

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 541.8.002

**ИМПУЛЬСНОЕ НАГРУЖЕНИЕ ПРОТЯЖЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ
С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

© 2015 г. С.И. Герасимов^{1,2,3}, В.И. Ерофеев⁴, В.А. Кузьмин^{2,3}, П.Г. Кузнецов¹,
Е.Г. Косяк¹, Н.Л. Телякова¹

¹ Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Саров, Нижегородская обл.

² Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Нижегородская обл.

³ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Нижегородская обл.

⁴ Институт проблем машиностроения РАН, Нижний Новгород, Нижегородская обл.

В работе показано, что взаимодействие мощных световых волн, генерируемых некогерентными импульсными газоразрядными источниками, с зарядами светочувствительных энергонасыщенных комплексных перхлоратов: 3(5)-гидразино-4-амино-1,2,4-ртути (II) с 1-Н-5-гидразинотетразолом как лигандом может использоваться в методике создания импульсных нагрузок на протяженные конструкции.

Ключевые слова: оптическое инициирование, пиротехнический состав ВС-2.

Поступила в редакцию 22.02.2015 г.

ВВЕДЕНИЕ

При создании современной техники большое внимание уделяется исследованию процессов, протекающих при воздействии высокоинтенсивных потоков энергии на вещество: рентгеновское излучение (РИ), мощное электромагнитное излучение оптического диапазона (лазер), потоки заряженных частиц. Наибольший практический интерес представляет воздействие РИ. В практической деятельности воздействие рентгеновского излучения имеет место, например, в установках, эксплуатация которых связана с импульсными потоками излучений.

Одним из основных факторов воздействия РИ при облучении какого-либо объекта является механическое воздействие на этот объект [1,2,3]. Механическое воздействие (механический импульс) пропорционально количеству поглощенной материалом энергии (энергии сублимации).

Методология и математическое описание процесса формирования импульса давления на поверхности облучаемого материала сформулирована еще в середине XX века [4]. Энергия высокоинтенсивного излучения поглощается тонким поверхностным слоем облучаемого материала. В массе поглощенного слоя возникают высокие плотности энергии, значительно превышающие энергию сублимации. В результате этого облучаемое вещество почти мгновенно разогревается до степени перехода в газообразное, сублимированное, состояние. Происходит быстрый разлет сублимированного вещества со свободной поверхности и образование ударной волны, распространяющейся вглубь холодного материала. Всей конструкции сообщается механический импульс отдачи, численно равный интегралу $\int p(t)dt$, где $p(t)$ –

давление, действующее на границу раздела твердого и сублимированного веществ.

Удельный импульс при падении излучения по нормали к поверхности (J_0) вычисляется по известным значениям поглощенной энергии сублимации материала. Угловое распределение удельного импульса дается выражением:

$$J = J_0 \cos(\varphi), \quad (1)$$

где φ – угол между направлением потока излучения и нормалью к облучаемой поверхности.

Время действия импульса зависит от спектра излучения и физико-химических свойств материала конструкции и варьируется в интервале $\tau = 0,1 \div 10$ мкс.

Основным методом исследования поведения элементов конструкций при действии механического импульса на данный момент является проведение испытаний образцов при нестационарном нагружении устройствами воспроизведения механического действия высокоинтенсивных излучений.

Цель данной работы:

1. Сделать краткий обзор существующих методов и установок генерации импульса давления на поверхности конструкций.
2. Предложить и описать новый способ реализации импульса давления на поверхности конструкции большой протяженности.
3. Показать разницу в динамическом отклике конструкции при действии импульса давления, являющегося результатом использования традиционных методов и предложенного нового метода с использованием светочувствительного взрывчатого вещества.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И УСТАНОВКИ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ

Существующие методы и установки для исследования и моделирования действия высокоинтенсивных потоков излучения разделяют на три группы:

1. методы и установки генерации высокоэнергетического излучения;
2. методы и установки для моделирования действия высокоэнергетического излучения импульсными пучками частиц;
3. газодинамические методы моделирования механического действия высокоэнергетического излучения.

К первой группе относятся установки для генерации мощных потоков излучения с использованием высокотемпературной плазмы [1]. Разработки в этой области стимулируются исследованиями в области управляемого термоядерного синтеза. Например, установки, использующие мощный электрический импульс для создания плазменного шнура. Установки на основе взрывоманитных генераторов. К установкам такого типа относятся: BLACK JACK-5 (США), SATURN (США), SHIVA-STAR(США), АНГАРА-5-1 (РФ).

Лайнеры, являющиеся источником высокотемпературной плазмы в этих установках, являются также интенсивными источниками ультрафиолетового излучения и мягкого РИ как в момент схлопывания, так и на стадии ускорения.

В настоящее время лабораторные установки для генерации мягкого РИ позволяют создавать на площадях $\sim 1000 \text{ см}^2$ плотности энергий в единицы калорий на квадратный сантиметр, что, как показывает практика, явно недостаточно при решении прикладных задач. В настоящее время идет работа над созданием более мощных установок.

Ко второй группе относятся генераторы мощных пучков частиц, преимущественно электронов.

Возможность применения пучков электронов, разгоняемых современными

ускорителями, для моделирования воздействия РИ, имеется потому, что сопоставимы уровни энерговыделения в облучаемых материалах, а также, например, глубины проникновения фотонов и электронов. А некоторыми особенностями, возникающими при поглощении электронных пучков (радиационными дефектами, пробоем диэлектрических материалов) при изучении механических повреждений, можно пренебречь.

Среди известных мировых ускорителей электронов можно отметить HERMES II (США) [5], AURORA (США) [5], Proto II (США) [5], ИГУР-1 (РФ), ГАММА-1 (РФ).

Использование мощных ускорителей заряженных частиц для моделирования импульса давления возможно, но только в специальных лабораториях и на образцах материалов ограниченных размеров. Испытания конструкций в условиях полигона не представляется возможным также ввиду удаленности установок-источников частиц от испытательных площадок, а перемещение установок трудноосуществимо.

Наиболее удобными в плане реализации и относительно недорогими являются методы и установки третьей группы – газодинамические методы.

К этой группе относятся методы и установки, в которых импульсное нагружение объекта испытаний создается в результате взрыва заряда ВВ.

Основные достоинства методов этой группы – относительная простота, возможность нагружения поверхностей с большой площадью и испытания в полигонных условиях конструкций сложной формы. Энергетические и геометрические параметры ВВ позволяют изменять амплитуды и длительности нагрузок в широких пределах и независимым образом. Помимо задания геометрии и использования различных ВВ на характер импульса нагрузки влияют способы и временная последовательность детонирования, а также механические свойства прокладок между зарядом и испытываемыми элементами конструкций. Длительность импульса при газодинамическом методе может варьироваться в интервале $10^{-6} \dots 10^{-5}$ с, а импульс давления – $0,5 \dots 5$ кПа·с.

Основные методы создания импульсного нагружения третьей группы перечислены ниже.

КОНТАКТНЫЙ СЕКТОРНЫЙ ЗАРЯД [1]

Позволяет создавать нагрузку микросекундной длительности. Заряд состоит из листового ВВ, разбитого на небольшие участки сектора с зазором между секторами $\sim 0,5$ мм для исключения "ножевого эффекта" встречи ударных волн. Каждый участок инициируется отдельно. Это позволяет обеспечить одновременность нагружения на большой поверхности. Метод позволяет создать импульс давления $J_p = 0,8 \dots 5$ кПа·с длительностью $\tau = 10^{-6} \dots 10^{-5}$ с.

МЕТОД СКОЛЬЗЯЩЕЙ ДЕТОНАЦИИ [6,7]

Заряд состоит из листового ВВ, который наклеивается непосредственно на объект испытаний или на поверхность демфера. ВВ инициируется в одной точке электродетонатором. Длительность импульса может варьироваться в интервале $\tau = 10^{-6} \dots 10^{-5}$ с, а импульс давления – $J_p = 0,5 \dots 5$ кПа·с.

Для испытаний многих конструкций требуется создание импульса меньшего, чем при скользящей детонации слоя пластического ВВ минимальной толщины (порядка 0,5 мм). С этой целью применяются перфорированные листы ВВ, в которых удельная масса ВВ уменьшается за счет равномерно расположенных отверстий, как показано на рисунке 1.

Выбор диаметра отверстий и схема их расположения позволяют уменьшить удельную массу ВВ (и соответственно механический импульс). При одноточечном

инициировании ВВ существует одновременность приложения нагрузки (10-100 мкс) по поверхности объектов с характерным размером 0,5-2 м, а также возникают трудности организации детонации по всей поверхности, прерывание детонации в листовом ВВ из-за уменьшения толщины до критической величины, при которой детонация не происходит. Подобное нагружение существенно влияет на картину деформирования оболочечных конструкций.

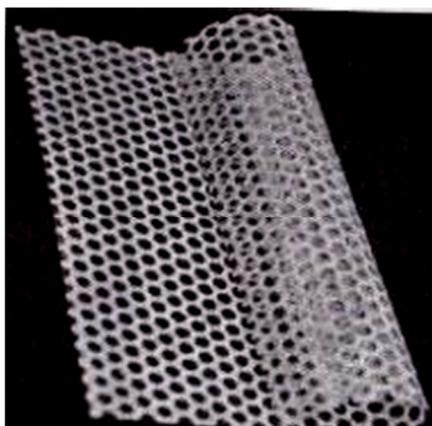


Рис. 1 – Перфорированный лист ВВ

Дальнейшее совершенствование газодинамического (взрывного) метода воспроизведения механического действия высокоинтенсивного излучения связано с решением вопроса о малых уровнях воздействия. Необходима разработка методик формирования малых и сверхмалых импульсов давления. А также решение вопроса об одновременности детонации на большой поверхности.

Для создания механического импульса малой амплитуды и меньшей по сравнению с зарядом пластичного ВВ длительностью на поверхностях большой площади предлагается контактный светодетонирующий заряд, выполненный из тонкого слоя светочувствительного ВВ (СВВ). Этот способ удовлетворяет перечисленным выше требованиям.

В Сандийской лаборатории еще в 60-70 х годах прошлого века была создана установка LINE (Ligh-Initiated High Explosive) на основе СВВ SASN (ацетиленид-нитрат серебра) для моделирования импульсного механического воздействия высокоинтенсивного излучения на образцы военной техники [8-10].

Из перспективных светочувствительных взрывчатых составов известны составы на основе перхлората ртути и перхлората меди и гексаметилентрипероксиддиамин [11]. Ниже рассмотрен состав на основе перхлората ртути.

СОСТАВ ВС-2

Основой для СВВ ВС-2 является комплексный перхлорат ртути (II) с 1-Н-5-гидразинотеразолом в качестве лиганда [11].

Вещество представляет собой белое кристаллическое вещество, характеристики которого приведены в таблице 1.

Состав ВС-2 чувствителен к механическим воздействиям. Для устранения этого фактора применяется матрица из оптически прозрачного полимера: поли-2-метил-5-винилтетразола. Состав ВС-2 готовится смешением светочувствительной соли с раствором полимера в легколетучем растворителе. После испарения органического растворителя состав содержит субмикронные частицы ВВ, покрытые пленкой полимера. Готовый состав содержит 10% полимера и 90% комплексного перхлората ртути (II).

Для испытаний состав ВС-2 помещался в латунные колпачки диаметром 5 мм, высотой 3 мм и толщиной стенки 0,5 мм.

Проведенные испытания экспериментальной сборки [12-14] из нескольких колпачков с составом ВС-2 при освещении импульсным источником света показали синхронность детонации. Исследование разновременности инициирования светочувствительных зарядов ВС-2 было проведено в серии опытов по схеме, представленной на рисунке 2.

Таблица 1. – Свойства комплексного перхлората ртути (II)

Характеристика	Значение
Молекулярная масса	499,571
Плотность монокристалла, г/см ³ (расчет)	3,45
Кислородный баланс, %	+12,8
Кислородный коэффициент, %	180
Температура вспышки, °С (задержка 5 с)	186
Температура начала разложения, °С (скорость нагрева 5 ⁰ С/мин)	165
Температура начала интенсивного разложения, °С (скорость нагрева 5 ⁰ С/мин)	175
Чувствительность к удару, мм (копер Веллера) (100% отказа/100% срабатывания)	60/125
Чувствительность к лучу огня огнепроводного шнура, мм (100% воспламенения/100% отказа)	60/150
Скорость детонации при плотности 3,4 г/см ³ , км/с (расчет)	6

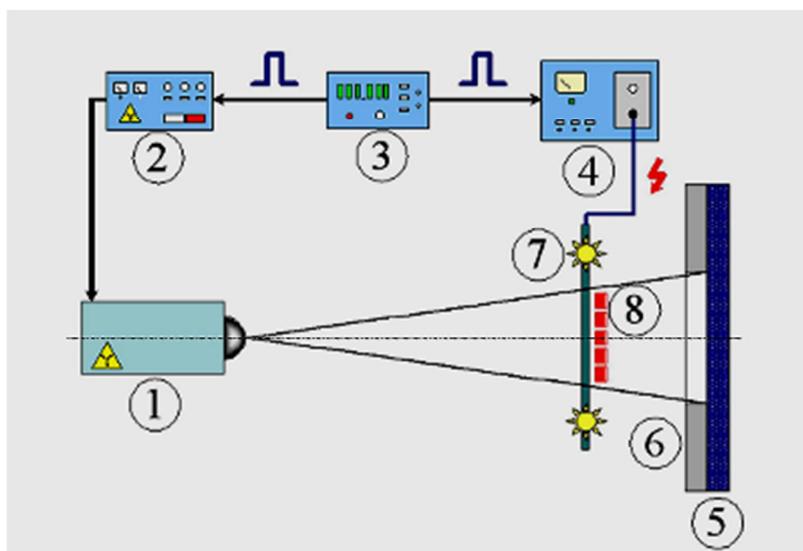


Рис. 2. – Схема опыта: 1 – рентгеновский источник, 2 – контрольная панель, 3 – устройство задержки сигнала, 4 – накопитель электрической энергии, 5 – защищенная кассета с рентгеновской пленкой, 6 – свинцовая маска-поглотитель излучения, 7 – некогерентный источник света, 8 – экспериментальная сборка (пять светодетонаторов, содержащих светочувствительный состав ВС-2)

Сборка из пяти зарядов светочувствительного состава ВС-2 устанавливалась вдоль стримерных дорожек газоразрядного линейного генератора некогерентного излучения, питанием для которого служил накопитель электрической энергии. Контроль за разрядом накопителя электрической энергии осуществляло задерживающее устройство, которое обеспечивало как генерацию электрического сигнала накопителя электрической энергии для освещения мишени в момент времени τ , так и рентгеновскую съемку процесса инициирования светодетонаторов рентгеновским аппаратом в момент времени $\tau + \Delta\tau$. Интервалы времени задержки $\Delta\tau$ составляли 0, 5,

10, 20, 30 мкс с момента генерации светового импульса. Расстояние между рентгеновским аппаратом и исследуемым объектом по сравнению с дистанцией между снимаемым объектом и кассетой с рентгеновской пленкой было $L/l = 2,38$, что соответствовало коэффициенту увеличения изображения $K = 1,42$. Предварительные исследования показали, что мощность рентгеновского излучения аппарата недостаточна для инициирования светодетонаторов ВС-2.

Полученные рентгеновские фотографии процесса инициирования светочувствительного состава ВС-2 некогерентным источником света приведены на рисунке 3.

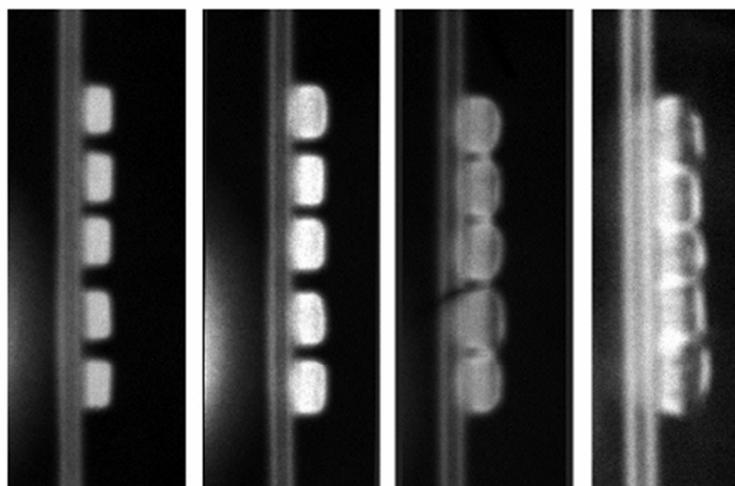


Рис. 3. – Рентгенографические снимки процесса детонации экспериментальной сборки

Визуальный анализ полученных изображений движения светодетонаторов с составом ВС-2 под действием продуктов взрыва в диапазоне $0 < \Delta t < 30$ мкс не обнаруживает заметных пространственных дивергенций. При этом следует отметить, что время 30 мкс значительно превышает время инициирования заряда бризантного вещества продуктами взрыва первичного заряда светочувствительного состава ВС-2.

В соответствии с точными геометрическими расчетами положения светодетонаторов в пространстве на рентгеновских фотографиях было показано, что разновременность инициирования зарядов состава ВС-2 импульсным источником некогерентного излучения не превышает $\Delta t \pm 3$ мкс, что удовлетворяет условиям решения большинства газодинамических задач [12].

Анализ рентгеновских снимков приводит к выводу, что время зажигания светочувствительного состава ВС-2 в изделиях не превышает 10 мкс, что примерно в пятьдесят раз меньше времени срабатывания модельного светодетонатора [12].

При подготовке к испытаниям данный состав может быть нанесен на поверхность конструкции в растворенном виде. После высыхания состава конструкция готова к испытаниям. Иницирование состава может производиться облучением, как в вышеприведенном примере, электровзрывным источником света (ЭВИС) в совокупности с накопителем энергии (ИИС-11) с рабочим напряжением 30 кВ. Усредненные характеристики источника приведены в таблице 2 [12].

Таблица 2. – Характеристики импульса ЭВИС в совокупности с ИИС-11

Параметры	Значение
Яркостная температура в синем свете, К	22 000
Длительность фронта t_H , мкс	1,220
Длительность Δt , мкс	1,972

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТОНКОСТЕННЫЕ ОБОЛОЧКИ

Решалась задача импульсного нагружения тонкостенных оболочек конической и цилиндрической формы характерным для метода скользящей детонации и для метода с использованием СВВ давлением.

Задача решалась для систем: "оболочка – точечная масса". Геометрические параметры оболочек показаны на рисунке 4. Размещение точечной массы показано также на рисунке 4.

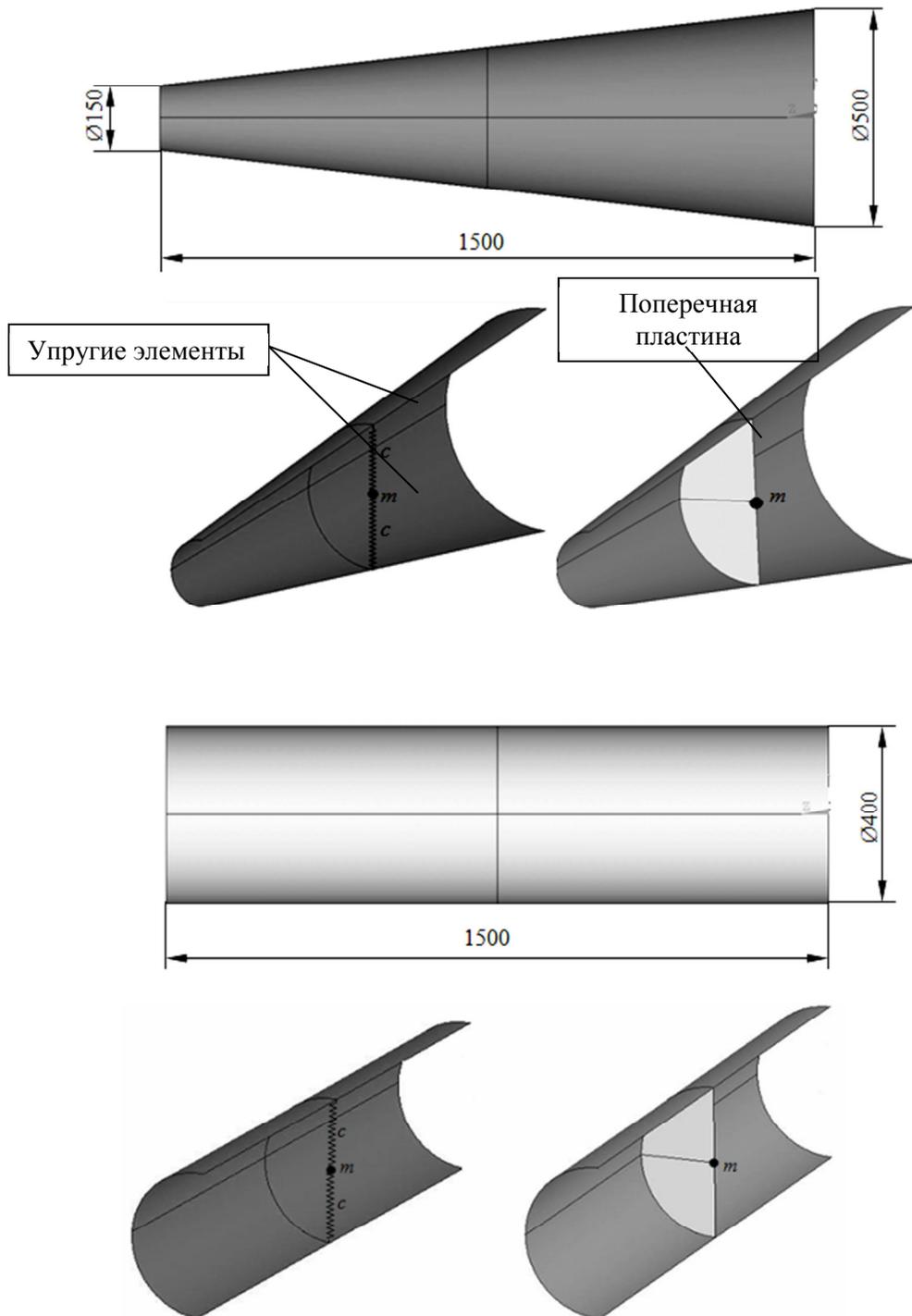


Рис. 4. – Геометрические параметры оболочек и размещение точечной массы

Материал оболочек – сплав АМгб. Физико-механические характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Физико-механические характеристики

Характеристика	Значение
Плотность, кг/м ³	2700
Модуль упругости, МПа	68000
Коэффициент Пуассона	0,3
Предел текучести, МПа	160

Толщина оболочки во всех расчетах составляет $h=10$ мм. Жесткость упругих элементов составляет $c = 2,5 \cdot 10^6$ Н/м. Точечная масса принималась $m = 0,1$ кг и $m = 10$ кг. Граничные условия для оболочек – шарнирное опирание по краям.

Нагружение в виде давления прикладывалось к поверхности (на рисунке 5 эти поверхности выделены более темным цветом). Нагрузка распределялась по косинусу согласно формуле (1). Рассматривалось два варианта приложения нагрузки:

1. мгновенное приложение нагрузки ко всей поверхности,
2. на каждую элементарную площадку поверхности давление прикладывалось в определенный момент времени, который определялся по формуле:

$$t = \frac{\Delta l}{D} \quad (2)$$

где t – время приложения нагрузки, с;

Δl – расстояние от заданной точки начального приложения импульса давления до середины элементарной площадки, м;

D – скорость распространения воздействия, м/с (для метода скользящей детонации D – скорость детонации ВВ).

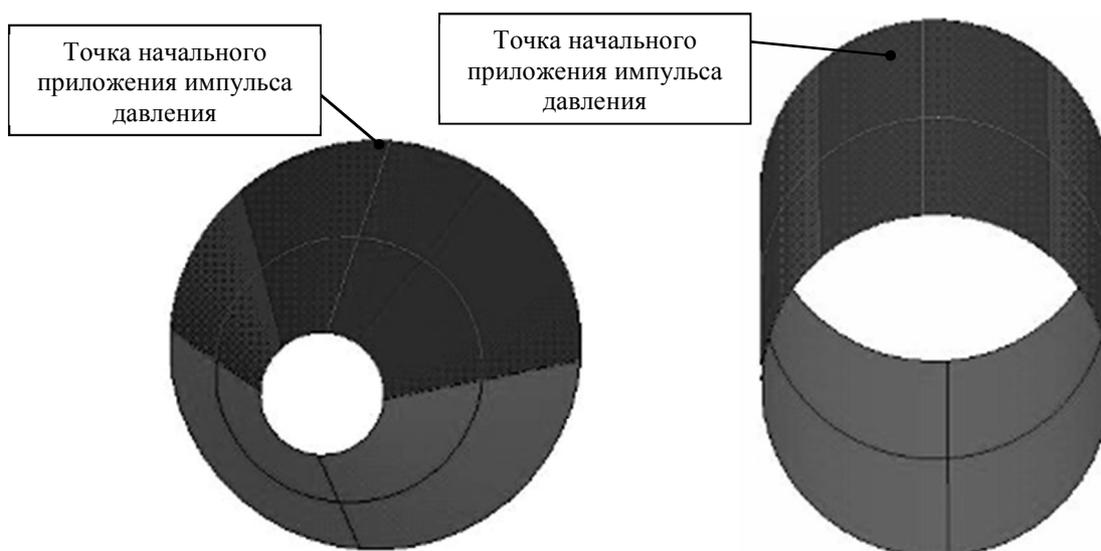


Рис. 5. – Поверхности нагружения

Импульс давления, принятый в расчетах, имел форму, показанную на рисунке 5.

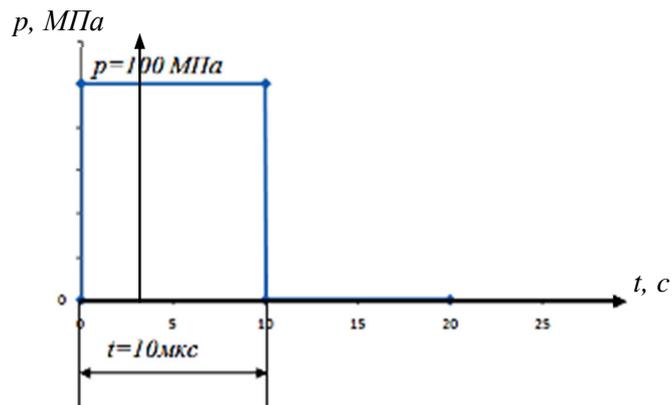


Рис. 6. – Форма импульса давления

В результате решения данной задачи получены графики изменения перегрузки во времени точечной массы в направлении действия результирующей силы.

КОНИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

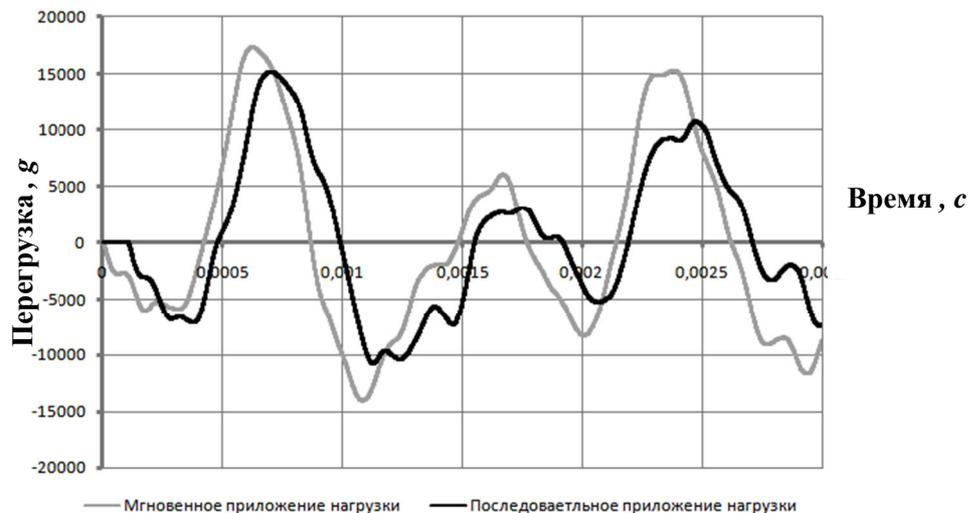
Рис. 7. – График перегрузки точечной массы $m=10$ кг, подвешенной на упругих элементахРис. 8. – График перегрузки точечной массы $m=0.1$ кг, подвешенной на упругих элементах



Рис. 9. – График перегрузки точечной массы $m=10$ кг, находящейся в центре поперечной пластины



Рис. 10. – График перегрузки точечной массы $m=10$ кг, подвешенной на упругих элементах

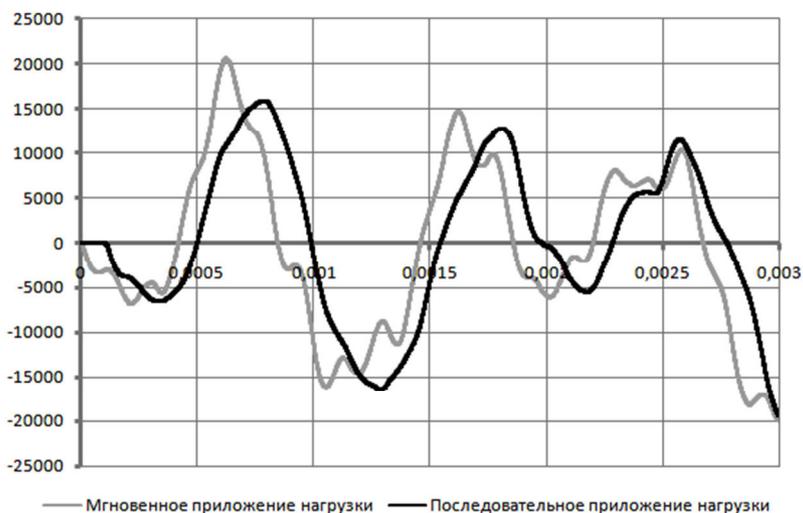


Рис. 11. – График перегрузки точечной массы $m=0.1$ кг, подвешенной на упругих элементах

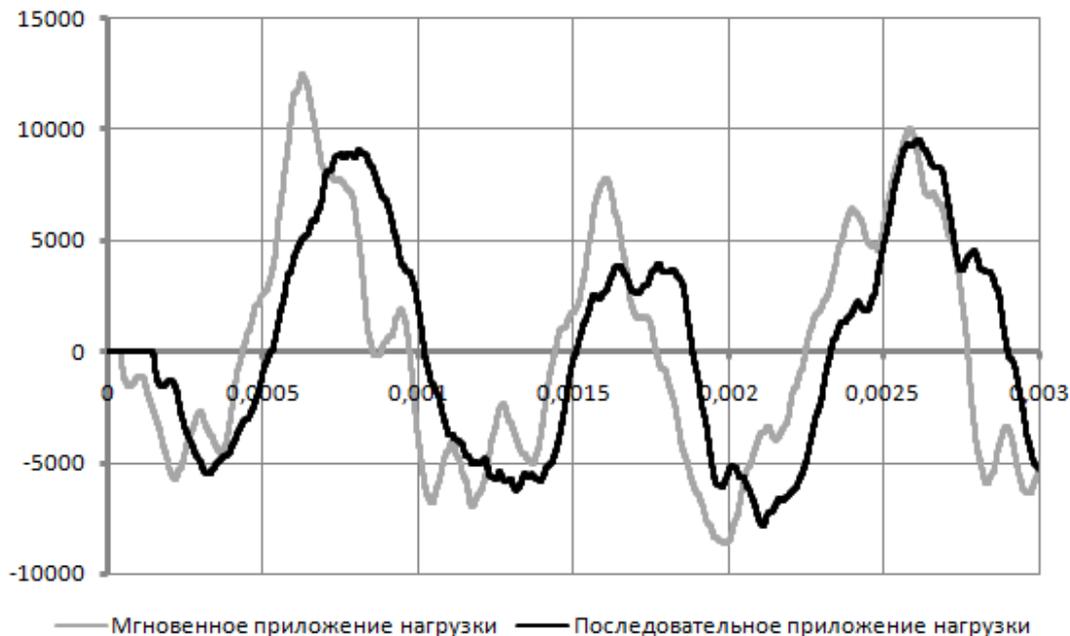


Рис. 12. – График перегрузки точечной массы $m=10$ кг, находящейся в центре поперечной пластины

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что характер прилагаемой нагрузки (мгновенное приложение ко всей поверхности или распространение по поверхности с определенным временным шагом) существенно влияет на динамику оболочки и масс, расположенных внутри. Особенно это проявляется при увеличении жесткости упругих связей, соединяющих точечную массу и оболочку, или при уменьшении собственно массы точечного элемента. Другими словами, влияние характера нагружения увеличивается с увеличением частоты собственных колебаний точечной массы. И если учесть, что при воздействии РИ или другого высокоинтенсивного излучения импульс давления формируется практически мгновенно на всей освещенной поверхности, то для моделирования и испытаний конструкций на воздействие такого рода предпочтительно использование методики с применением СВВ.

ВЫВОДЫ

В работе представлен общий обзор существующих методов реализации импульсного давления на поверхностях конструкций. Сделан вывод, что для реализации нагружения микросекундной длительности на поверхности большой площади на сегодняшний день наиболее приемлемы газодинамические методы (с использованием ВВ).

Дано описание СВВ. Предложен способ создания импульса давления с использованием СВВ. Приведены результаты численного расчета динамики конической и цилиндрической оболочки при действии импульса давления, являющегося результатом использования метода скользящей детонации и предложенного нового способа с использованием СВВ. Показана разница в динамическом отклике конструкций при различном характере приложения нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин, В.Н. и др. Механическое действие рентгеновского излучения на тонкостенные композиционные конструкции [Текст] / В.Н. Бакулин, В.М. Грибанов, А.В. Острик, Е.А. Ромадинова, А.А. Чепрунов. – М.: "Наука", 2008. – 256 с.
2. Острик, А.В. и др. Методы моделирования механического действия излучений на материалы и конструкции [Текст] / А.В. Острик, В.П. Петровский, А.А. Чепрунов // Научно-техн. сб. №1 ЦФ-ТИ МО РФ. Сергиев Посад, 1997. – 75 с.
3. Физика ядерного взрыва. В 5 т. Том 3 Воспроизведение факторов взрыва [Текст] / МО РФ. 12 ЦНИИ. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2013. – 472 с.
4. Немчинов, И.В. Разлет плоского слоя газа при постепенном выделении энергии [Текст] / И.В. Немчинов. // ПМТФ. 1961, №1. С. 17–26.
5. High-power electron and ion beam generation. John A. Nation. Laboratory of Plasma Studies and School of Electrical Engineering Cornell University, Ithaca, New York 14853 (Received January 29, 1979)
6. Могилев, В.А. и др. Техника взрывного эксперимента для исследования механической стойкости конструкций [Текст] / В.А. Могилев, С.А. Новиков, Ю.И. Файков. – Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", 2007. – 215 с.
7. Голубев, В.К. и др. О механическом нагружении преград скользящей детонацией тонкого слоя ВВ [Текст] / В.К. Голубев, Ю.А. Крысанов, С.А. Новиков, А.И. Рябкин // ФГВ. – 1991. – Т. 27. – №4. – С. 94–99.
8. Benham R A. Simulation of X-ray blow-off impulse loading on a reentry vehicle AFT end using light-initiated high explosive. The Shock and Vibration bulletin, 1975. P. 183–189.
9. Nevill G E, Jr, et al. Impulse loading using sprayed silver acetylide-silver nitrate. Experimental mechanics. 1965, Vol. 5. P. 294–298.
10. "Let there be LINE". SANDIA LAB News, March 2, 2007.
11. Илюшин, М.А. и др. Разработка компонентов высокоэнергетических композиций [Текст] / И.А. Илюшин, И.В. Целинский, А.М. Судариков; под ред. И.В. Целинского. – СПбГТИ (ТУ), 2006. – 150 с.
12. Герасимов, С.И. и др. Кумулятивные источники света [Текст] / С.И. Герасимов, Ю.И. Файков, С.А. Холин. – Саров: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", 2011. – 327 с.
13. Фундаментальные основы баллистического проектирования: IV Всероссийская научно-техническая конференция. Сборник материалов [Текст] / Под ред. Б.Э. Кэрта; Балт. гос. ун-т. – СП., 2014. С. 78.
14. Герасимов, С.И. и др. Исследование особенностей инициирования светочувствительных взрывчатых составов некогерентным излучением [Текст] / С.И. Герасимов, В.А. Кузьмин // Труды Международной конференции «16 Харитоновские научные чтения». – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2014. – С. 90–93.

REFERENCES

- [1] Bakulin V.N., Griбанov V.M, Ostriк A.V., Romadinova Ye.A., Cheprunov A.A. Mekhanicheskoye deystviye rentgenovskogo izlucheniya na tonkostennye kompozitsionnye konstruksii. [Mechanical action of X-ray radiation on thin-walled composite designs]. M. Pub. "Nauka" [Science], 2008, ISBN 978-5-9221-0967-3, 256 p. (in Russian)
- [2] Ostriк A.V., Petrovsky V.P., Cheprunov A.A. Metody modelirovaniya mekhanicheskogo deystviya izlucheny na materialy i konstruksii. [Methods of mechanical action modeling of radiations on materials and designs] [Scientific and technical digest № 1 CPh-TI MR Russian Federation]. Sergiev Posad, 1997, 75 p. (in Russian)
- [3] Fizika yadernogo vzryva. V 5 t. Tom 3 Vosproizvedeniye faktorov vzryva. [Physics of nuclear explosion. In 5 vol. Volume 3 Reproduction of factors of explosion] [MR Russian Federation 12CSRI]. M. Pub. "Izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury" [Publishing house of physical and mathematical literature], 2013, ISBN 978-5-94052-219-5, 472 p. (in Russian)
- [4] I.V. Nemchinov. Razlet ploskogo sloya gaza pri postepennom vydelenii energii. [Scattering of a flat gas layer at gradual allocation of energy] [PMTPh], 1961, №1, ISSN 0869-5032, p. 17–26. (in Russian)
- [5] High-power electron and ion beam generation. John A. Nation. Laboratory of Plasma Studies and School of Electrical Engineering Cornell University, Ithaca, New York 14853 (Received January 29, 1979)
- [6] Mogilev V.A., Novikov S.A. Faykov Yu.I. Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlya issledovaniya

- mekhanicheskoy stoykosti konstruktsy. [Explosive experiment techniques for research of mechanical firmness of designs]. Sarov. FGUP "RFYaTs-VNIIEF" [Russian Federal Nuclear Center - The All-Russian Research Institute of Experimental Physics], 2007, ISBN 5-9515-0072-9, 215 p. (in Russian)
- [7] Golubev V.K., Krysanov Yu.A., Novikov S.A., Ryabikin A.I. O mekhanicheskom nagruzhenii pregrad skolzyashchey detonatsiyey tonkogo sloya VV [About mechanical loading of barriers the sliding detonation of a thin layer of VV] [FSV], 1991, Vol. 27, №4, ISSN 0430-6228, p. 94–99. (in Russian)
- [8] Benham R A. Simulation of X-ray blow-off impulse loading on a reentry vehicle AFT end using light-initiated high explosive. The Shock and Vibration bulletin, 1975. P. 183–189.
- [9] Nevill G E, Jr, et al. Impulse loading using sprayed silver acetylide-silver nitrate. Experimental mechanics. 1965, Vol. 5, ISSN 1741-2765 P. 294–298.
- [10] "Let there be LIHE". SANDIA LAB News, March 2, 2007.
- [11] Ilyushin M.A., Tselinsky I.V., Sudarikov A.M. i dr. Razrabotka komponentov vysokoenergeticheskikh kompozitsy [Development of components of high-energy compositions] edited by Tselinsky I.V., SPbSTI (TU), 2006, 150 p. (in Russian)
- [12] Gerasimov S.I., Faykov Yu.I., Kholin S.A. Kumulyativnye istochniki sveta. [Cumulative light sources]. Sarov. FGUP "RFYaTs-VNIIEF" [Russian Federal Nuclear Center - The All-Russian Research Institute of Experimental Physics], 2011, ISBN 978-5-85165-639-2, 327 p. (in Russian)
- [13] Fundamentalnye osnovy ballisticheskogo proyektirovaniya: IV Vserossyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Sbornik materialov. [Fundamental bases of ballistic design: IV All-Russian scientific and technical conference. Collected edition of materials] edited by B. E. Kert [Baltic State University]. SP. Pub. 2014, ISBN 978-5-85546-824-3, p. 78. (in Russian)
- [14] Gerasimov S.I., Kuzmin V.A. Issledovaniye osobennostey initsirovaniya svetochuvstvitelny vzryvchatykh sostavov nekogerentnym izlucheniym [Research of features of initiation are photosensitive explosive structures incoherent radiation] [Works of the International conference "16 Haritonov's scientific readings"]. Sarov. FGUP "RFYaTs-VNIIEF" [Russian Federal Nuclear Center – The All-Russian Research Institute of Experimental Physics], 2014, p. 90–93. (in Russian)

Pulse Loading of the Extended Design by Means of Power Materials

**S.I. Gerasimov^{1,2,3}, V.I. Yerofeyev⁴, V.A. Kuzmin^{2,3}, P.G. Kuznetsov¹, Ye.G. Kosyak¹,
N.L. Telyakova¹**

¹ Sarov Physics and Engineering Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»
6 Duhova St., Sarov, Nizhegorodskaya region, Russia 607186
e-mail: sarfti@mephi.ru ; s.i.gerasimov@mail.ru

² Federal state unitary enterprise «The Russian Federal Nuclear Center – the All-Russian Research
Institution of Experimental Physics»,
37 Mira Avenue, Sarov, Nizhegorodskaya region, Russia 607188
e-mail: staff@vniief.ru

³ Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
24, Minina st., Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russia 603950
e-mail: nntu@nntu.nnov.ru

⁴ Institute of Mechanical Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod
85, Belinskogo st., Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod region, Russia 603024
e-mail: pevn@uic.nnov.ru

Abstract – It is shown that interaction of the powerful light waves generated by incoherent pulse gas-discharge sources, with photosensitive perchlorates charges which are power sated complex: 3(5) - gidrazino-4-amino-1,2,4-mercury (II) and 1-H-5-gidrazinotetrazol as a ligand it can be used in a technique of creation of pulse loads of extended designs.

Keywords: optical initiation, VS-2 pyrotechnic structure.