

УСТРОЙСТВО ОСЕВОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА

А. А. Агапов, А. С. Борискин, Ю. В. Власов, С. И. Володченко, С. Н. Голосов, В. А. Демидов, С. А. Казаков

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

Аннотация

Разработано устройство, предназначенное для осевого инициирования цилиндрических зарядов взрывчатого вещества. Устройство выполнено на основе широко применяемых во ВНИИЭФ электродетонаторов.

Представлены результаты газодинамических расчетов и экспериментальной проверки работоспособности устройства инициирования. Иницирующее устройство обеспечивает выход ударной волны на поверхность цилиндрического заряда диаметром 65 мм длиной 110 мм с разновременностью не более 0,2 мкс.

Введение

В основе построения мощных импульсных систем лежит принцип накопления магнитной энергии и использования ее в течение интервала времени, существенно меньшего длительности накопления. Интерес к проблемам накопления и преобразования энергии магнитного поля с целью использования ее для генерирования мощных импульсов тока возник, главным образом, в связи с задачами управляемого термоядерного синтеза, когда потребовалось создание импульсных источников, обладающих большой мощностью и значительным запасом энергии.

Одним из способов формирования мощных мегаамперных импульсов тока является переключение тока из индуктивного накопителя в нагрузку с помощью взрывных размыкателей тока (ВРТ) [1–3]. В настоящее время в устройствах импульсной мощности уже применяются ВРТ с разрушаемым проводником длиной ~750 мм, расположенным на диаметре ~600 мм [4]. В перспективе – применение ВМГ, генерирующих ток до 100 МА. При таких уровнях тока характерный диаметр цилиндрического ВРТ должен составлять ~1000 мм, а длина ~1200 мм. Необходимым условием должной работы таких ВРТ, является минимальная разновременность выхода фронта ударной волны на поверхность токопроводящей фольги. Ударная волна формируется с помощью протяженного разрывного заряда взрывчатого вещества (ВВ), расположенного под фольгой. Сейчас для инициирования разрывного заряда применяются многоканальные детонационные распределители со 192 точками инициирования, установленные внутри него на длине ~750 мм с шагом 10 мм. Одновремен-

ное инициирование ВВ в распределителях производится при подрыве шашки с наружным диаметром 65 мм. Разновременность выхода детонационной волны (ДВ) на наружную поверхность шашки не должна превышать 0,2 мкс.

Существуют ранее разработанные устройства осевого инициирования протяженных цилиндрических зарядов. Но из-за использования специальных электродетонаторов (ЭД) и сложности их конструкции стоимость этих устройств высока. Более дешевые аналоги не обеспечивают заданных требований по разновременности. Поэтому возникла необходимость разработки нового устройства инициирования (УИ), обеспечивающего заданную разновременность выхода детонационной волны на наружной поверхности протяженного цилиндрического заряда ВВ.

1. Описание устройства

На рис. 1 представлена 3D-модель разработанного УИ для инициирования шашек ВВ длиной 120 мм. УИ состоит из шести элементов длиной по 20 мм. Фрагмент конструкции УИ из двух элементов, показан на рис. 2.

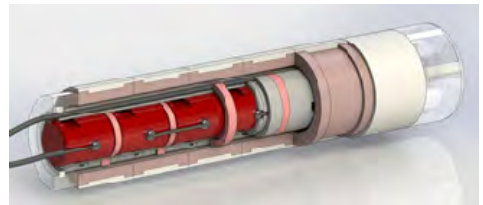


Рис. 1. 3D модель шести элементного УИ

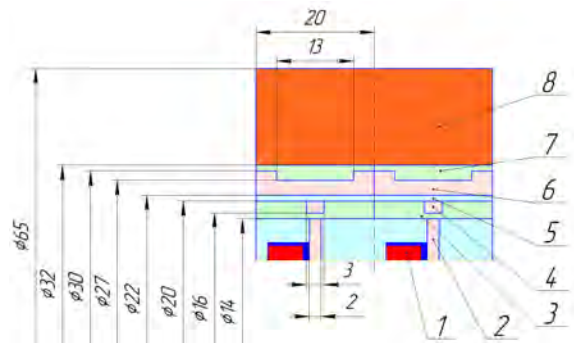


Рис. 2. Расчетная геометрия УИ: 1 – ЭД, 2 – диск ПВВ, 3 – слой полипропилена, 4 – кольцо ПВВ, 5 – слой оргстекла, 6 – ПВВ, 7 – полипропиленовая линза, 8 – инициируемая шашка ВВ из состава КТГ

В основе УИ используются широко применяемые во ВНИИЭФ электродетонаторы 1 соединённые электрически последовательно. В каждом элементе применяется по одному электродетонатору. ЭД расположены внутри полипропиленовой втулки 3 на оси устройства с шагом 20 мм и предназначены для подрыва диска из пластического вещества (ПВВ), установленного по центру элемента. ДВ от ЭД передается по диску из ПВВ $\text{Ø}14 \times 2$ мм 2 к кольцу ПВВ 4, расположенному в пазе втулки 3. Цанговое соединение втулок между собой позволяет изготовить УИ необходимой длины, а паз в каждой втулке необходим для вывода обратного проводника цепи подрыва ЭД. Электрически последовательное соединение ЭД с минимальным сопротивлением обеспечивается за счет применения упругого материала при изготовлении контактов УИ. Снаряженные взрывчатым веществом втулки и ЭД помещаются в трубку выполненную из органического стекла 5 с толщиной стенки 1 мм. С наружной стороны трубки изготавливается детонационная разводка или устанавливается цилиндрическая линзовая отсечка с ПВВ, выполненная из полипропилена. Выбор материала, формы и размеров линзовой отсечки позво-

ляют сократить разновременность до 0,2 мкс в пределах элемента устройства.

2. Газодинамические расчеты работы устройства и экспериментальная отработка устройства

Газодинамические расчеты проводились в программе ЭГИДА-2D [5]. Для оценки работы УИ проведены десятки газодинамических расчетов. В расчетах рассматривались различные геометрии полипропиленовых линз, применение вместо линз детонационных каналов, заполненных ПВВ или оболочек, ускоряемых продуктами детонации. Основными критериями выбора конструкции устройства инициирования помимо разновременности являлись простота изготовления, возможность монтажа и снаряжения УИ взрывчатыми материалами в условиях полигонных работ, а также надежность устройства.

На рис. 2 показана расчетная геометрия устройства инициирования и приведены размеры, при которых срабатывание УИ происходит в соответствии с заданными требованиями. Результаты газодинамического расчета такого УИ представлены на рис. 3.

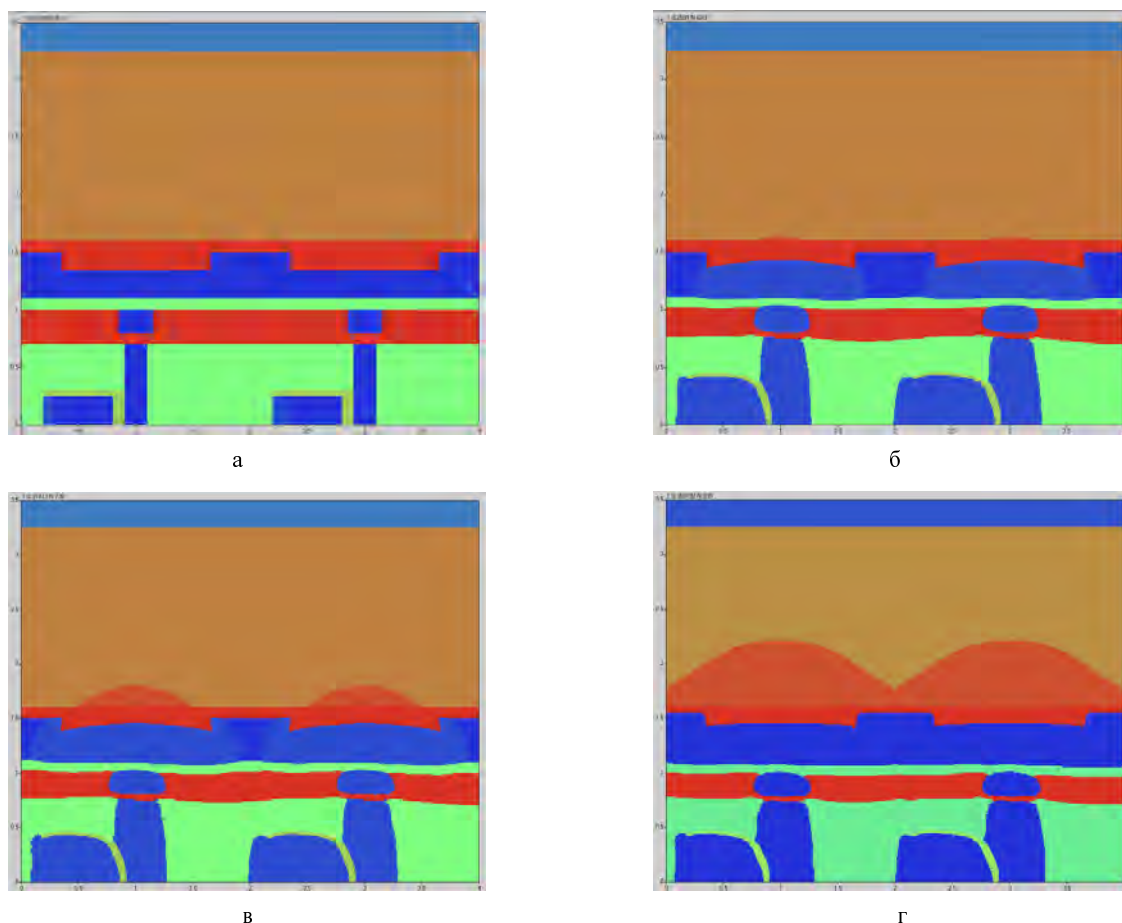
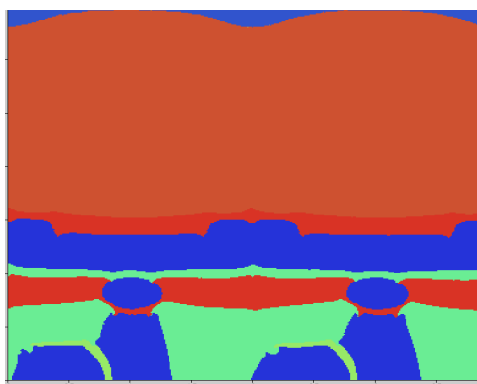


Рис. 3. Результаты газодинамического расчета работы инициатора: а – $t = 0$ мкс, б – $t = 4,0$ мкс, в – $t = 4,2$ мкс, г – $t = 4,7$ мкс



д



е

Окончание рис. 3. Результаты газодинамического расчета работы инициатора:
д – $t = 5,9$ мкс, е – $t = 6,1$ мкс

По результатам газодинамического расчета, время выхода фронта ДВ на поверхность иницируемого ВВ $\varnothing 65$ мм по центру элемента инициатора (рис. 3д) составляет 5,9 мкс от подачи подрывного импульса на ЭД. По краям сегмента фронт ДВ выходит на этот же диаметр на 6,12 мкс, т.е. с задержкой в 0,22 мкс (рис. 3е).

Данная конструкция отработывалась экспериментально в трех опытах на моделях УИ, содержащих по шесть элементов. Регистрация выхода фронта детонационной волны проводилась скоростным фоторегистратором на фотошленку.

В первом эксперименте в качестве иницируемого заряда использовалось ПВВ с наружным диаметром 36 мм. В опыте фронт ДВ выходит на поверхность иницируемого пластикового ВВ диаметром 36 мм через 4,36 мкс после подачи подрывного импульса на электродетонаторы, расчетное время 4,2 мкс (рис. 3в). Разновременность работы инициатора в эксперименте составляет $\sim 0,5$ мкс,

в расчете 0,55 мкс (рис. 3г), при этом по центру элемента фронт ДВ выходит раньше, чем по краям, что согласуется с расчетом.

В двух других экспериментах, в качестве иницируемого ВВ применялась шашка диаметром 65 мм из состава КТГ. Фотохронограмма одного из экспериментов представлена на рис. 4. В опытах получены результаты, отличные от газодинамического расчета.

Из рис. 4 видно, время выхода фронта ДВ на поверхность иницируемой шашки диаметром 65 мм из состава КТГ по краям элемента инициатора опережает центр и составляет $\sim 6,6$ мкс от подачи подрывного импульса на ЭД. По центру сегмента фронт ДВ выходит на этот же диаметр на $\sim 6,9$ мкс, с задержкой в 0,3 мкс, что противоречит расчету.

Результаты опытов позволяют сделать заключение о значительном влиянии чувствительности иницируемого ВВ на работу инициатора. В расчетах этот параметр не учитывается. На рис. 5 пред-

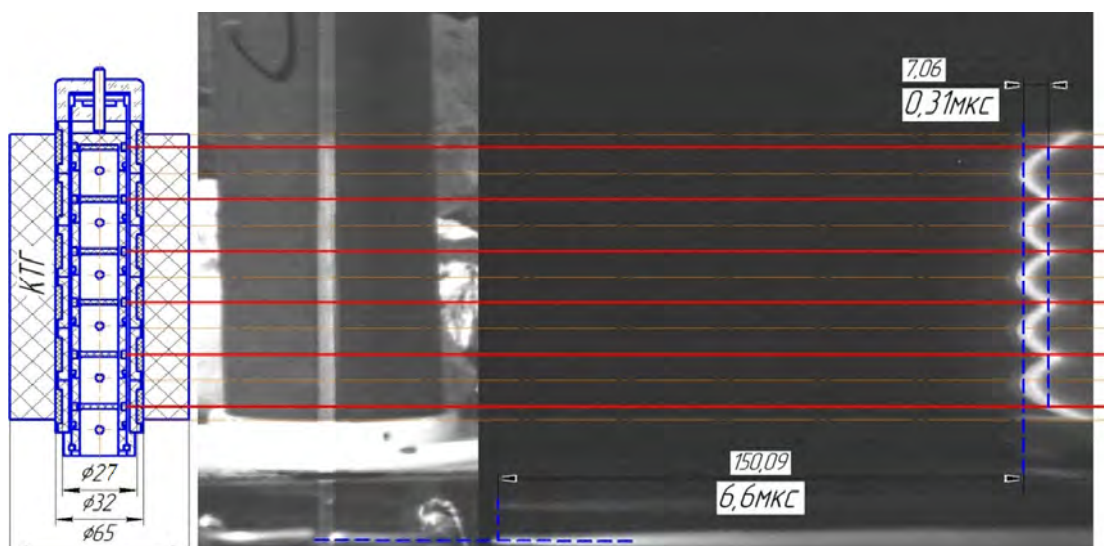


Рис. 4. Результат эксперимента с УИ с шашкой ВВ из состава КТГ и линзой с внутренним диаметром 27 мм

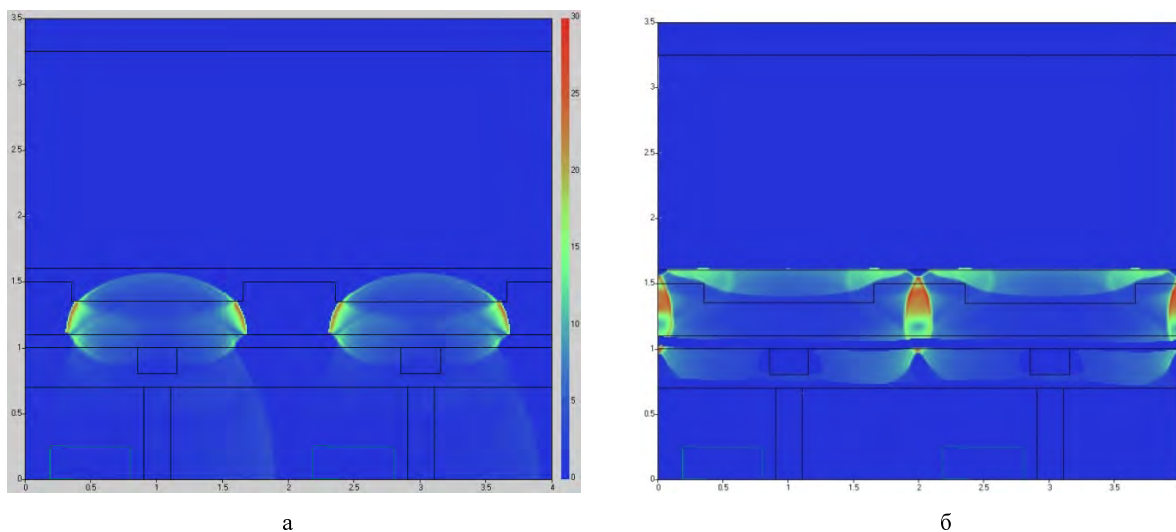


Рис. 5. Давление на фронте ДВ, шкала в ГПа: а – $t = 3,9$ мкс, б – $t = 4,5$ мкс

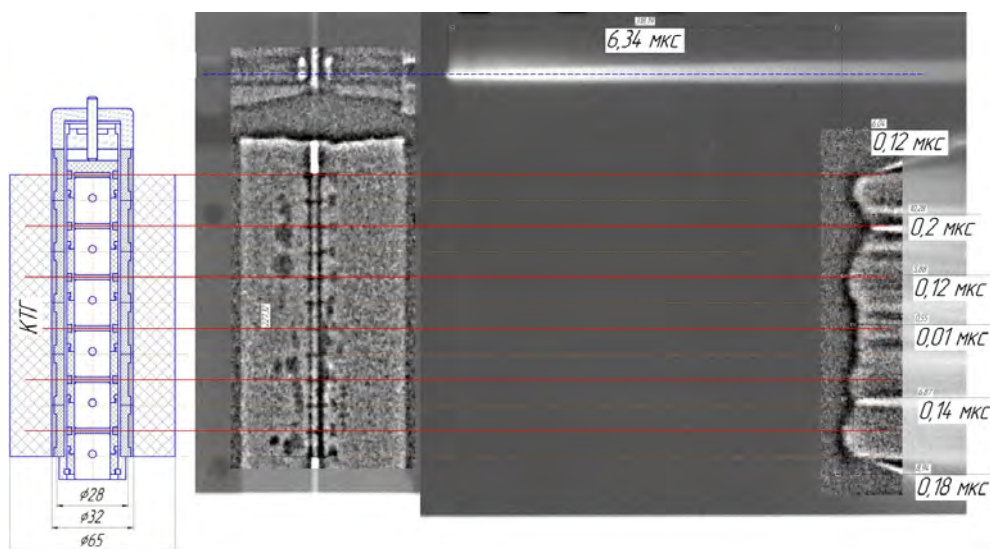


Рис. 6. Результат эксперимента с УИ с шашкой ВВ из состава КТГ и линзой с внутренним диаметром 28 мм

ставлено распределение давления на фронте ударной волны в полипропиленовой линзе, в момент перед инициированием шашки ВВ по центру элемента (рис. 5а, $t = 3,9$ мкс) и по краям (рис. 5б, $t = 4,5$ мкс).

При сравнении рис. 3б, 3г (время $t = 4$ мкс и $t = 4,7$ мкс) с рис. 5, можно заметить, что, несмотря на разницу в значениях давления на фронте ударной волны в полипропиленовой линзе (по центру элемента $\sim 6,5$ ГПа, по торцам ~ 30 ГПа), в расчете инициирование шашки происходит без задержки в одно и то же время. Этим объясняется удовлетворительное совпадение расчета с экспериментом, в котором в качестве инициируемого ВВ применялось пластическое ВВ (энергии ударной волны по центру элемента вполне достаточно для возбуждения детонации в ПВВ).

При использовании ВВ из состава КТГ, чувствительность которого на ~ 20 % ниже чувствительности ПВВ, по центру элемента происходит значитель-

ная задержка возбуждения детонации, а по краям элемента инициирование происходит раньше.

В экспериментах с устройством импульсной мощности для получения импульса МРИ, планируется применять инициируемый заряд из состава КТГ. Под этот состав ВВ разработана конструкция УИ и испытана в двух экспериментах. Чтобы ускорить возбуждение детонации в шашке из состава КТГ по центру элемента УИ, внутренний диаметр полипропиленовой линзы 7, рис. 2, увеличен до 28 мм и соответственно увеличилась масса ПВВ под линзой. Результаты экспериментальной проверки работы такой конструкции показаны на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что за счет применения полипропиленовой линзы меньшей толщины удалось сократить разновременность выхода фронта ДВ на поверхность инициируемой шашки $\text{Ø}65$ мм из состава КТГ до 0,2 мкс. Также сократилось общее время работы устройства на $\sim 0,25$ мкс.

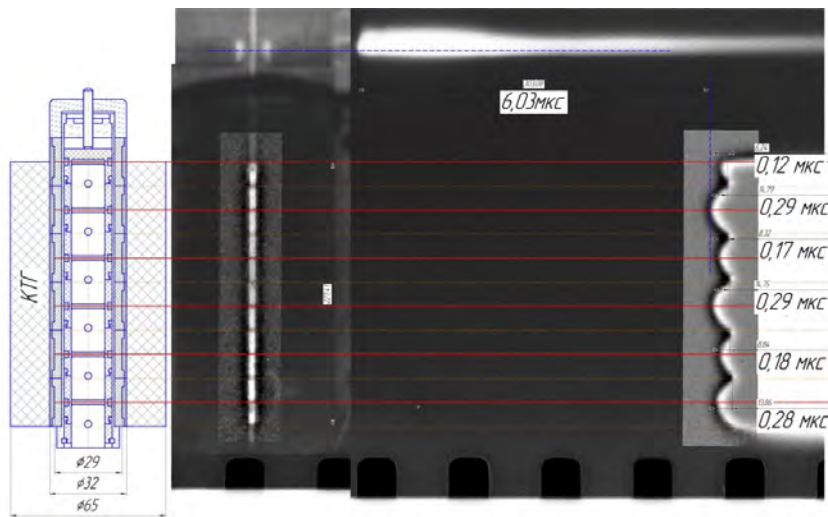


Рис. 7. Результат эксперимента с УИ с шашкой ВВ из состава КТГ и линзой с внутренним диаметром 29 мм

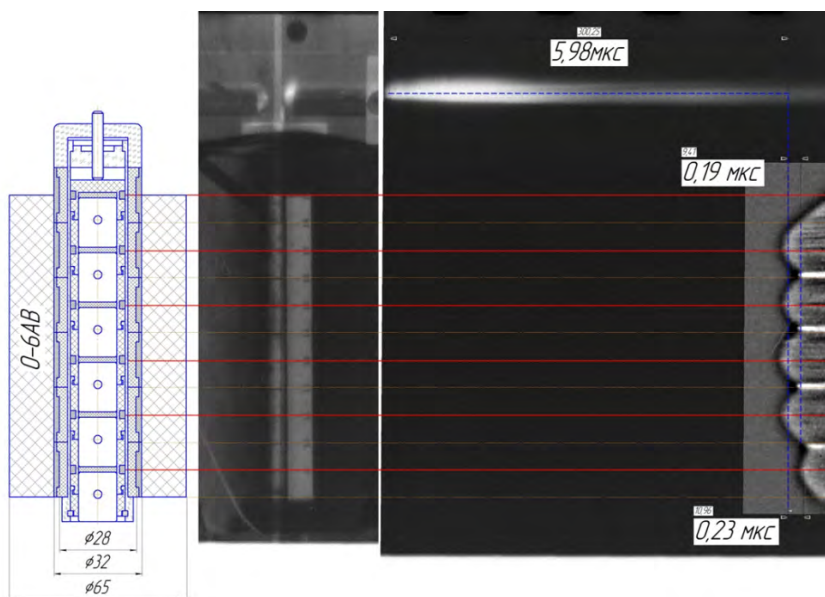


Рис. 8. Результат эксперимента с УИ с шашкой ВВ из состава О-6АВ

Для выбора оптимальной толщины полипропиленовой линзы проведен эксперимент с устройством инициирования, в котором применялась линза с внутренним диаметром 29 мм. Результаты эксперимента представлены на рис. 7.

Увеличение внутреннего диаметра линзы на 1 мм привело к тому, что общее время работы устройства уменьшилось на $\sim 0,3$ мкс, но фронт детонационной волны по центру элемента стал заметно опережать фронт детонации по его краям. Следовательно, величина внутреннего диаметра линзы 28 мм в УИ для инициирования заряда из состава КТГ является оптимальной.

Испытание оптимизированного УИ с шашкой ВВ выполненной из более чувствительного, чем КТГ, состава О-6АВ, подтвердило выводы о влиянии чувствительности ВВ на работу устройства.

На рис. 8 представлена фотохронограмма эксперимента устройства, в котором полипропиленовая линза имеет внутренний диаметр 28 мм, с шашкой ВВ из состава О-6АВ.

Применение более чувствительного ВВ привело к тому, что фронт волны детонации, по центру элемента устройства стал опережать фронт волны детонации по его краям. А поскольку скорость детонации состава О-6АВ выше КТГ, то сократилось на $\sim 0,4$ мкс время выхода фронта детонационной волны на наружную поверхность шашки.

Заключение

Проведены расчеты устройства инициирования, предназначенного для подрыва протяженных цилиндрических зарядов ВВ. Устройство применено

для инициирования зарядов с разной чувствительностью. Эксперименты показали, что, в зависимости от чувствительности иницируемого ВВ, необходимо подбирать определенную форму линзовой вставки.

Подобрана оптимальная толщина линзы для инициирования зарядов ВВ из состава КТГ. Модель устройства испытана в двух экспериментах по подрыву зарядов с размерами $\varnothing 65 \times \varnothing 32 \times 110$ мм. В опытах зарегистрирована одновременность выхода детонационной волны на наружную поверхность заряда, не превышающая 0,2 мкс. Характеристики испытанного устройства, позволяют использовать его в планируемых полномасштабных экспериментах. Предполагается, что увеличение наружного диаметра иницируемого заряда из состава КТГ с 65 мм до 125 мм позволит дополнительно выровнять фронт детонационной волны на наружной поверхности шашки ВВ.

Литература

1. Chernyshev V. K., Volkov G. I., Ivanov V. A., Vakhrushev V. V. Study of Basic Regularities of Formation of Multi-MA-Current Pulses with Short Risettime by EMG Circuit Interruption // In: Megagauss Physics and Technology / Ed. P. J. Turchi. – N.Y.-L.: Plenum Press. – 1980. – P. 663–675.

2. Селемир В. Д., Демидов В. А., Борискин А. С., Казаков С. А. и др. Сильноточные (30 МА и более) импульсы энергии для питания индуктивных и активных нагрузок // В кн.: Мегагауссная и мегаамперная импульсная технология и применения / Под ред. В. К.Чернышева, В. Д. Селемира, Л. Н. Пляшкевича. Саров: ВНИИЭФ. 1997. С. 248–254.

3. Чернышев В. К., Мохов В. Н., Буйко А. М. и др. Основные типы взрывамагнитных генераторов и их применения. // В кн.: Мегагауссная и мегаамперная импульсная технология и применения / Под ред. В. К.Чернышева, В. Д. Селемира, Л. Н. Пляшкевича. Саров: ВНИИЭФ. 1997. С. 242–247.

4. Власов Ю. В., Демидов В. А., Борискин А. С. и др. Устройство импульсной мощности на основе дискового взрывамагнитного генератора ДВМГ240 с взрывным размыкателем тока // В кн.: Проблемы физики высоких плотностей энергии. Труды международной конференции «XVIII Харитоновские тематические научные чтения»: сборник докладов / Под ред. С. Г. Гарилина, Н. В. Завьялова, В. Д. Селемира, В. П. Соловьева. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2017. Т. 2. С. 216–222.

5. Янилкин Ю. В. Код ЭГИДА-2D для моделирования двумерных задач. // Учебное пособие – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – 2008. – Т. 1 – С. 343. Т. 2 – 320 С.