков. Стоит отметить, что на практике процесс ударного взаимодействия тела с преградой проявляется в комплексе различных физических явлений: значительные деформации и разрушения, теплофизические преобразования, изменения структурно-фазового состава вещества, сопутствующие газо- и гидродинамические эффекты. Это определяет явный приоритет экспериментальных данных в прикладном аспекте их использования.

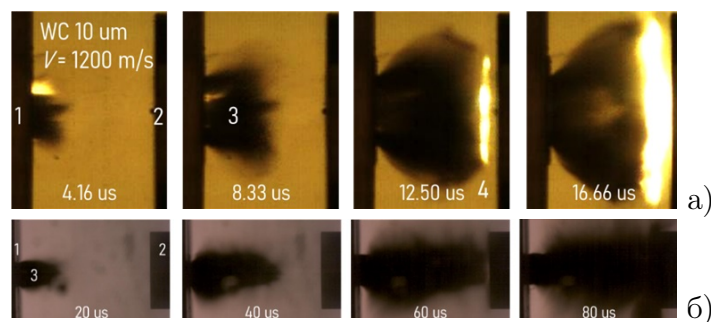


Рис. 1: Вылет микрочастиц карбида вольфрама с начальной скоростью около 1200 м/с при атмосферном давлении воздуха (а) и пониженном давлении около 0,001 атм (б): 1 – отсекатель, 2 – мишень, 3 – поток микрочастиц, 4 – свечение газа в области взаимодействия с микрочастицами

В настоящей работе рассмотрены методики разгона микропорошков в канале рельсового электродинамического ускорителя масс с плазменным поршнем для реализации экспериментальных исследований их высокоскоростного взаимодействия с преградами при различных давлениях окружающей среды. Показано существенное влияние газодинамических эффектов на характер ускорения порошковой смеси микрочастиц. Продемонстрирована возможность использования вакуумной камеры для проведения экспериментальных исследований импактного взаимодействия микрочастиц с преградами при низком давлении окружающего газа.

Использование рельсового ускорителя масс в задачах высокоскоростного взаимодействия тел с преградами

Фомичев В. П., Ядренкин М. А.

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск

Исследование процессов высокоскоростного соударения твердых деформируемых тел с преградами различной физической природы требует развития экспериментальных методов исследования, а также создания специальных экспериментальных установок и методик ускорения исследуемых объектов. К задачам ударного взаимодействия тел относятся такие, как создание и ударное испытание новых защитных материалов и покрытий, моделирование геологических процессов импактного происхождения (например, при попадании космических тел в поверхность планеты) и другие. Использование электродинамических ускорителей масс позволяет преодолеть основное ограничение скорости метания тел, связанное с величиной скорости звука газа в канале ускорения. Рельсовые ускорители масс (рельсотроны) позволяют осуществить ускорение тела массой в несколько грамм до скорости свыше 5000 м/с. Несмотря на низкий КПД (обычно около 10 %), данный метод позволяет ускорять тела различной геометрии до скорости в несколько километров в секунду в канале длиной порядка 1 м, что является значительным преимуществом по сравнению с характеристиками других типов ускорителей. Вариативность используемых схем метания объектов с помощью рельсотрона позволяет решать широкий спектр фундаментальных и прикладных задач.

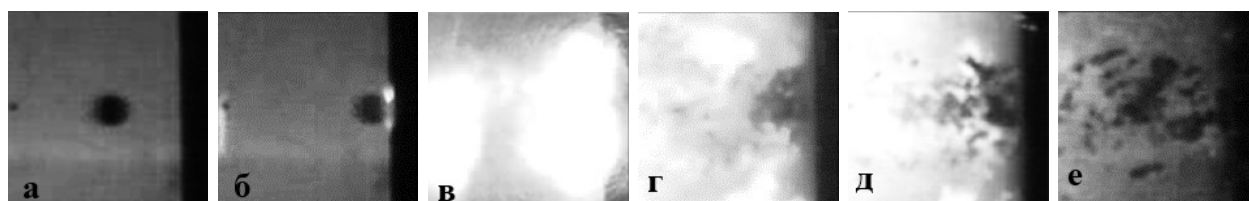


Рис. 1: Испытание металлокерамического покрытия при начальной скорости стального ударника 1165 м/с через 3 мкс (в), 60 мкс (г), 97 мкс (д) и 263 мкс (е) после начала взаимодействия (б).

В настоящей работе рассмотрены способы разгона тел микро- и макроразмеров в канале рельсового электродинамического ускорителя для осуществления экспериментальных исследований их высокоскоростного взаимодействия с преградами в широком диапазоне давлений окружающего газа (от 10^2 до 10^5 Па). В работе представлено описание методик разгона тел микро и макромасштаба внутри диэлектрического контейнера, ускоряемого в канале рельсотрона с плазменным поршнем, и характерные примеры их реализации на практике.

Моделирование детонационного сгорания углеродной пыли

Прохоров Е. С.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Предложена математическая модель детонационного сгорания взвеси углеродной пыли в окислителе (кислороде или воздухе), которая сформулирована в рамках унифицированного подхода, разработанного для описания равновесных течений реагирующих газов [1]. Модель позволяет рассчитать параметры самоподдерживающейся детонации при варьировании в широких пределах отношение λ массы углеродной пыли к массе кислорода сосредоточенного в окислителе. Актуальность постановки такой задачи связана с возможностью оценки последствий аварийных взрывов в шахтах угольной пыли, в основном состоящей из углерода. Кроме того, в связи с производством углеродных наночастиц в промышленных масштабах возникает потребность в исследованиях их потенциальной взрывоопасности в окислительной атмосфере. Наибольшую угрозу представляют взрывы, приводящие к формированию детонационных волн. Поэтому информация о скорости детонационного фронта, давлении, динамическом напоре и температуре продуктов детонации является востребованной.

Численное исследование показало, что расчеты достаточно хорошо коррелируют (рис. 1) с имеющимися экспериментальными данными для скорости детонации взвеси мелкодисперсных угольных частиц.

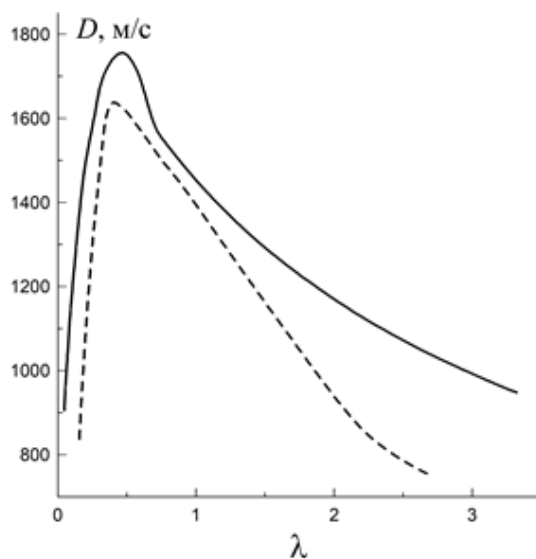


Рис. 1: Влияние параметра λ на скорость фронта детонационной волны D в газозвеси (углеродная пыль + воздух). Пунктирная линия – кривая, аппроксимирующая в [2] экспериментальные данные для скорости детонации во взвеси частиц угля в смеси кислорода и азота, близкой по составу к воздуху.

Определены концентрации углеродной пыли в смесях с кислородом и воздухом, при которых реализуются максимальные значения основных характеристик самоподдерживающейся детонации Чепмена – Жуге. Оказалось, что у продуктов детонации давление и динамический напор могут быть существенно выше, чем ранее предсказывалось при традиционных подходах к моделированию детонационного сгорания. Поэтому этот факт нужно учитывать при прогнозировании последствий несанкционированных аварийных взрывов углеродной (или угольной) пыли.

Список литературы

1. *Прохоров Е. С.* Унифицированный подход к моделированию равновесных течений детонирующих газов // ИФЖ. – 2023. – Т. 96. №. 3. – С. 671–681. DOI 10.1007/s10891-023-02728-7
2. *Эдвардс Д., Фёрнлей Р., Неттлетон М.* Исследование детонации взвесей угольной пыли в смесях кислорода с азотом в ударной трубе // ФГВ. – 1987. – Т. 23. №. 2. – С. 129–136.

Резонансная деформация в высокоскоростных метательных установках

Козлов А. А., Козлов А. В., Полищук В. П.

Объединённый институт высоких температур РАН, Москва

При высокой скорости движения фронта давления по замкнутой оболочке в ней могут возникать резонансные явления, увеличивающие её деформацию по сравнению с воздействием от статической нагрузки. Такие же явления имеют место при движении фронта давления по брусу, лежащим на упругом основании. Обсуждаются литературные данные о возникновении резонансной деформации канала (РДК) в высокоскоростных метательных установках, рассматриваются модели, описывающие развитие РДК. Вследствие РДК на его поверхности появляются динамические неоднородности, с которыми сталкивается метаемое тело. В электродинамических ускорителях эти столкновения могут приводить к ограничению скорости метания и (или) к быстрому исчерпанию ресурса канала.

Портативные импульсные рентгеновские аппараты для регистрации быстропротекающих процессов

Пальчиков Е. И.

*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Среди разнообразных методов исследования движения материала и его распределения в пространстве видное место принадлежит рентгеновской методике. В ряде случаев она оказывается практически единственной, позволяющей получить достоверную информацию об исследуемом объекте. Создание и выпуск образцов новой и специальной техники требует развития новых направлений научного приборостроения и новых методов контроля процессов и изделий.

Для регистрации взрывных и однократных быстропротекающих процессов применяются импульсные рентгеновские аппараты, генерирующие мощные короткие вспышки рентгеновского излучения. Под мощным и коротким подразумевается импульс, который на дистанции ~ 1 м от источника за время менее $\sim 10 - 7$ сек может создать экспозиционную дозу, достаточную для получения рентгенограммы на обычной рентгеновской плёнке, люминофоре с памятью ImagePlate или твердотельном матричном детекторе. В работе рассматриваются различные принципы построения портативных импульсных рентгеновских аппаратов и установок для регистрации однократных быстропротекающих и взрывных процессов в непрозрачных средах. Описывается история развития аппаратуры, производившейся за рубежом и в нашей стране. Анализируются конструкции портативных импульсных рентгеновских аппаратов и установок, построенных на различных принципах. Приводятся характеристики аппаратов. Обсуждаются достоинства и недостатки различных конструктивных и схемотехнических решений аппаратов.

Портативными считаются устройства, которые выдают одиночную вспышку рентгеновского излучения по внешнему сигналу синхронизации с изучаемым процессом, с дозой и длительностью, достаточной для получения качественного снимка процесса за одну вспышку на безопасном расстоянии, и которые не являются стационарными установками. То есть их можно перемещать или переносить на место проведения эксперимента и использовать в любой лаборатории, на промышленной площадке, баллистической трассе и полигоне.

В работе рассмотрены различные методики динамической рентгеновской регистрации и производится их сравнение. Приводятся примеры применений для экспериментов по исследованию кавитации, взрыва зарядов, кумулятивных струй, впрыска топлива, ударных волн, баллистических объектов. Применение данных методик позволяет извлечь информацию об объектах и явлениях, недоступную при регистрации другими способами.

Джоулев нагрев кумулятивной струи, формируемой при схлопывании конической металлической облицовки в магнитном поле

Станкевич С. В.

*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск*

Представлены результаты численного моделирования кумуляции магнитного поля и джоулева нагрева кумулятивных струй, возникающих при взрывном обжатии металлического конуса с предварительно созданным в нем магнитным полем. Задача рассматривалась в осесимметричной двумерной нестационарной постановке. В отличие от известных работ, учитывалась конечная электропроводность материала конуса. Проведено исследование влияния различных способов создания начального магнитного поля в конусе с помощью одного или двух соленоидов, а также постоянных магнитов на кумулятивную струю. Установлено, что величина магнитного поля в процессе сжатия конуса может увеличиваться в сотни раз. При относительно небольшой интенсивности начального магнитного поля на оси конуса ($\sim 0,09 - 0,16$ Т) увеличение температуры области вблизи оси кумулятивной струи вследствие нагрева индукционными токами может составлять $200 - 300$ °С. Используя различные способы создания начального магнитного потока, можно управлять распределением температуры кумулятивной струи по ее длине. Управляемый нагрев струи может приводить к термическому разупрочнению материала струи, увеличению ее предельного удлинения и улучшению пробивной способности.

Электрические явления в энергонасыщенном веществе при ударном нагружении

Крыжин М. Д., Патрикеев Д. И., Терентьев А. Г., Аватиньян Г. А.

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва

Данные открытых источников о причинах инициирования взрывного превращения энергонасыщенных веществ (ЭВ) в результате воздействия ударного нагружения отрывочны и противоречивы. Наиболее распространённым объяснением стала теория «горячих» точек, согласно которой взрывчатое превращение происходит при адиабатическом сжатии пузырьков газа или жидкости, сопровождающемся локальным разогревом до высоких температур [1]. Альтернативным взглядом на природу возникновения локального очага можно назвать электрической пробой в результате проявления пьезоэлектрических свойств кристаллов вещества [2].

Цель работы – создать методику обнаружения и изучения пьезоэлектрических свойств монокристаллов, поликристаллов, плёнок или навесок ЭВ.

Для этого сконструирована установка, представленная на рисунке 1.

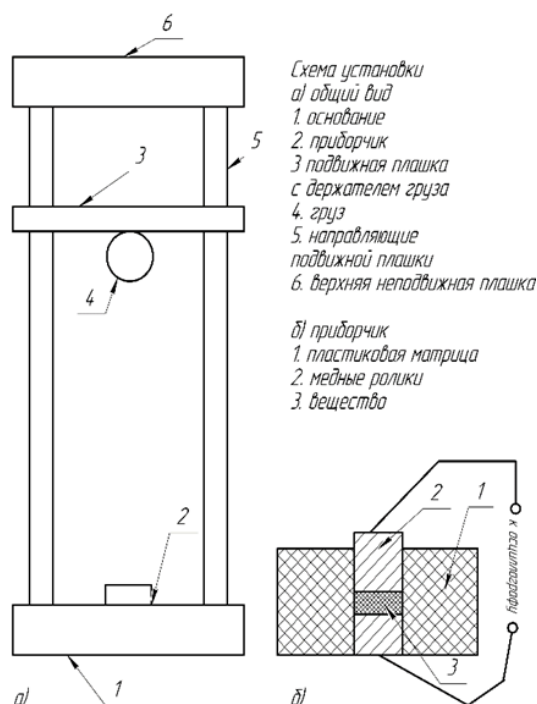


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Методология проведения эксперимента базируется на ГОСТ 4545-88 [4], но с видоизмененным приборчиком, системой сброса груза и самим грузом. Внесенные корректировки отвечают требованиям безопасности при работе с ЭВ.

В ходе работы изучены образцы пьезоэлектрической керамики цирконат-титаната свинца, кварцевого датчика удара, а также пленок нитроцеллюлозы, поликристаллов гуанидин нитрата и навесок триаминогуанидин нитрата.

Список литературы

1. Афанасьев Г. Т., Боболев В. К. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом. М.: Наука, – 1967.

2. *Борисёнок В. А., Бельский В. М.* О механизме образования горячих точек в конденсированных взрывчатых веществах// *Химическая физика*. – 2008. – Т. 27. №. 4. – С. 46–53.
3. *Панич А. А., Мараховский М. А., Мотин Д. В.* Кристаллические и керамические пьезоэлектрики// *Инженерный вестник Дона*. – 2011. – Т. 15. – №. 1. – С. 53–64.
4. ГОСТ 4545-88. Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару. М.: – 1988, с изменениями от 25.05.98 г., 17 с.

Индукционный датчик скорости для высокоскоростных метательных установок и области его применения

Синяев С. В.¹, Христенко Ю. Ф.², Яцук А. А.²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

²Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики ТГУ, Томск

К настоящему времени разработано и внедрено несколько модификаций индукционных датчиков скорости метания твердых тел в интервале $10 - 10^4$ м/с. Их основными элементами являются электромагнитные измерительные рамки (ЭМИР), работающие на эффекте деформации магнитного барьера метаемым телом. Магнитный барьер создается в измерительном сечении канала разомкнутым магнитопроводом с приложенной магнитодвижущей силой, а для внутриканального варианта ЭМИР дополнительно применяется защитно-формирующая насадка из прочного немагнитного сплава с высоким удельным сопротивлением. Деформация магнитного барьера электропроводным метаемым телом приводит к изменению магнитного потока в цепи ЭМИР и генерации индуцированного электрического напряжения на измерительных катушках, охватывающих стенки магнитопровода. В результате при пролете тела рамка генерирует сигнал: $S(t) = -N \cdot \dot{\Phi}$, где N – число витков в измерительной катушке, $\dot{\Phi}$ – скорость изменения магнитного потока, t – время.

Экспериментальная проверка работоспособности датчиков проводилась в диапазоне скоростей $50 - 8200$ м/с при метании тел с поперечным размером от 2 до 34 мм при поперечных измерительных зазорах датчиков от 8 до 80 мм. Характерный уровень сигналов находился в интервале от 1 до 30 вольт, что на 1 – 2 порядка выше максимального уровня электрических помех, включая эксперименты на установках с электроимпульсными блоками. Это позволило реализовать достаточно простую схему контроллера для оперативного определения скорости метаемого тела.

Реализованы следующие модификации датчиков на основе ЭМИР: 1) внутри-канальный; 2) в виде надульной насадки; 3) внешне-траекторный; 4) универсальный (перенастраиваемый) датчик скорости для стрелкового оружия. Помимо определения средней скорости на измерительной базе датчика все модификации могут быть использованы для запуска измерительной и регистрирующей аппаратуры, а первые три – в устройствах синхронизации процесса метания тела в многоступенчатых установках с различными способами его подгона.

Форма и амплитуда сигналов зависят от многих параметров: от формы, размеров, скорости и материала метаемого тела, а также от геометрических и электротехнических характеристик самой измерительной рамки. В связи с этим были разработаны несколько математических моделей работы ЭМИР, в том числе с учетом 3D-взаимодействия электропроводного немагнитного тела с магнитным барьером в измерительном сечении канала. С их помощью проведены параметрические исследования влияния перечисленных выше параметров на сигналы ЭМИР, выделены четыре алгоритма оперативной обработки сигналов контроллерами, обеспечивающими запуск аппаратуры и своевременное включение дополнительных ступеней подгона метаемого тела. Предложено проводить расчет процесса ускорения совместно с работой ЭМИР и контроллера для определения поправочного коэффициента для уточнения момента включения дополнительной ступени подгона в эксперименте. Приведен пример работы контроллера, обеспечивающего включение электродинамической ступени подгона тела специальной формы, начальное ускорение которого осуществляется с помощью двухступенчатой легкогазовой установки.

Экспериментальное исследование влияния магнитного поля на работу кумулятивного заряда (обзор)

Матросов А. Д., Швецов Г. А., Анисимов А. Г., Гилев С. Д.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

В обзоре представлены результаты экспериментального исследования влияния внешнего магнитного поля на работу кумулятивного заряда. Эксперименты выполнены на протяжении последних 20 лет в лаборатории физики высоких плотностей энергии Института гидродинамики под руководством Швецова Г. А. В экспериментах с кумулятивным зарядом использовались различные по величине магнитные поля, которые создавались в области кумулятивного конуса. Для анализа выделено две области магнитных полей – большие и средние поля. Для больших магнитных полей (магнитная индукция на оси системы от 0.84 до 2.4 Тл) наблюдалось полное отсутствие пробития преграды. В области средних полей (магнитная индукция от 17 до 65 мТл) зарегистрировано заметное (несколько десятков процентов) уменьшение глубины пробития по сравнению со случаем отсутствия поля. Полученные экспериментальные результаты показывают, что магнитное поле значительно влияет на параметры образующейся кумулятивной струи и характеристики пробития мишени. В области больших магнитных полей происходит полное разрушение кумулятивной струи и пробитие отсутствует. В области средних магнитных полей пробивное действие струи лишь ослаблено, что свидетельствует о начальном этапе деструкции струи.

Швецов Геннадий Анатольевич. Очерк жизни и научной деятельности

Гилев С. Д.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Швецов Геннадий Анатольевич связал свою научную судьбу с Институтом гидродинамики в 1966 году и проработал в Институте 56 лет. В настоящем мемориальном докладе кратко рассказывается о жизни и научной деятельности Швецова Г. А. на протяжении этого времени. Выделены основные научные направления, которыми занимался Швецов Г. А., главные результаты, достижения и научные идеи.

Метод переворота магнитного потока в задачах магнитной кумуляции

Гилев С. Д., Прокопьев В. С.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Обсуждается метод генерации электромагнитной энергии и магнитного потока в магнитокумулятивном генераторе, основанный на динамическом изменении коэффициента связи двух контуров. Используются две пары индуктивно связанных катушек, одна из них имеет встречное включение. В процессе работы генератора величина потока взаимной индукции во вторичном контуре изменяет знак, поэтому можно говорить о перевороте магнитного потока, обусловленном взаимной индукцией между контурами. Изменение знака индукционной части потока во вторичном контуре приводит к росту полного потока, а значит к увеличению тока и энергии в нагрузке. Проведено сравнение данной схемы с известными схемами генерации магнитной энергии с использованием явления магнитной кумуляции (классический магнитокумулятивный генератор, генератор с трансформаторной связью, генератор с динамическим трансформатором). Показана возможность получения больших значений магнитной энергии с использованием данного метода. Предлагаемая схема оказывается более эффективной, чем известная трансформаторная схема. Проведены эксперименты по генерации электромагнитной энергии, показавшие работоспособность настоящего метода. Обсуждается применимость для описания процесса магнитной кумуляции простой электротехнической схемы, в которой пренебрегается конечным электросопротивлением проводников.

Режимы горения водородных микроструй

Козлов В. В.

*Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск*

Введение. Альтернативные технологии производства энергии из возобновляемых источников в течение последних десятилетий находили различные применения, и все ещё находятся в стадии разработки. Одной из таких технологий является водородная энергетика, которая подразумевает сжигание водорода, получаемого из воды, а водные ресурсы на Земле практически неограниченны. Продуктом реакции снова является вода, которая является экологически чистый продукт. Поэтому представляет интерес изучение горения водородных струйных потоков, формируемых различными горелками и соплами

Результаты экспериментов.

1. Структура пламени в случае диффузионного горения водородных микроструй. Течение струи водорода и его диффузионное горение исследовались с использованием сопел различной формы: круглых и щелевых. В обоих случаях наблюдалась специфическая особенность структуры потока и горения, так называемое «бутылочное горло».
2. Влияние ориентации струи в поле тяжести на ее диффузионное горение. Помимо геометрических характеристик микросопла, профиля скорости струи на выходе из сопла и расхода водорода, характер горения зависит от некоторых других условий, в частности, от ориентации струи в поле тяжести. В настоящих экспериментах мы изучили три варианта распространения струи: вдоль направления вектора силы тяжести, противоположного ему, и в нормальном направлении.
3. Зависимость диффузионного горения микроструй водорода от способа зажигания струи. В дополнение к условиям, рассмотренным выше, микро струйное горение водорода зависит от условия воспламенения струи: вблизи выхода из сопла или вдали от него. Исследовалось диффузионное горение микроструй в этих двух случаях. В случае с воспламенением вблизи сопла образуется описанная выше структура потока с областью «бутылочное горло» вблизи выхода из сопла; процесс горения остается стабильным в широком диапазоне скоростей потока водорода, и область «бутылочное горло» сохраняется до достижения околосвуковых скоростей истечения струи. Во втором случае (воспламенение вдали от сопла) эта область не образуется, и наблюдается «приподнятое» пламя, не соприкасающееся с соплом. В этом случае происходит переход к устойчивому горению со сверхзвуковым истечением струи.
4. Сжигание смесей водорода с другими газами. В ходе экспериментов было изучено влияние газовых добавок (метана, гелия, азота и кислорода), добавляемых к водородной микроструе, на ее структуру и горение. Определенный газ смешивался в различных пропорциях с водородом на входе в струйную установку. Данные были получены для потоков с осесимметричным параболическим профилем скорости на выходе из сопла.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-19-00151 (<https://rscf.ru/project/22-19-00151/>)).

Новая модель эрозионного разрушения и образования микротрещин

Кузавов В. Т.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Представлена новая (экспериментальная) модель кавитационного разрушения исследуемых материалов. В современной модели разрушения материалов связаны с воздействием кумулятивных струй, образующихся при несимметричном захлопывании кавитационных пузырьков вблизи твердой поверхности и ударных волн, возникающих при их сжатии. В новой модели эрозионное разрушение объясняется образованием в исследуемых материалах новых структур, имеющих спиральную высокочастотную структуру, рис. 1. Разрушение материалов связано с фокусировкой акустической энергии вдоль оси спиральных структур. При фокусировке энергии происходит значительное увеличение давления и температуры вдоль оси спиральных структур, что и приводит к разрушению исследуемых материалов

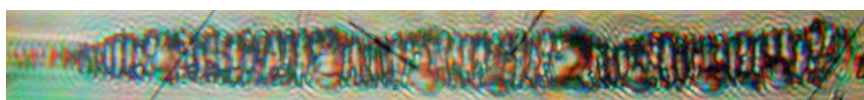


Рис. 1:

Эксперименты проводились в стандартной постановке вибрационной эрозии. На дне сосуда с водой устанавливался исследуемый материал (оргстекло, сталь 3, медь, дюралюминий и др.). На определенном расстоянии от него находился вибратор, колеблющийся с частотой 22 кГц. Перед проведением экспериментов поверхность выбранных материалов тщательно подготавливалась. При направленном воздействии физического поля (электрического, механического, теплового, акустического и др.) в исследуемых материалах вблизи свободной поверхности образуются спиральные, прямолинейные и другие структуры, [1]. При фокусировке акустической энергии вдоль оси спирали образуются зоны с повышенным давлением и температурой. Поэтому разрушение исследуемых материалов начинается не со свободной поверхности, как это утверждает современная модель кавитационного разрушения, а под свободной поверхностью, вдоль оси спиральных структур. На рисунках 2 и 3 представлены микротрещины в оргстекле, образующиеся на оси спиральных структур. Таким образом, спиральные структуры являются источниками образования микротрещин в исследуемых материалах.

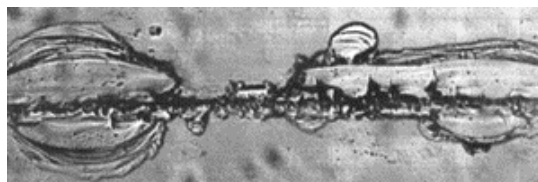


Рис. 2:

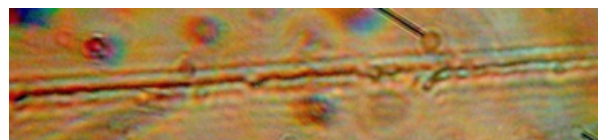


Рис. 3:

Список литературы

1. *Потапов А. А.* Деформационная поляризация. Новосибирск.: Наука, – 2004.
2. *Кузавов В. Т.* 1. Новая модель эрозионного разрушения// ДАН. – 2019. – Т. 489. №. 6. – С. 581–584.

Исследование изоэнтропической сжимаемости и электрической проводимости твёрдой фазы двуокиси углерода в области мегабарных давлений

Стрелков И. С., Борисков Г. В., Быков А. И., Егоров Н. И., Коршунов А. С., Макаров И. В., Павлов В. Н., Ретин П. Б., Селемир В. Д., Сурдин О. М., Агапов А. А., Беляева Н. А., Белов С. И.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Приведена постановка и результаты экспериментов по изоэнтропическому сжатию твёрдой двуокиси углерода до мегабарных давлений в устройстве на основе магнитокумулятивного генератора. Начальное состояние сжимаемых образцов соответствовало атмосферному давлению и температуре близкой к 150 К. В исследуемых образцах зафиксировано возникновение электрической проводимости, в них также определены плотность и давление в различные моменты процесса сжатия.

Исследование кривой «холодного» сжатия изотопов водорода в области высоких и сверхвысоких давлений

Стрелков И. С., Борисков Г. В., Быков А. И., Егоров Н. И., Павлов В. Н., Белов С. И.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Изложены постановка, данные и анализ результатов экспериментов по изоэнтропическому сжатию в устройстве на основе магнитокумулятивного генератора «лёгких» изотопов водорода в начальном (при $P_0 \approx 1$ бар) конденсированном состоянии до высоких и сверхвысоких (> 1 Мбар) давлений. Приведены точки на «холодной» изоэнтропе ($T_0 = 5 \div 13$ К) для твёрдого протия и твёрдого дейтерия. Аппроксимирующие эти точки кривые сопоставляются с результатами, достигнутыми с использованием других динамических устройств и в статических экспериментах, а также с результатами различных первопринципных расчётов.

Исследование изоэнтропической сжимаемости сплава ВМ-3-2 в области сверхвысоких давлений

Сурдин О. М., Борисков Г. В., Быков А. И., Егоров Н. И., Коршунов А. С., Макаров И. В., Павлов В. Н., Репин П. Б., Селемир В. Д., Стрелков И. С., Беляева Н. А., Белов С. И.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Проведена серия опытов по изоэнтропическому сжатию сплава ВМ-3-2 из начального состояния, соответствующего нормальным условиям, до сверхвысоких давлений. Получены пять дополнительных точек на диаграмме «сжатие-давление». Их положения согласуются с ранее построенной полуфеноменологической изоэнтропой. Накопленная по результатам проведённых опытов информация позволяет достаточно надёжно строить уравнение состояния твёрдотельной фазы исследуемого сплава в широком диапазоне температур и давлений.

Исследование генерации рентгеновского излучения с энергией квантов больше 1 кэВ при запитке многопроволочных алюминиевых лайнеров импульсами тока микросекундной длительности

Ибрагимов М. Ш., Репин Б. Г., Орлов А. П., Покровский Д. С., Корнилов С. Ю.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Приводятся результаты серии экспериментов по запитке планарных алюминиевых лайнеров импульсом тока ≈ 2 МА с временем нарастания $\approx 1,1$ мкс. Для изготовления лайнеров использовалась алюминиевая микропроволока диаметром 17,8 и 20,8 мкм. В экспериментах варьировались количество проволочек (погонная масса лайнера) при неизменных высоте и ширине плоскости лайнера. В качестве контрольного использовался планарный лайнер из вольфрамовых микропроволок. Для регистрации параметров генерируемых импульсов рентгеновского излучения применялись датчики ВРД и болометры с фильтрами из различных материалов. В экспериментах с алюминиевыми микропроводами зарегистрированы мощные импульсы рентгеновского излучения с энергией квантов выше 1 кэВ (максимальная энергия, измеренная болометром за лавсановым фильтром, составляет 2 кДж/см), что свидетельствует о присутствии в результирующем спектре излучения К-линии алюминия.

Взрывомагнитный мегаджоульный источник питания ускорителя макротел с внешним магнитным полем

*Гурова Н. В., Виденькин М. А., Климашов М. В., Климов Е. Ю., Королев П. В.,
Пикарь А. С., Толшмяков Д. А.*

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

В докладе представлены результаты экспериментального исследования возможности создания взрывомагнитного источника электрической энергии с мегаджоульным энергозапасом и длительностью импульса на уровне нескольких сотен микросекунд.

Источник состоит из высокоиндуктивного спирального генератора ВМГ-240 и коаксиального преобразователя энергии, соединенные последовательно плоскими токопроводящими шинами с макетом коаксиального электромагнитного ускорителя макротел. Спиральный генератор создает ток на уровне 7,5 МА, а коаксиальный взрывомагнитный генератор усиливает этот ток до 14 МА. Данная схема позволяет создавать токи требуемой амплитуды и согласовать время запитки ускорителя со временем его работы 200 мкс.

МГД ускорение твердых ударников до гиперзвуковых скоростей

*Гурова Н. В., Виденькин М. А., Климашов М. В., Климов Е. Ю., Королев П. В.,
Пикарь А. С., Селемир В. Д. Толшмяков Д. А.*

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

В докладе рассмотрены методы магнитогидродинамического (МГД) ускорения макротел до гиперзвуковых скоростей. Рассмотрены две принципиальные схемы: коаксиальный ускоритель с внешним магнитным полем и ускоритель Гаусса с бегущим магнитным полем.

В коаксиальном ускорителе используется внешнее азимутальное магнитное поле амплитудой 17 Тл. Показано, что данная конструкция ускорителя, при одинаковых с классическим рельсотроном скоростях ускоряемого тела, имеет на порядок меньшие габаритные размеры. Вторая схема ускорения основана на увлечении проводящего поршня магнитным полем за счет разности скорости поршня и фазовой скорости поля. Представлены аналитические оценки и результаты численных расчетов предложенной конструкции ускорителя калибром 25 мм. Показано, что и в этом случае ускоряющая сила Лоренца на порядок больше по сравнению с классическим ускорителем.

Моделирование воздействия токового импульса молнии на элементы заземления с помощью магнитокумулятивных генераторов

Селемир В. Д., Вилков Ю. В.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Оснащенность современных промышленных объектов сложной радиоэлектронной аппаратурой, используемой в системах связи, контроля и управления различными процессами, повышает актуальность проблемы молниезащиты. Для решения этой задачи широко применяется заземление жилых и промышленных объектов. Однако большое разнообразие защищаемых объектов и условий эксплуатации заземлителей, а также широкий диапазон возможных величин токов молнии не позволяют однозначно определить зависимость сопротивления защитного заземления от величины тока молнии и, соответственно, величину электрического потенциала, попадающего на защищаемый объект.

Экспериментальные исследования по изучению характера поведения активного сопротивления заземлителя при воздействии токовых импульсов отрицательной и положительной полярности проводились многочисленными авторами. Однако амплитуды импульсов тока, создаваемых экспериментальными установками на реальных заземлителях, не превышали 10 – 20 кА [1]. Для более глубокого понимания процессов, происходящих в грунте, при протекании по заземлителю токовых импульсов молнии, а также для получения более надежных результатов по защищенности объектов необходимы установки, позволяющие существенно увеличить амплитуду создаваемого в заземлителе импульса тока.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ на основе магнитокумулятивных генераторов (МКГ) были предложены и созданы источники энергии [2–5], позволяющие моделировать воздействие токовых импульсов молний с положительной и отрицательной полярностями. Это дает возможность проводить исследования поведения активного сопротивления заземлителей при максимально возможных амплитудах импульса тока молнии. В докладе представлены некоторые результаты этих работ.

Список литературы

1. *Рябкова Е. Я.* Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, – 1978.
2. *Борискин А. С., Гусев Н. И., Золотов В. А. и др.* Транспортабельные имитаторы молнии на основе магнитокумулятивных генераторов // Электричество. – 1995. – №. 10. – С. 29–32.
3. *Вилков Ю. В., Золотов В. А., Кравченко А. С., Селемир В. Д., Юрьжесев А. С.* Формирование мощных импульсов тока на высокоомной нагрузке для моделирования молнии // Электричество. – 2004. – №. 8. – С. 2–6.
4. *Вилков Ю. В., Кравченко А. С., Селемир В. Д., Терехин В. А.* Моделирование воздействия токового импульса молнии с помощью источников энергии на основе магнитокумулятивных генераторов // ПТЭ. – 2011. – №. 3. – С. 88–97.
5. *Вилков Ю. В., Кравченко А. С., Саитжулов М. М., Селемир В. Д., Тютяев А. А.* Магнитокумулятивный источник энергии для воспроизведения токового импульса молнии на разветвленной системе защитного заземления // ПТЭ. – 2012. – №. 5. – С. 73–78.

Спиральные взрывомагнитные генераторы как инструмент исследований в физике высоких плотностей энергии

Теплов Д. А., Демидов В. А., Агапов А. А., Казаков С. А., Власов Ю. В., Володченко С. И., Сычев А. А.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Для исследований в области физики высоких плотностей энергии требуются мегаамперные импульсы тока с микросекундным временем нарастания. Такие импульсы тока необходимо формировать, например, в лайнерных системах, плазменных камерах или для ускорения металлических пластин с целью исследования свойств веществ. В качестве источника энергии для формирования импульсов тока могут использоваться либо конденсаторные батареи, либо взрывомагнитные генераторы (ВМГ). Конденсаторные установки с энергозапасом в несколько мегаджоулей для получения требуемых импульсов тока чрезвычайно громоздки, сложны и дороги.

Спиральные взрывомагнитные генераторы, благодаря компактности, автономности и мобильности, привлекательны для различных практических применений. Они существенно превосходят ёмкостные накопители энергии по удельной энергоёмкости. В настоящее время разработанные в РФЯЦ ВНИИЭФ спиральные ВМГ обеспечивают усиление энергии в сотни раз и создают ток до десятков мегаампер при энергии в импульсе более десяти мегаджоулей. Они являются наиболее часто используемыми на практике взрывными генераторами. Имея существенно большую индуктивность по сравнению с другими типами ВМГ и высокую скорость её изменения, спиральные генераторы могут эффективно работать на нагрузки с высоким импедансом.

В докладе представлены основные характеристики разработанных спиральных взрывомагнитных генераторов, приведено описание их работы и показано их применение в современных физических экспериментах по исследованию свойств веществ.

Устройство для исследования свойств материалов методом изоэнтропического сжатия с запиткой от дискового ВМГ

Агапов А. А., Власов Ю. В., Галанова С. В., Демидов В. А., Казаков С. А., Сычев А. А., Тепаев Д. А.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

В [1] представлены данные по сжатию двухслойного цилиндрического лайнера магнитным полем импульса тока установки Z. Ток протекал по внешнему слою лайнера. Давление в исследуемых образцах, которые являлись внутренним слоем лайнера, составляло ~ 10 Мбар.

В докладе приводятся результаты первого эксперимента по магнитному ускорению двухслойного цилиндрического лайнера (внешний слой из алюминия, внутренний слой – исследуемый образец из меди) импульсом взрывного формирователя тока. Формирователь тока состоял из трехэлементного дискового взрывомагнитного генератора с зарядами взрывчатого вещества диаметром 240 мм (ДВМГ240) и взрывного размыкателя тока (ВРТ), работающего от зарядов взрывчатого вещества дискового взрывомагнитного генератора.

В эксперименте опробован способ измерения скорости движения внутренней границы образца во взрывной электрофизической установке. Измерения скорости проводились с помощью четырехканальной схемы. Наружный диаметр диагностического канала составлял 5 мм. Образец имел внутренний диаметр 7,6 мм. Зарегистрированная скорость его внутренней границы на диаметре 6,5 мм составила 1,2 км/с. Расчет при условиях, реализованных в опыте, показал, что давление в образце к моменту его соударения с диагностическим каналом составляет $\sim 0,2$ Мбар.

Показано, что при использовании пятиэлементного ДВМГ240 с ВРТ для магнитного ускорения лайнера с такими же параметрами, как в проведенном эксперименте, давление в исследуемом образце при его сжатии до диаметра 0,7 мм, равного внешнему диаметру диагностического канала в [1], составит ~ 2 Мбар.

Список литературы

1. *Lemke R. W., Dolan D. H., Dalton D. G., et al. Probing off-Hugoniot states in Ta, Cu, and Al to 1000 GPa compression with magnetically driven liner implosions// Journal of Applied Physics. – 2016. – V. 199. 015904.*

Устройство для ускорения плоских пластин магнитным полем спирального взрывомагнитного генератора

*Володченко С. И., Борискин А. С., Агапов А. А., Демидов В. А., Казаков С. А.,
Власов Ю. В., Сычев А. А., Таценко О. М., Тепаев Д. А.*

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Традиционно исследования состояния вещества при высокой плотности энергии проводятся с применением мощных ударно-волновых генераторов или мощных лазеров.

Экспериментальное моделирование процессов, происходящих в условиях высокой плотности энергии, дает необходимые данные для верификации и тестирования физико-математических моделей и программ, используемых в расчётах. Для получения таких данных в [1] предложено применять нагружающие устройства, принцип действия которых основан на ударе по мишеням, изготовленным из исследуемого материала, пластинами, ускоряющимися под действием магнитного поля, создаваемого стационарным емкостным накопителем.

В докладе представлены нагружающие устройства на основе взрывомагнитного генератора (ВМГ). Приведены результаты серии экспериментов по ускорению плоских пластин площадью 25 см^2 и массой $\sim 70 \text{ г}$ под действием магнитного поля токового импульса ВМГ со спиралью диаметром 200 мм (ВМГ-200) [2].

Экспериментально показано, что ускорение таких пластин магнитным полем, создаваемым током ВМГ-200, позволяет достичь скоростей более 3 км/с при условии, что магнитное поле не проникает сквозь пластину до момента ее соударения с мишенью. Конструкции предложенных устройств на основе ВМГ-200 позволяют применять широкий набор исследуемых образцов и диагностических средств измерений, а также дают возможность сохранять исследуемые образцы.

Список литературы

1. *Lemke R. W., Knudson M. D., Harjes C. H., Davis J. P., Bliss D. E., Pointon T. D., Mehlhorn T. A.* Shockless acceleration of flyer plates at multimegabar magnetic pressures on the Z-machine// In: Megagauss X / Ed. M. von Ortenberg. – Berlin: Humboldt University at Berlin. – 2005. – P. 403–405.
2. Магнитокумулятивные генераторы – импульсные источники энергии: Монография. В 2 томах. Том 1 / Под ред. В.А. Демидова, Л.Н. Пляшкевича, В.Д. Селемира. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 2011. – 439 С.

Исследования возможности генерации К-линии алюминия в экспериментах с взрывомагнитным генератором

Агапов А. А., Репин П. Б., Ибрагимов М. Ш., Репин Б. Г., Орлов А. П., Маркевцев И. М., Корнилов С. Ю., Покровский Д. С., Покровский В. С., Филиппов А. В., Барышников М. Д.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

В НПЦФ РФЯЦ-ВНИИЭФ на протяжении ряда лет проводятся исследования генерации мощных потоков мягкого рентгеновского излучения (МРИ) при схлопывании многопроволочных цилиндрических лайнерных систем, запитываемых как от взрывных, так и стационарных источников тока.

В докладе приводятся результаты экспериментов по генерации К линии алюминия при имплозии многопроволочного цилиндрического лайнера с запиткой от спирального взрывомагнитного генератора (ВМГ) с диаметром спирали 200 мм, оснащённого взрывным размыкателем тока.

В экспериментах использовался однокаскадный многопроволочный лайнер высотой 14,5–14,7 мм диаметром 120 мм, состоящий из 60 – 120 алюминиевых проволочек диаметром 15,5 – 19 мкм.

Для определения параметров импульсов тока использовались индукционная и фарадеевская волоконно-оптическая методики. Регистрация спектрально-временных параметров импульса МРИ, генерируемого Z пинчем, осуществлялась с помощью сцинтилляционных детекторов и вакуумных рентгеновских диодов с использованием различных фильтров. Интегральная по времени энергия МРИ в различных диапазонах спектра измерялась болометрами. Для регистрации пространственно-временной картины имплозии плазменного Z-пинча в оптическом и рентгеновском диапазонах спектра применялись, соответственно, электронно-оптические камеры и специальные рентгеновские методики (РЭОП).

В лучшем эксперименте импульс тока в нагрузке имеет амплитуду ~ 5 МА с фронтом $\tau_{0.1-0.9} = 0,39$ мкс, длительность импульса МРИ на полувысоте в диапазоне спектра с энергией квантов выше 1 кэВ составила 13 нс, в диапазоне спектра с энергией квантов менее 1 кэВ – 21 – 25 нс, а по данным методики РЭОП - 19 нс.

Энергия импульса МРИ, измеренная с помощью болометрической методики, составила: в полном спектре - 71 кДж, в диапазоне энергии квантов выше 1 кэВ - 23 ± 2 кДж.

Для расчетно-теоретического сопровождения проведённых экспериментов применялись РМГД коды FLUX-3D и FLUX-rz.

Рентгенографические измерения в экспериментах по построению уравнений состояния веществ

Егоров Н. И., Борисков Г. В., Быков А. И., Павлов В. Н., Стрелков И. С., Сурдин О. М.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Импульсная рентгенография широко использовалась при разработке взрывного генератора магнитных полей мегагауссного диапазона (МК-1). Она же успешно применяется для построения уравнений состояния веществ в мегабарной области давлений с применением устройств на основе МК-1.

Сущность рентгенографического метода заключается в измерении плотности исследуемого и эталонного веществ. Для этого в процессе проведения опыта производится рентгенографирование камеры сжатия в один из моментов времени, когда вещества сжаты до мегабарного давления. По полученным на рентгеновских снимках изображениям камеры и образцов внутри неё определяется сжатие исследуемого и эталонного веществ. Теперь, зная начальные плотности исследуемого и эталонного веществ, вычисляются их плотности в сжатом состоянии. А по плотности эталона с использованием его известной изоэнтропы, определяется давление в нём и тем самым (после учёта градиентных поправок) в исследуемом веществе.

Исследования возможности генерации к-линии алюминия в экспериментах с взрывомагнитным генератором численный эксперимент по генерации плазменной струи с использованием конусной многопроволочной сборки

Орлов А. П., Репин П. Б., Репин Б. Г., Ибрагимов М. Ш.

Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Саров

Приведены результаты скейлинговых расчётов параметров плазменной струи, генерируемой в аксиальном направлении в результате радиальной имплозии конусной сборки из алюминиевых проволочек, запитываемой импульсом тока с амплитудой ~ 2 МА и временем нарастания ~ 1 мкс. Численные исследования были проведены с использованием 3D РМГД кода FLUX-3D. При численном моделировании процессов длительной токовой абляции вещества с проволочек сборки, влияющих на магнитогиродинамические характеристики (плотность, поступательная и вращательная скорости, температура, параметр замагниченности) распространяющейся вдоль оси плазменной струи и, следовательно, определяющих значения безразмерных критериев подобия описываемых физических явлений, использовалась обобщённая модель плазмообразования в многопроволочных Z-пинчах [1]. В серии скейлинговых расчётов варьировались угол раствора конусной многопроволочной сборки, диаметр осевого выходного отверстия в дисковом электроде вакуумной камеры, а также величина внешнего продольного магнитного поля.

Проведённые расчётные исследования могут быть полезны для экспериментального моделирования астрофизических явлений, таких как наблюдаемые струйные выбросы из звездных объектов, на лабораторных электрофизических установках импульсной мощности.

Список литературы

1. *Repin B. G., Orlov A. P.* Generalized computational ablation model of multi-wire cylindrical Z-pinches// Phys.Plasmas. — 2022 Berlin: – V. 29. 052713.

Магнитно-импульсная сварка плоских образцов

Анисимов А. Г.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Известно, что сварка взрывом происходит при высокоскоростном косом соударении металлических пластин и вместо энергии взрыва можно использовать энергию магнитного поля. Для осуществления магнитно-импульсной сварки в данной работе использовались конденсаторная батарея и применялись две схемы метания: кондукционная и индукционная. Определены факторы, влияющие на потерю ускоряемой пластиной плоской формы. Приведены оценки максимальных размеров свариваемых пластин. Приведены примеры использования магнитноимпульсной сварки для получения многослойных образцов, сварки аморфных металлических сплавов, сварка «встык»

О возможности увеличения пробития кумулятивного заряда при создании магнитного поля в его облицовке

Федоров С. В.¹, Бабкин А. В.¹, Ладов С. В.¹, Швецов Г. А.², Матросов А. Д.²

¹Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

В совместных работах Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева и МГТУ им. Н. Э. Баумана исследованы различные способы управления пробитием кумулятивных зарядов с помощью электромагнитных воздействий [1]. В число рассмотренных электро-магнитных воздействий входят пропускание электрического тока по кумулятивной струе перед ее прониканием в преграду, создание с помощью удлиненного соленоида продольного магнитного поля на пути движения струи, создание осесимметричного магнитного поля в облицовке кумулятивного заряда перед его подрывом и создание магнитного поля, поперечного к направлению проникания, в материале проводящей преграды.

Наиболее эффективным с точки зрения потребной электрической энергии для достижения значимого влияния на действие кумулятивного заряда показал себя предложенный в МГТУ им. Н. Э. Баумана вариант электромагнитного воздействия, связанный с созданием магнитного поля в облицовке кумулятивного заряда. В экспериментах с кумулятивными зарядами диаметром 50 мм их пробивное действие снижалось в несколько раз при индукции начального поля в облицовке в десятые доли тесла, а при индукции поля свыше 0,6 Тл пробивное действие полностью отсутствовало. Теоретический анализ позволяет предположить главной причиной данного эффекта резкое усиление магнитного поля в области образования кумулятивной струи при схлопывании «намагниченно» облицовки. Следствием этого является действие на струю мощных радиально направленных электромагнитных сил, способных привести к диспергированию ее материала, что согласуется с результатами рентгенографирования «намагниченных» кумулятивных струй, впервые проведенного в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева [2].

Большой интерес как с прикладной, так и с фундаментальной точек зрения представляет выяснение возможности достижения обратного эффекта – повышения пробивного действия кумулятивного заряда при предварительном создании магнитного поля в его облицовке. Предпосылкой к этому является дополнительный нагрев материала кумулятивной струи вихревыми индукционными токами, сопровождающий усиление в ней магнитного поля, с термическим разупрочнением материала и увеличением вследствие этого предельного удлинения струи. В работе анализируются условия, при которых можно обеспечить повышение пробивного действия кумулятивного заряда за счет создания магнитного поля в его облицовке. Косвенным подтверждением возможности достижения данного эффекта являются результаты [3], полученные китайскими исследователями в экспериментах с созданием магнитного поля на пути движения кумулятивной струи соленоидами достаточно большого диаметра (близкого к диаметру кумулятивного заряда).

Список литературы

1. Федоров С. В., Бабкин А. В., Ладов С. В., Швецов Г. А., Матросов А. Д. О возможности управления кумулятивным эффектом взрыва с помощью электромагнитных воздействий // ФГВ. – 2000. – Т. 36, №. 6. – С. 126–145.
2. Федоров С. В., Бабкин А. В., Ладов С. В., Швецов Г. А., Матросов А. Д. О возможности снижения пробивного действия кумулятивных зарядов в магнитном поле // ПМТФ. – 2007. – Т. 48, №. 3. – С. 112–120.

3. *Ma B., Huang Z., Guan Z., Zu X., Jia X., Xiao Q.* Research of the axial strong magnetic field applied at the initial period of inertial stretching stage of the shaped charge jet// International Journal of Impact Engineering. – 2018. – V. 113. – P. 54–60.

Влияние размера и морфологии частиц титана на характеристики его агломерации в составе смесевых топлив

Сорокин И. В., Белоусова Н. С., Готов О. Г., Суродин Г. С.

Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН, Новосибирск

Специфическим приложением технологического горения частиц титана в воздухе может быть пиротехнический «генератор» для создания облака фотокаталитического диоксида титана TiO_2 для дезактивации локальных загрязнений атмосферного воздуха [1]. Фотокаталитический TiO_2 способен адсорбировать и под действием ультрафиолетового света разлагать любую органику. Однако возможность создать диоксид титана с требуемыми свойствами в результате горения специального смесевоего топлива, требует экспериментального подтверждения. Поскольку титан в волне горения пиротехнической смесевой системы агломерирует [2], необходимо обеспечить достаточно полное сгорание агломерировавшего металла и его эффективное преобразование в высокодисперсный оксид с требуемыми свойствами [3]. Целью данной работы является изучение основных характеристик горения смесевых топлив с титаном различной природы и размеров. В первую очередь представляет интерес скорость горения и гранулометрический состав продуктов горения. В работе исследовали модельное смесевое топливо на основе 20 % активного связующего, 60 % перхлората аммония (ПХА, ситовая фракция 180 – 250 мкм) и 20 % порошка титана. В топливах использовали три типа титана – промышленный марки ПТМ, пористый обкатанный и сферический. На основе экспериментов по горению смесевых топлив в малогабаритном сосуде высокого давления ($p = 0.35$ МПа) определен состав смесевоего топлива для дальнейших исследований. Установлено процентное соотношение компонентов топлива, тип и размер порошка титана, обеспечивающие получение наименьшего размера агломератов в конденсированных продуктах горения. В качестве металлического горючего целесообразно использовать пористый и сферический титан как можно меньшего размера. Экспериментальное исследование горения выбранного модельного топлива осуществлялось в сосуде высокого давления (до $p = 8$ МПа) с отбором конденсированных продуктов горения. В результате определены закон скорости горения модельных топлив, зависимость размера агломератов титана от давления и состав конденсированных продуктов горения. Данное исследование направлено на определение давления и габаритов для проектирования макета камеры-генератора TiO_2 . Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-29-00474).

Список литературы

1. *Шидловский А. А.* Основы пиротехники. – М.: Машиностроение, – 1973. – 280 с.
2. *Мержанов А. Г., Сычев А. Е.* О самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. <http://www.ism.ac.ru/handbook/shsfr.htm>.
3. *Weiser V., Neutz J., Eisenreich N., Roth E., Schneider H., Kelzenberg S.* Development and characterization of pyrotechnic compositions as counter measures against toxic clouds// Energetic Materials: Performance and Safety. 36th Int. Annual Conf. of ICT & 32nd Int. Pyrotechnics Seminar, June 28 – July 1, 2005, Karlsruhe, Germany. ICT, 2005. P. 102-1–102-12.

Генерация наноразмерного диоксида титана при горении воздухе

Белоусова Н. С.^{1,2}, Глотов О. Г.^{1,2}, Суродин Г. С.¹

¹Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Горение частиц титана в воздухе в последнее время привлекает пристальное внимание исследователей. Основной причиной является идея использования диоксида титана в форме аэрозоля, состоящего из частиц нанометрового диапазона размеров, для дезактивации загрязнений атмосферного воздуха [1–3]. Реализация этой идеи возможна двумя путями. Первый путь – распыление готового фотокаталитического TiO_2 с применением газогенератора [4]. Второй путь – применение специального пиротехнического генератора TiO_2 . Реализация второго пути кажется перспективной, однако требует основательной научной проработки.

В данной работе нами исследован механизм сгорания частиц TiO в воздухе с целью повышения эффективности превращения исходных частиц в оксидные продукты. Исследование сосредоточено на особенностях процесса фрагментации и характеристиках конденсированных частиц продукта сгорания. Было обнаружено, что при сгорании каждой крупной частицы образуется крупная частица оксидного остатка наряду с высокодисперсным оксидным облаком TiO_2 .

Наноразмерные продукты горения представлены аэрогелевыми объектами, состоящими из сферул с медианным диаметром логнормального распределения около 50 нм. Форма и размер аэрогелевых объектов отражает историю жизни частиц, их породивших. Образование крупных частиц обусловлено специфическим так называемым режимом фрагментации «еловая ветвь». При сгорании мелких частиц TiO проявляется другой режим фрагментации «звезда», который является предпочтительным для образования высокодисперсного оксида.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект РНФ № 24-29-00474.).

Список литературы

1. Weiser V., Neutz J., Eisenreich N., Roth E., Schneider H., Kelzenberg S. Development and characterization of pyrotechnic compositions as counter measures against toxic clouds// Energetic Materials: Performance and Safety. 36th Int. Annual Conf. of ICT & 32nd Int. Pyrotechnics Seminar, June 28 – July 1, 2005, Karlsruhe, Germany. ICT, 2005. P. 102-1–102-12.
2. Glotov O. G., Zarko V. E Formation of Nanosized Products in Combustion of Metal Particles// In: Energetic Nanomaterials: Synthesis, Characterization, and Application. Elsevier, – 2016. – P. 285–321.
3. Глотов О. Г. Воспламенение и горение частиц титана. Экспериментальные методы исследования и результаты// УФН. – 2019. – Т. 189, №. 2. – С. 135-171.
4. Гаенко О. И., Конюхов И. Е., Муравлев Е. В., Кудряшова О. Б., Титов С. С. Распыление дезактивирующих аэрозолей с помощью энергии ВЭМ// Всерос. конф. «Физика взрыва: теория, эксперимент, приложения». Новосибирск: Сиб. отд. РАН, Ин-т гидродинамики. 2023. С. 221. DOI:10.53954/9785604990025_22

Сенсибилизация эмульсионной матрицы механоактивированными твердыми веществами

Костылев С. С

КНТП «Промышленные взрывные технологии», СФУ, Красноярск

Доклад затрагивает вопросы сенсибилизации эмульсионной матрицы механоактивированными твердыми веществами, участвующими в окислительно-восстановительной реакции при производстве смесевых взрывчатых веществ, на основе аммиачной селитры, получившей наименование АНК-технологии.

АНК-технология разработана на основе гипотезы, что об увеличении поверхностной энергии на разделе двух фаз позволяет перевести смесевое взрывчатое вещество в метастабильное состояние, то есть, чувствительность к обратной эмульсии к детонационному импульсу можно повысить следующими действиями:

1. повышением общей поверхностной энергии дисперсной системы жидкое в жидком (Ж/Ж) путем увеличения гетерогенности системы, а именно, введением дисперсной фазы в твердом агрегатном состоянии с большой удельной поверхностью;
2. созданием очагов концентрации поверхностной энергии на радиусах большой кривизны;
3. использованием только «холодной» эмульсионной матрицы

В качестве фазы повышающей гетерогенность системы и не флегматизирующих матрицу, было принято использовать вещества участвующих в окислительно-восстановительной реакции, как различных окислителей, так и топлив, например аммиачной селитры или угля.

Для реализации технологии, и механического активирования сенсибилизирующих добавок перед смешением, было разработано устройство регулировки гранулометрического состава.

Проведенные полигонные испытания подтверждают правоты выдвинутой гипотезы.

Исследование и моделирование электродинамических процессов в векторно-инверсионных генераторах

Параскун А. Г.

*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

Векторно-инверсионный генератор представляет собой компактное устройство, запасющее электрическую энергию при одном, относительно низком напряжении, и разряжающее накопленную энергию в виде наносекундного электрического импульса с напряжением 100 – 600 кВ.

При распространении волны в спиральной линии, электрическая энергия переходит в энергию магнитного поля, и электрическую энергию коаксиальных емкостей, включающихся последовательно. После отражения от разомкнутых концов линии, энергия магнитного поля в ней начинает переходить в электрическую, и волна в активной линии меняет полярность. Когда отраженная волна окажется в точке, где установлен коммутатор, напряжение между началом и концом спирали достигает своего максимального значения.

Представлено численное решение задачи зависимости напряжения на выходе генератора от времени. Процесс распространения электромагнитной волны в активной и пассивной линиях описывается телеграфными уравнениями, а процесс стекания заряда описывается моделью классического колебательного контура. Решение распространения волн находилось методом Годунова, а для вычисления граничных условий для спирального генератора использовались явные разностные схемы первого порядка.

Исследовано влияние магнитопровода из магнитомягкого материала на амплитуду первой полуволны колебаний и на коэффициент полезного действия генератора соответственно. Также проанализировано влияние магнитопровода на время нарастания высоковольтного импульса на выходе спирального генератора, что является важным параметром при согласовании генератора с нагрузкой.

Приводятся результаты численного моделирования пространственного распределения магнитного и электрического полей внутри и снаружи спирального генератора, полученные средствами программного комплекса моделирования методом конечных элементов «Finite element method magnetics». Выявлены зависимости влияния магнитопровода на стабилизацию распределения магнитного поля внутри спиральной линии и на КПД генератора соответственно.

Результаты, полученные в работе, позволяют с достаточной точностью предсказывать и моделировать физические параметры спиральных генераторов, которые могут быть использованы, например, для изготовления портативного рентгеновского аппарата с взрывной эмиссией электронов.

Работа выполнена при поддержке программы «Приоритет-2030»

Термодинамика материалов при высоких плотностях энергии

Хищенко К. В.

*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва
Московский физико-технический институт, Долгопрудный
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск*

Развитие устройств с высокой концентрацией энергии требует возможности привлечения численного моделирования интенсивных быстропротекающих процессов. Для решения задач гидродинамики необходимо знать уравнение состояния среды во всем диапазоне термодинамических параметров, реализуемых в изучаемом процессе. В этой работе рассмотрены различные подходы к построению моделей термодинамики вещества для широкой области изменения давлений и степеней сжатия. В частности, представлены результаты расчетов термодинамических характеристик алюминия, железа, диоксида кремния и других материалов в сравнении с данными из экспериментов с волнами ударного сжатия и изоэнтропической разгрузки. Представленные уравнения состояния могут быть использованы при моделировании гидродинамики различных процессов при высоких плотностях энергии.

Уравнение состояния жидкого алюминия в экстремальных условиях при высокой концентрации энергии

Боярских К. А.^{1,2}, Хищенко К. В.^{1,2,3}

¹*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва*

²*Московский физико-технический институт, Долгопрудный*

³*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск*

Уравнение состояния является выражением функциональной связи термодинамических параметров вещества (объема, давления, температуры, энтропии, внутренней энергии и других) между собой. Эта форма теоретического описания поведения материалов содержит (в каноническом случае — полную) информацию о термодинамических свойствах системы. Знание уравнения состояния позволяет проводить численное моделирование гидродинамики различных физических процессов в экстремальных условиях при высокой концентрации энергии.

Целью настоящей работы является описание термодинамических свойств жидкого алюминия при высоких давлениях (до 1 ТПа) и температурах. Построено уравнение состояния жидкой фазы этого металла с возможностью учета фазового перехода жидкость—пар. Проведено сравнение результатов расчетов по полученному уравнению состояния с данными экспериментов по плотности расплава при давлении 0.3 ГПа, давлению насыщенных паров, ударной сжимаемости образцов различной исходной пористости и изоэнтропическому расширению ударно-сжатых исходно сплошных образцов алюминия. На основании сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными установлена область применимости построенного уравнения состояния. Полученные в работе результаты могут быть использованы при численном моделировании гидродинамических процессов, сопряженных с достижением высоких плотностей энергии.

Влияние обработки поверхности высокоэнергетичными частицами на износостойкость осаждаемого алмазного CVD – покрытия

Емельянов А. А.¹, Плотников М. Ю.¹, Тимошенко Н. И.¹, Юдин И. Б.¹, Ульяницкий В. Ю.², Батраев И. С.²

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

В настоящей работе были проведены исследования по определению зависимости эрозионной стойкости CVD алмазного покрытия от обработки поверхности подложки потоком частиц корунда и карбида кремния с различной энергией.

Алмазное покрытие наносили на молибденовую подложку методом газоструйного осаждения из смеси активированного в СВЧ разряде $H_2 + CH_4 + Ar$. Поверхность молибденовой подложки обрабатывалась двумя способами: на стенде для эрозионных испытаний по стандарту ASTM G76 потоком частиц (20 мкм) карбида кремния со скоростью около 90 м/сек или с помощью детонационной установки CCDS2000 [1] частицами электрокорунда (25 мкм) со скоростью около 450 м/сек. При этом на подложке формировался рельеф с шероховатостью около 10 мкм. На подготовленную таким образом поверхность наносили поликристаллический алмаз при температуре активации более 3000 К, температуре подложки около 1000 К. Используемые метод и устройство для осаждения алмазного покрытия описаны в работах [2, 3]. Эрозионная стойкость полученного алмазного покрытия определялась по уносу материала при испытаниях на стенде ASTM G76 потоком частиц карбида кремния или корунда.

Установлено, что обработка поверхности подложки частицами SiC увеличивает стойкость CVD алмазного покрытия. При эрозионных испытаниях молибдена и пластины WC обнаружены глубокие каверны на поверхности, в тоже время на алмазном покрытии уноса материала не обнаружено. При испытаниях алмазного покрытия на необработанном молибдене сохранились лишь отдельные островки алмазного покрытия.

Таким образом, предварительная обработка поверхности мишени скоростными частицами способствует улучшению адгезии и износостойкости получаемого CVD алмазного покрытия.

Список литературы

1. Ульяницкий В. Ю., Рыбин Д. К., Ларичкин А. Ю. Обусловленные наклепом остаточные напряжения в покрытиях, получаемых методом напыления порошкового материала // ПМТФ. – 2023. – Т. 64. №. 5. – С. 179–193. – URL: <https://doi.org/10.15372/PMTF202315268>
2. Emelyanov A. A., Pinaev V. A., Plotnikov M. Yu., Rebrov A. K., Timoshenko N. I., Yudin I. B. Effect of methane flow rate on gas-jet MPCVD diamond synthesis// J. Phys. D: Appl. Phys. – 2022. – V. 55. No. 20. – 205202. – URL: DOI 10.1088/1361-6463/ac526e
3. Емельянов А. А., Плотников М. Ю., Тимошенко Н. И., Юдин И. Б. Газоструйный синтез из активированной в СВЧ-разряде смеси $H_2 + CH_4 + Ar$ алмазных покрытий на кремниевых подложках// ПМТФ. – 2023. – Т. 64. №. 5. – С. 17–26. – URL: DOI: 10.15372/PMTF202315309

Применение взрывомагнитных генераторов для питания нелинейных плазменных нагрузок

Шурупов А. В.¹, Шурупов М. А.¹, Козлов А. В.²

¹АО «Специальные энергетические технологии», Шатура

²Шатурский филиал Объединенного института высоких температур РАН, Шатура

В работе рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования эффективных источников на основе взрывомагнитных генераторов (ВМГ) для питания нелинейных плазменных нагрузок. В качестве последних рассмотрены нагрузки типа плазменный ускоритель и плазменный фокус. Целевой задачей исследований является повышение полного энерговклада в плазменные образования за счет оптимального согласованности работы источника питания с нелинейной нагрузкой. Проведен сравнительный анализ различных источников питания, применяемых в реальных экспериментах. Показано, что специально оптимизированный закон вывода индуктивности спирального ВМГ позволяет достичь лучшего согласования источника питания на основе ВМГ для нелинейных плазменных нагрузок по сравнению с традиционными высоковольтными емкостными накопителями. Описана методика оптимизации закона вывода индуктивности ВМГ при питании нелинейных нагрузок. Представлены лабораторные эксперименты по эффективной передаче энергии от ВМГ к плазменным нагрузкам при уровнях токов в нагрузке свыше 3, 5 МА.

Использование синхротронного излучения для исследования быстропротекающих процессов

Прууэл Э. Р., Тен К. А., Рубцов И. А., Студенников А. А.

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

В докладе представлены текущие возможности исследовательских станций на базе ускорительного комплекса ВЭППЗ/ВЭПП4 Института ядерной физики г. Новосибирск –скоростной рентгенографии и малоуглового рентгеновского рассеяния с высоким временным разрешением и проектные характеристики строящейся станции 1-3 «Быстропротекающие процессы» ЦКП «СКИФ».

Большая импульсная мощность пучка синхротронного излучения и разработанные скоростные рентгеновские детекторы позволили создать методику регистрации одномерного щелевого кино с промежутком между кадрами 124 нс и пространственным разрешением на объекте 0,1 мм. Методика позволяют исследовать газодинамическое течения непосредственно в процессе детонации конденсированных взрывчатых веществ или при ударно-волновом воздействии на инертные материала. Она успешно применяется для определения параметров детонации и уравнения состояния продуктов взрыва.

Методика малоуглового рентгеновского рассеяния чувствительна к неоднородностям плотности с масштабом 5–100 нм. Она нашла эффективное применение для исследования формирования конденсированного углерода при детонации взрывчатых веществ, горения металлических порошков и анализа поведения наноструктурированных материалов в условиях ударного нагружения.

Во второй части доклада приводятся характеристики и статус строящейся новой исследовательской станции для исследования быстропротекающих процессов.

Возможности противоккумулятивной защиты бронированной техники с помощью электромагнитного воздействия

Вагнер Т. Н., Милевский К. Е.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Важной задачей является обеспечение защиты различных объектов от кумулятивных средств поражения. Однако уровень развития бронепробиваемости снарядов идёт намного стремительней, чем защита бронированной техники, а увеличение толщины брони на ней становится малоэффективным, отчего необходимо обратиться к новым методам по обеспечению неуязвимости танков.

Способ электромагнитной защиты объекта включает создание магнитного поля в защищаемой области, обеспечивая поперечную ориентацию поля по отношению к направлению движения средства поражения [1]. Повышение противоккумулятивной стойкости защищаемого объекта в этом случае достигается за счет использования особенностей процесса деформирования преграды средством поражения и известных закономерностей электродинамики высокопроводящих сред.

В опытах [2] с КЗ диаметром 50 мм при отсутствии магнитного поля с расстояния 200 мм обеспечивалась глубина пробития 240 мм в стальной преграде. При наличии магнитного поля с индукцией $B = 0,6$ Тл глубина пробития уменьшалась до 20 мм. При $B = 2,0$ Тл пробитие стальной преграды полностью отсутствовало.

Подобных результатов добились и в опыте [3] с использованием КЗ калибром $d = 30, 50, 75, 100$ мм с коническими медными выемками.

В экспериментах изменялись ток и производная тока по времени, форма электрического импульса, время воздействия электрического тока на различные элементы струи и другие параметры. Также проводилась рентгеновская съемка эксперимента, которая зафиксировала расширение фрагментов струи с током. Влияние электрического тока на КС дополнительно оценивалось по глубине проникания струи в преграду.

Из полученных данных и зависимостей выяснили, что при умеренных значениях энергии в источнике глубину проникания КС в преграду можно уменьшить в несколько раз и что для эффективного воздействия на неё необходимо выполнение двух условий:

1. ток в струе должен превышать некоторое критическое значение I_{cr} ;
2. время нахождения элемента струи между электродами должно быть достаточным для развития перетяжечной магнитогидродинамической неустойчивости.

Проводилась работа [1–5] по изучению возможности противодействия кумулятивным снарядам с помощью конструкции из двух металлических пластин, разделенных слоем диэлектрика, и подающей на них напряжение конденсаторной батареей.

На основе анализа экспериментальных данных и проведенных оценок, к числу конструктивных параметров элемента защиты, определяющих эффективность электродинамического воздействия на КС, относятся ширина δe межэлектродного промежутка и удаление h электродной системы от кумулятивного заряда. Расчеты были проведены для трех межэлектродных расстояний. При заданных межэлектродном промежутке и параметрах разрядного контура наилучший результат по снижению пробивного действия достигается при емкости батареи $C = 8$ мФ. При емкостях, меньших или больших этого значения, эффективность ЭДВ снижается. Также для создания ЭДЗ, способной эффективно противодействовать противотанковым кумулятивным гранатам, необходима конденсаторная батарея с запасаемой энергией порядка 0,5 МДж.

По итогам анализа исследований альтернатив обеспечения неуязвимости военной машины, можно прийти к выводу, что преимущества рассмотренного способа защиты электромагнитным воздействием связаны с его широкими возможностями управления электромагнитной энергией, однако проблемами в реализации данного метода являются объём и масса накопителя электрической энергии, чьи большие габариты не позволяют встроить их в танк. Но данная проблема решаема со временем, поскольку за рубежом уже разработаны импульсные емкостные накопители с высокими удельными энергоемкостями, с которыми уже проводятся исследования по созданию ЭДЗ.

Список литературы

1. *Бабкин А. В., Ладов С. В., Федоров С. В., Колпаков В. И.* Способ электромагнитной защиты объекта от средств поражения. Научно-исследовательский институт специального машиностроения МГТУ им.Н.Э.Баумана, – 2000.
2. *Бабкин А. В., Ладов С. В., Федоров С. В.* Электрическая противокумулятивная защита объектов.// Инженерный журнал: наука и инновации. – 2016. – №. 1.
3. *Швецов Г. А., Матросов А. Д., Станкевич С. В.* Влияние электрического тока на глубину проникания кумулятивных струй в преграды.
4. *Федоров С. В.* Электродинамическая защита от кумулятивных средств поражения: перспективы практической реализации.// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – Сер. Машиностроение. №. 4. – С. 12–32.
5. *Федоров С. В.* Электроразряд укрощает кумулятивную струю// Вооружение. Политика. Конверсия. – 2012. –Т. 103. – №. 1. – С. 30–34.

Распределение материала облицовки кумулятивного заряда в струе и песе

Гуськов А. В., Цыбрий А. И.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Для поражения объектов, уничтожение которых обеспечивается сожжением содержимого (хранилища ГСМ), требуется модификация облицовки кумулятивного заряда, обеспечивающая выделение необходимой энергии в момент пробития и занесение окислителя за стенку резервуара. В связи с этим необходимо понимание распределения материала облицовки кумулятивного заряда в кумулятивной струе.

Исследования, связанные с поведением металла кумулятивных облицовок, проводятся экспериментально, что трудозатратно. Однако возможности современных сред численного моделирования позволяют более детально изучить явления, протекающие в процессе кумулятивного струеобразования [1].

Согласно известным данным, в струю переходит часть металла, находящаяся в слое с внутренней стороны кумулятивной облицовки [2, 3]. Также имеются данные численного моделирования особенностей геометрического распределения материала в процессе кумулятивного струеобразования, уточняющие данное утверждение [4].

В настоящей работе с помощью среды численного моделирования Ansys AUTODYN проведен расчет функционирования осесимметричного кумулятивного заряда, в материале кумулятивной облицовки которого установлены датчики (см. Рис. 1). Моделирование проводится в 2-D пространстве, симметрия аксиальная, основные уравнения решаются методом Эйлера.

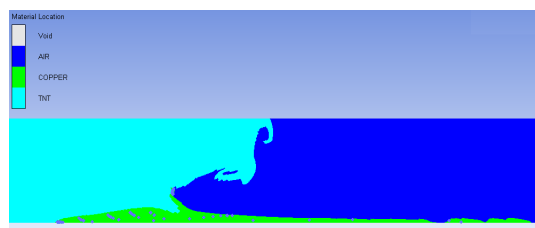


Рис. 1: Картина распределения материала облицовки в кумулятивной струе и песе

Согласно расчету, переход металла кумулятивной облицовки в струю осуществляется неравномерно. Это подтверждает данные, полученные в работе [4], и требует более углубленного изучения для лучшего понимания распределения материала облицовки кумулятивного заряда в струе.

Список литературы

1. Гриф Е. М., Гуськов А. В., Милевский К. Е. Кинематика процесса образования кумулятивной струи. М.: Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике: 9 междунар. конф., посвящ. 120-летию академика М. А. Лаврентьева, Новосибирск, 7–11 сент. 2020 г.: тез. докл. – Новосибирск: Изд-во Ин-та гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 2020. – С. 185. – 200 экз. – ISBN 978-5-94671-033-6.
2. Орленко Л. П. Физика взрыва и удара: Учебное пособие для вузов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 304 с. – ISBN 5-9221-0638-4.
3. Минин И. В. Минин О. В. Кумулятивные заряды [Текст]: монография/ – Новосибирск: СГГА, 2013. – 200 с. ISBN 978-5-87693-654-7

4. Гриф Е. М. Особенности геометрического распределения металла в процессе кумулятивного струеобразования // НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ // сборник научных трудов часть 9 / под ред. Гадюкиной А. В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – С. 222. - ISBN 978-5-7782-4288-3.

Авторский указатель

- Аватинян Г. А., 13
Агапов А. А., 21, 28–31
Анисимов А. Г., 16, 34
Бабкин А. В., 35
Барышников М. Д., 31
Батраев И. С., 43
Белов С. И., 21–23
Белоусова Н. С., 37, 38
Беляева Н. А., 21, 23
Борискин А. С., 30
Борисков Г. В., 21–23, 32
Боярских К. А., 42
Быков А. И., 21–23, 32
Вагнер Т. Н., 46
Виденский М. А., 25, 26
Вилков Ю. В., 27
Власов Ю. В., 28–30
Володченко С. И., 28, 30
Галанова С. В., 29
Гилев С. Д., 16–18
Глотов О. Г., 37, 38
Гурова Н. В., 25, 26
Гуськов А. В., 48
Демидов В. А., 28–30
Егоров Н. И., 21–23, 32
Емельянов А. А., 43
Ибрагимов М. Ш., 24, 31, 33
Казаков С. А., 28–30
Климашов М. В., 25, 26
Климов Е. Ю., 25, 26
Козлов А. А., 10
Козлов А. В., 10, 44
Козлов В. В., 19
Корнилов С. Ю., 24, 31
Королев П. В., 25, 26
Коршунов А. С., 21, 23
Костылев С. С., 39
Крыкин М. Д., 13
Кузавов В. Т., 20
Ладов С. В., 35
Макаров И. В., 21, 23
Маркевцев И. М., 31
Матросов А. Д., 16, 35
Милевский К. Е., 46
Орлов А. П., 24, 31, 33
Павлов В. Н., 21–23, 32
Пальчиков Е. И., 11
Параскун А. Г., 40
Патрикеев Д. И., 13
Пикарь А. С., 25, 26
Плотников М. Ю., 43
Покровский Д. С., 24, 31
Полищук В. П., 10
Прокопьев В. С., 18
Прохоров Е. С., 8
Прууэл Э. Р., 45
Репин Б. Г., 24, 31, 33
Репин П. Б., 21, 23, 31, 33
Рубцов И. А., 45
Селемир В. Д., 21, 23, 26, 27
Синяев С. В., 15
Сорокин И. В., 37
Станкевич С. В., 12
Стрелков И. С., 21–23, 32
Студенников А. А., 45
Сурдин О. М., 21, 23, 32
Суродин Г. С., 37, 38
Сычев А. А., 28–30
Таценко О. М., 30
Тен К. А., 45
Тепяев Д. А., 28–30
Терентьев А. Г., 13
Тимошенко Н. И., 43
Толшмяков Д. А., 25, 26
Ульяницкий В. Ю., 43
Федоров С. В., 35
Филиппов А. В., 31
Фомичев В. П., 6, 7
Хищенко К. В., 41, 42
Христенко Ю. Ф., 15
Цыбрий А. И., 48
Швецов Г. А., 16, 35
Шурупов А. В., 44
Шурупов М. А., 44
Юдин И. Б., 43
Ядренкин М. А., 6, 7
Ящук А. А., 15

Научное издание

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Гидродинамика высоких плотностей энергии,
посвященная 80-летию со дня рождения чл.-к. РАН Г.А. Швецова

24 – 26 апреля 2024 г.

Новосибирск, Россия

Тезисы докладов

Оригинал-макет подготовлен в Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Подписано в печать 22.04.2024

Усл. печ. л. 6,1

Тираж 30 экз.

Формат 60×84 1/8.

Заказ № 74.

Сибирское отделение РАН
630090, г. Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 17
Отпечатано в Сибирском отделении РАН
630090, г. Новосибирск, Морской просп., 2
Тел. 330-84-66, e-mail: e.lyannaya@sb-ras.ru

