

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДЕТОНАЦИИ ОТ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ К ДИСКОВЫМ ЗАРЯДАМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Сычѳв Алексей Анатольевич (AASychev@vniief.ru), Власов Юрий Валентинович

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Исследования в области физики высоких плотностей энергии требуют мегаамперные импульсы тока с микросекундным временем нарастания. Источники энергии на основе дисковых взрывомагнитных генераторов (ДВМГ) с запиткой от спиральных взрывомагнитных генераторов способны обеспечить в индуктивной нагрузке токи до 100 МА. При таких токах множество параметров влияют на работу формирователя импульса тока и могут снизить его выходные характеристики. Одной из основных частей такого устройства является система инициирования (СИ) ДВМГ. Проблема передачи детонации от СИ к заряду взрывчатого вещества (ВВ) ДВМГ зачастую затрудняет разработку устройства. Для стабильной работы ДВМГ необходимо обеспечить синхронный подрыв его секций, который зависит от работы СИ.

В докладе приведены результаты исследования передачи детонации от системы инициирования к дисковым зарядам модифицированной конструкции, а также определена разновременность выхода детонационной волны на наружную поверхность промежуточного заряда и имитатора дискового заряда.

Ключевые слова: дисковый взрывомагнитный генератор, система инициирования, электродетонатор, передача детонации.

RESEARCH OF DETONATION TRANSMISSION FROM INITIATION SYSTEM TO DISK CHARGES OF MODIFIED DESIGN

Sychyov Alexey Anatolevich (AASychev@vniief.ru), Vlasov Yuri Valentinovich

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

Research in the area of high energy density physics requires megaampere current pulses with a microsecond rise time. Energy sources based on disk magneto-cumulative generators (DMCG) powered by a helical magneto-cumulative generator can provide currents up to 100 MA in the inductive load. A lot of parameters at such currents influence the operation of a current pulse shaper and can decrease its output characteristics. One of the main parts of such a device is the initiation system (IS) of the DMCG. The problem of the detonation transmission from the IS to a high-explosive charge (HE) often makes difficulties for a device development. It is necessary to provide a synchronous explosion of the sections to make the operation of the DMCG stable. The synchronous explosion depends on the operation of the IS.

The results of the research of the detonation transmission from the initiation system to disk charges of the modified construction are provided in the report. The diversity of the detonation wave output on the external surface of an intermediate charge and a disc charge simulator is also determined.

Key words: disk magneto-cumulative generator, initiation system, electric detonator, detonation transmission.

Введение

Исследования в области физики высоких плотностей энергии требуют мегаамперные импульсы

тока с микросекундным временем нарастания. Источники энергии на основе ДВМГ [1] с запиткой от спиральных взрывомагнитных генераторов способны обеспечить в нагрузке токи до 100 МА. Такие

устройства весьма сложны и дороги в разработке и применении, а их конструкция постоянно модернизируется с целью повышения выходных характеристик и технологичности изготовления. Меняется геометрия отдельных элементов, а также способы их соединения друг с другом. Для проверки работоспособности модернизированных узлов устройства, а также определения моментов наступления некоторых характерных событий проводятся газодинамические расчеты и эксперименты. Модельные образцы помогают определить и устранить недостатки натурального устройства на стадии разработки.

Иницирование зарядов ВВ в ДВМГ обеспечивается устройством осевого иницирования. Его работоспособность подтверждена в ранее проведенных экспериментах. В докладе проводится исследования передачи детонации от системы иницирования к дисковым зарядам модифицированной конструкции, а также экспериментальная оценка времени от подачи подрывного импульса на электродетонатор (ЭД) до иницирования дискового заряда ВВ.

Описание модели

В работе исследовалась модель СИ модернизированной секции ДВМГ с зарядом ВВ (рис. 1), выполненная в масштабе 1:1. Модель представляет собой две медные тарели 10, рис. 1, и имитатор заряда ДВМГ. Внутри помещается перфорированная резьбовая латунная втулка 5 с обеих сторон, которой накручиваются медные конусы 6. Для снижения механического воздействия на дисковые заряды ВВ, возникающего при сборке генератора, установлен алюминиевый цилиндр 8 толщиной 3 мм. Вся конструкция работает от устройства осевого иницирования, помещенного в трубчатый лавсановый изолятор 4.

Передача детонации от системы иницирования к дисковому заряду 9 осуществляется следующим образом. С помощью ЭД иницируется цилиндрический заряд из пластического ВВ 2. Ударная волна

через слои органического стекла, лавсанового изолятора и перфорированную латунную втулку иницирует промежуточный заряд, который в свою очередь, через алюминиевый перфорированный цилиндр, возбуждает детонацию в дисковом заряде. Отверстия в перфорированной втулке 5 и отверстия в цилиндре 8 заполнены ВВ. Таким образом, суммарная толщина инертных материалов в системе иницирования ДВМГ уменьшилась примерно в 4 раза по сравнению с используемой ранее.

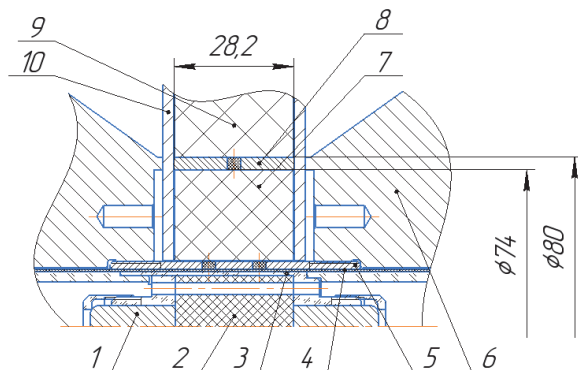


Рис. 1. Эскиз модернизированной секции ДВМГ с зарядом ВВ: 1 – электродетонатор, 2 – заряд из пластического ВВ, 3 – корпус (оргстекло), 4 – трубчатый изолятор СИ (лавсан), 5 – перфорированная втулка (латунь), 6 – конус (медь), 7 – промежуточный заряд ВВ, 8 – перфорированный цилиндр (алюминий), 9 – дисковый заряд ВВ, 10 – тарель (медь)

При исследованиях рассматривались две схемы:

– модель системы иницирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора промежуточному заряду ВВ (рис. 2);

– модель системы иницирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора дисковому заряду ВВ (рис. 3).

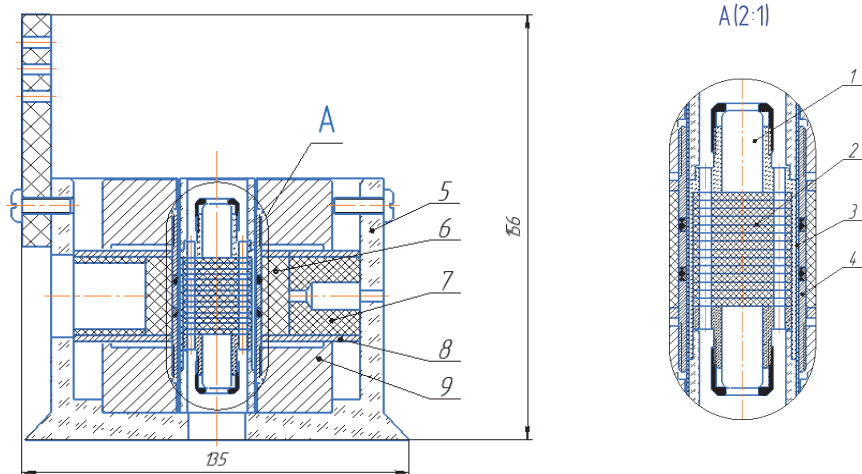


Рис. 2. Эскиз модели системы иницирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора промежуточному заряду ВВ: 1 – ЭД, 2 – заряд ВВ, 3 – трубчатый изолятор СИ, 4 – перфорированная втулка латунная, 5 – корпус, 6 – промежуточный заряд ВВ, 7 – вставка, 8 – медная стенка, 9 – втулка

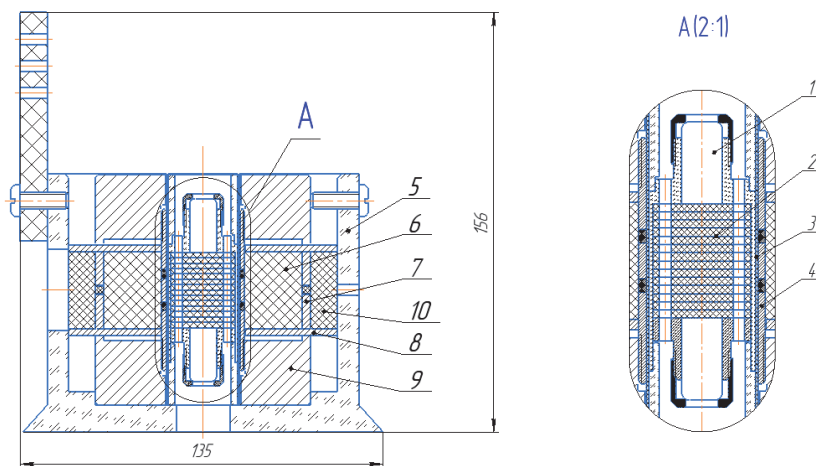


Рис. 3. Эскиз модели системы инициирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора дисковому заряду ВВ: 1 – ЭД, 2 – заряд ВВ, 3 – трубчатый изолятор СИ, 4 – перфорированная втулка латунная, 5 – корпус, 6 – промежуточный заряд ВВ, 7 – перфорированная втулка алюминиевая, 8 – медная стенка, 9 – втулка, 10 – имитатор дискового заряд ВВ

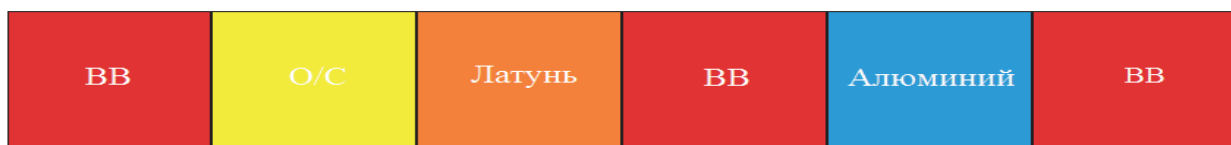


Рис. 4. Слойка веществ в модели системы инициирования ДВМГ: О/С – органическое стекло

Постановка экспериментов

Газодинамические эксперименты по исследованию передачи детонации от инициатора к промежуточному и дисковому зарядам ВВ ДВМГ проводились на моделях систем инициирования ДВМГ (см. рис. 2 и 3). С каждой моделью проведено по два опыта. В первых двух экспериментах проводилась регистрация момента выхода детонационной волны на поверхность промежуточного заряда ВВ диаметром 50 мм 6, рис. 2, в последующих – на поверхность имитатора дискового заряда ВВ диаметром 100 мм 10, рис. 3.

Иницирование заряда ВВ 2, рис. 2, 3 проводилось с помощью двух ЭД. Медная стенка 8 и втулка 9 имитируют тарель 10, рис. 1, и конус 6, рис. 1, модернизированного ДВМГ.

Регистрация момента выхода фронта детонационной волны на цилиндрические поверхности зарядов ВВ проводилась с помощью скоростного фоторегистратора (СФР) в режиме щелевой развертки на фотопленку и тремя оптическими датчиками (световодами) расположенными равномерно по окружности заряда с шагом 90°. Выводы световодов объединялись в вертикальную группу с последующей регистрацией излучения на СФР в режиме щелевой развертки. Для регистрации момента подачи подрывного импульса на ЭД применялся воздушный разрядник.

Расчет времени выхода детонационной волны на поверхность заряда

Для определения момента выхода детонационной волны на поверхность промежуточного 6, рис. 2, и дискового 10, рис. 3, зарядов ВВ от момента подачи подрывного импульса на ЭД вычислялась скорость ударной волны D в каждом веществе слоики в модели системы инициирования ДВМГ на рис. 4, с учетом последовательности расположения. Это делалось с помощью метода Р-и диаграмм [2]. Строился график зависимости $P(u)$ по формуле (1) для инертных материалов и (2) для ВВ. По точке пересечения определялись массовая скорость U вещества, а также давление на фронте ударной волны, затем вычислялась скорость ударной волны по формуле (3). Коэффициенты α , λ и ρ_0 в формулах (1, 3) взяты из [3, 4].

$$P = \rho_0 D U, \quad (1)$$

$$P = \frac{64}{27} \frac{\rho_0 D^2}{4} \left(1 - \frac{U}{D}\right)^3, \quad (2)$$

$$D = \alpha + \lambda U. \quad (3)$$

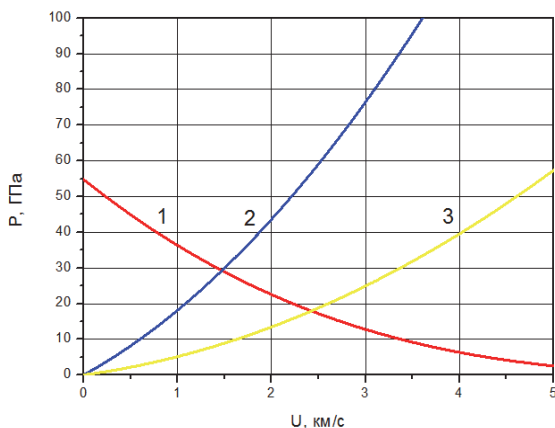


Рис. 5. Зависимость давления от массовой скорости:
1 – ВВ, 2 – алюминий, 3 – О/С

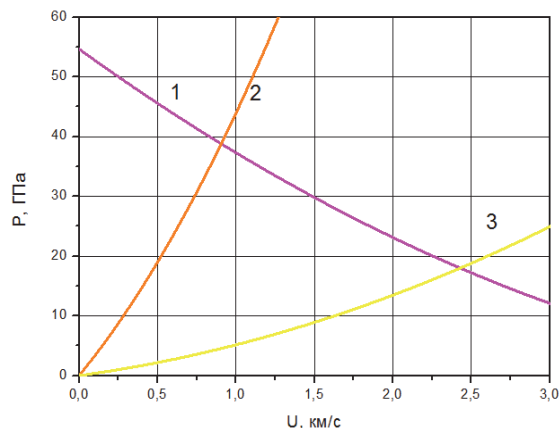


Рис. 6. Зависимость давления от массовой скорости:
1 – О/С второе сжатие, 2 – латунь, 3 – О/С

Волновые и массовые скорости на границе смежных веществ

	ВВ	О/С	Латунь	Алюминий
ρ_0 , г/см ³	1,52	1,19	8,41	2,71
U , км/с	1,95	2,43	0,9	1,47
D , км/с	7,8	6,27	5,1	7,33

Примечание: ρ_0 – плотность веществ, U – массовая скорость, D – скорость ударной или детонационной волны.

На рис. 5, 6 представлены графики зависимости давления P от массовой скорости U для каждого вещества слойки, рис. 4. Из приведенных соотношений можно определить условия, возникающие на границе раздела смежных веществ при ударно-волновом сжатии. Волновые и массовые скорости для каждого вещества приведены в таблице.

При штатной работе устройства расчетное время выхода детонационной волны на поверхность промежуточного заряда ВВ диаметром 50 мм 6, рис. 2, от момента подачи подрывного импульса на ЭД для первых двух экспериментах находится в интервале от 5,7 до 6,4 мкс. Этот интервал обусловлен наличием перфорации во втулке 4, и размерами отверстия для регистрации во вставке 7. Расчетное время выхода детонационной волны на поверхность имитатора дискового заряда ВВ диаметром 100 мм 10, рис. 3, находится в пределах от 8,9 до 9,4 мкс, что обусловлено наличием перфораций в латунной втулке 4, рис. 3, и алюминиевой втулке 7, рис. 3, а также размерами отверстия для регистрации, но уже в корпусе 5, рис. 3.

Результаты эксперимента

С устройством, имитирующим узел инициирования ДВМГ, проведено четыре эксперимента. Получены близкие результаты, согласующиеся с расчетами.

На рис. 7, 8 представлены фотохронограммы выхода фронта детонационной волны на поверхность промежуточного заряда ВВ диаметром 50 мм, зарегистрированные в первых двух экспериментах.

Обработка фотохронограмм показала, что передача детонации от ЭД к промежуточному заряду ВВ через слои инертных материалов осуществляется. Время выхода детонационной волны на поверхность промежуточного заряда ВВ соответствует расчету и находится в интервале от 5,4 до 6,1 мкс. В первом эксперименте проводилась регистрация выхода детонационной волны в одном сечении, во втором - зарегистрирована азимутальная составляющая разновременности, величина которой не превышает 0,7 мкс.

На рис. 9 представлена характерная фотохронограмма, полученная в одном из двух экспериментов по исследованию передачи детонации от промежуточного заряда ВВ к дисковому заряду через перфорированный алюминиевый цилиндр.

Время от подачи подрывного импульса на ЭД системы инициирования до выхода детонационной волны на поверхность имитатора дискового заряда ВВ диаметром 100 мм находится в пределах от 8,8 до 9,3 мкс, что согласуется с расчетами. Азимутальная разновременность инициирования не превышает 0,5 мкс. По результатам экспериментов можно судить о передаче детонации от системы инициирования к дисковым зарядам ДВМГ, что подтверждает работоспособность устройства.

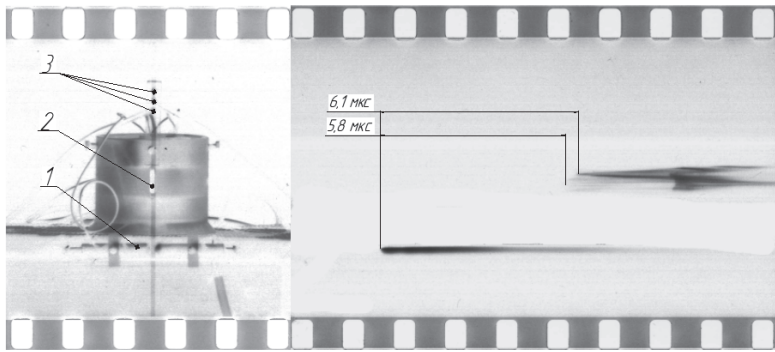


Рис. 7. Фотохронограмма первого эксперимента:
1 – воздушный разрядник, 2 – заряд ВВ, 3 – оптические датчики (световоды)

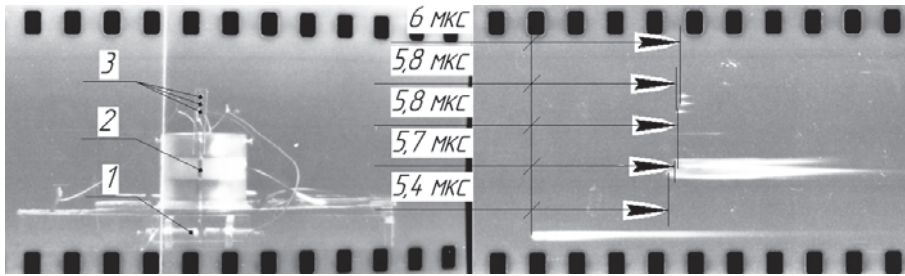


Рис. 8. Фотохронограмма второго эксперимента: 1 – воздушный разрядник, 2 – заряд ВВ, 3 – оптические датчики

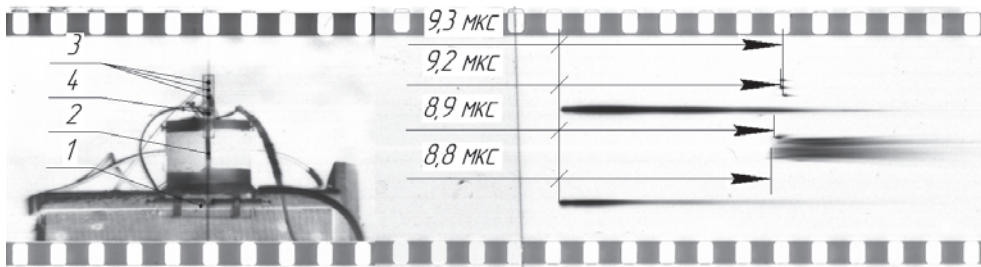


Рис. 9. Фотохронограмма четвертого эксперимента: 1 – воздушный разрядник, 2 – заряд ВВ, 3 – оптические датчики (световоды), 4 – ЭД

Заключение

Проведены расчетно-теоретические и экспериментальные исследования в интересах создания системы инициирования зарядов ВВ модернизированных дисковых секций многоэлементных ДВМГ. В ходе работы была разработана и испытана в четырех экспериментах модель системы инициирования многоэлементного ДВМГ, а также проведена экспериментальная оценка времени от подачи подрывного импульса на ЭД до инициирования дискового заряда ВВ.

Газодинамические эксперименты подтвердили передачу детонации от инициатора промежуточному и дисковому зарядам ВВ. Время выхода детонационной волны на поверхность промежуточного заряда ВВ диаметром 50 мм соответствует расчету и находится в интервале от 5,4 до 6,1 мкс от момента подачи подрывного импульса на ЭД. Разновременность не превышает 0,7 мкс. Время от подачи подрывного импульса на ЭД системы инициирования до выхода детонационной волны на поверхность имитатора дискового заряда ВВ диаметром 100 мм находится в пределах от 8,8 до 9,3 мкс, что согласуется с расчетами.

В газодинамических экспериментах проверена работоспособность системы инициирования и показана устойчивая передача детонации в модернизированной секции ДВМГ на модели в масштабе 1:1. Разработанная система инициирования может применяться в натурном устройстве в составе формирователя импульса тока.

Список литературы

1. Борискин А.С., Буйко А.М., Васюков А.М., и др. Магнитокумулятивные генераторы – импульсные источники энергии: Монография под ред. Демидова В.А., Пляшкевича Л.Н., Селемира В.Д. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2012. Т.1. С.276
2. Глушак Б.Л. Начала физики взрыва: Учебное издание. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011. С. 126
3. Трунин Р.Ф., Гударенко Л.Ф., Жерноклетов М.В., Симаков Г.В. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ: Научное издание. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2006.
4. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. Т.2. С. 605.