

А. Н. Ерофеев, К. Н. Климушкин, Н. И. Ситникова, К. С. Торопов

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

Введение

В ряде областей физического эксперимента необходимо получение мощных электрических импульсов тока и магнитной энергии в десятки и сотни мегаджоулей. Разработка генераторов на базе конденсаторных источников связана с определенными физическими и техническими трудностями (необходимы малоиндуктивные конденсаторы с большой удельной энергоемкостью, малоиндуктивные коммутирующие устройства и т. д.), а также с большими капитальными вложениями. Одним из возможных способов получения мощных импульсов тока является использование взрывомагнитных генераторов (ВМГ) с индуктивным накопителем энергии, работающих на принципе эффекта магнитной кумуляции.

Дисковый ВМГ – устройство одноразового действия. В основу построения генератора положен модульный принцип. Вся конструкция генератора состоит из отдельных дисковых модулей, работающих параллельно на одну и ту же нагрузку.

При работе ДВМГ необходимо знать зависимость индуктивности от времени. Она же в свою очередь зависит от положения тарелки диска.

На рис. 1 представлена конструкция двухэлементного дискового ВМГ диаметром 400 мм. Принцип действия взрывомагнитного генератора основан на преобразовании химической энергии взрывчатых веществ в энергию магнитного поля путем быстрого сжатия продуктами взрыва электрического контура с током. Начальный магнитный поток в контуре дискового ВМГ создается спиральным взрывомагнитным генератором (1).

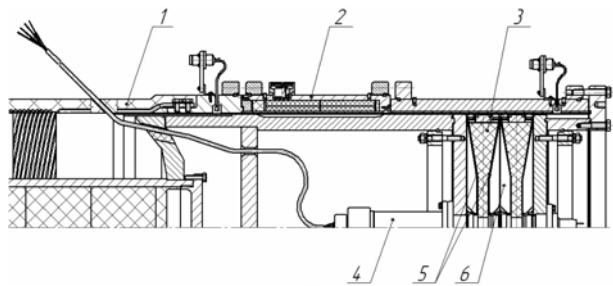


Рис. 1. ДВМГ диаметром 400 мм: 1 – спиральный взрывомагнитный генератор, 2 – узел отключения, 3 – заряды ВВ ДВМГ, 4 – система инициирования, 5 – медные диски, 6 – полость

Ранее в дисковых ВМГ использовался прессованный заряд ВВ, но в связи с дорогой ценой возникла

необходимость использовать пластизольный заряд, которым снаряжали дисковый модуль путем вибровакуумной заливки. Было понятно, что меняются параметры ДВМГ, и поэтому требуется произвести газодинамическую отработку дискового модуля для получения новых расчетов и экспериментальных подтверждений.

Постановка задачи

Целью проведения эксперимента является определение временных характеристик разлета тарелки диска под действием продуктов взрыва, отработка симметрии выхода ударной волны и определение фактической скорости детонации.

Объектом исследования является профилированный дисковый элемент $\varnothing 400$ мм, снаряженный пластизольным взрывчатым веществом. Конструкция диска приведена на рис. 2.

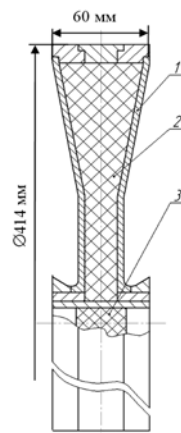


Рис. 2. Конструкция профилированного диска $\varnothing 400$ мм: 1 – тарель (пластина); 2 – ВВ; 3 – иницирующая часть

Для решения данной задачи необходимо было разработать устройство, которое позволяет регистрировать положение отдельных точек тарелки во времени и фиксировать выход ударной (детонационной) волны на внешний диаметр диска.

Методы определения динамики движений тарелки дискового модуля

Для получения экспериментальных данных были выбраны два метода определения параметров разлета тарелки: электроконтактный и фотохронографический.

Электроконтактный метод

Диск ВМГ заземляют. Датчики подключают к плюсу источника энергии. При срабатывании ВВ происходит разлет тарелей (пластин) ВМГ, которые ударяя по датчику, замыкают цепь. Благодаря этому, на устройство регистрации поступает сигнал. Время поступления сигнала является временем достижения пластиной заданных координат (см. рис. 3).

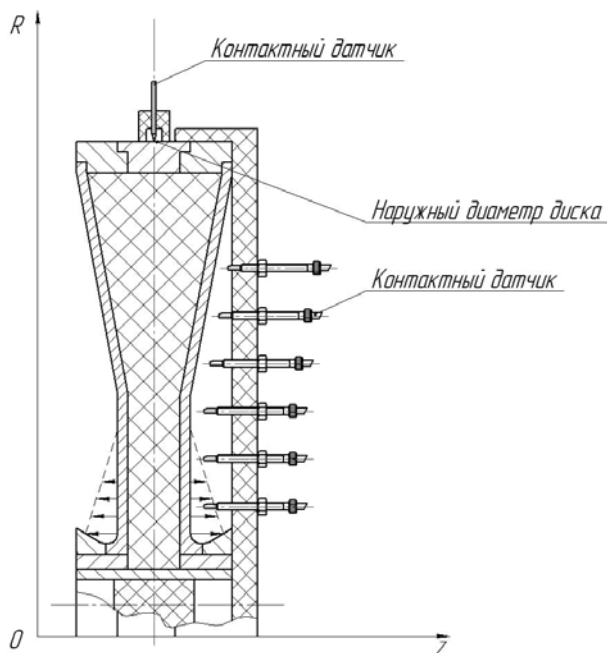


Рис. 3. Диск ВМГ с установленными электроконтактными датчиками

Фотохронографический метод

Для фотохронографирования необходим скоростной фоторегистратор (СФР). СФР – высокоскоростная установка, предназначенная для фотографической регистрации быстротекущих процессов (быстрое горение, взрыв, распространение ударных волн, искровой разряд и др.). При фотохронографировании скорость развертки изображения от 150 до 3750 м/с. С помощью этого метода можно зафиксировать время выхода точки поверхности тарели на плоскость регистрации. Для этого во фланец, в котором вырезано окошко, закрытое стеклом, с нанесенной на него фольгой, вставляют дисковый элемент ДВМГ. При срабатывании ВВ внутри дискового элемента ДВМГ происходит разлет тарелей, которые ударяют по фольге и вызывают свечение (вспышку). СФР производит фиксацию вспышек на фотопленку.

Описание конструкции и выбор материалов устройства

Для проведения эксперимента была разработана конструкторская документация на устройство по газодинамической обработке полета тарели дискового элемента $\varnothing 400$ мм с пластиночным ВВ. Конструктивное исполнение устройства приведено на рис. 4.

Фланец представляет собой диск из орг.стекла, в котором выполнены отверстия для установки электроконтактных датчиков и паз для регистрации полета тарели методом скоростной фоторегистрации.

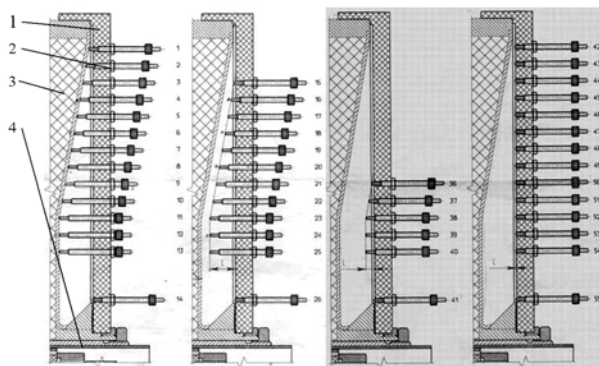


Рис. 4. Конструктивное исполнение устройства: 1 – фланец, 2 – электроконтактные датчики, 3 – дисковый элемент, 4 – узел инициирования

В опыте используются два вида электроконтактных датчиков – резьбовые контактные датчики и датчики «контакт-игла».

Резьбовые контактные датчики располагают на прямых, расходящихся от центра фланца (см. рис. 3). Азимутальное расположение датчиков приведено на рис. 5.

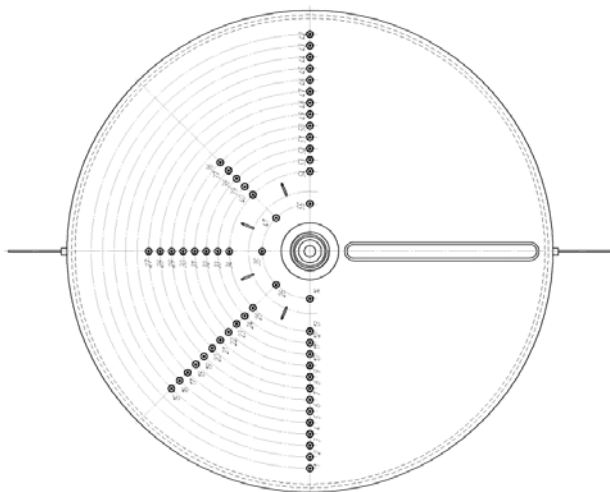


Рис. 5. Азимутальное расположение датчиков

Датчики № 1–14 установлены до упора в тарель диска, что позволяет определить начало движения тарели. Датчики № 15–25 располагаются на расстоянии 4,5 мм от плоскости тарели, а датчики № 42–55 располагаются заподлицо с фланцем, что позволяет определить время выхода точек тарели на плоскость регистрации.

Датчики «контакт-игла» располагаются в месте перехода «тарель – конус» и на наружном диаметре дискового элемента. Конструктивное исполнение и вид расположения датчиков «контакт-игла» приведен на рис. 6 и 7.

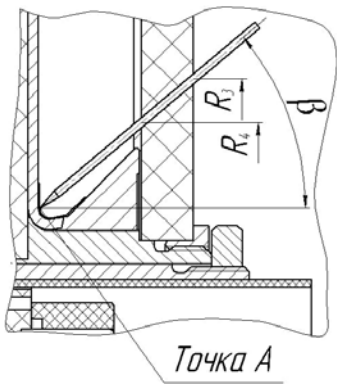


Рис. 6. Вид расположения датчика «контакт–игла» в месте перехода «тарель – конус»



Рис. 7. Вид расположения датчика «контакт–игла» на наружном диаметре дискового элемента

Компьютерное моделирование

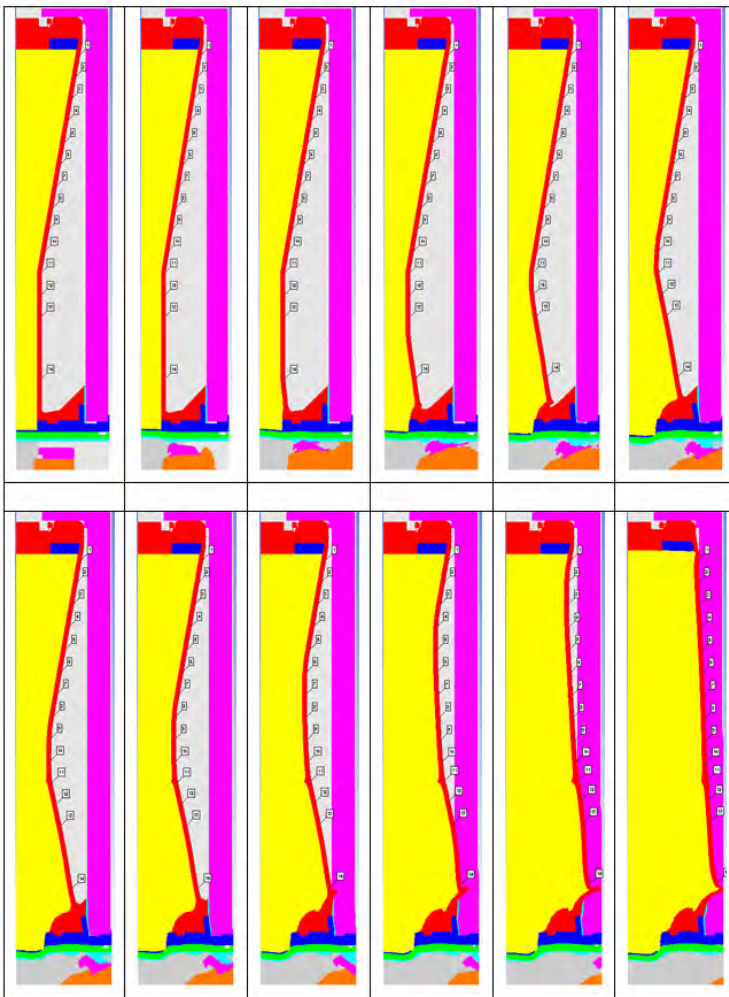
С целью получения данных о процессе движения тарели диска $\varnothing 400$ мм под действием продуктов взрыва был проведен двумерный расчет в среде AUTODYN.

Считалось, что в начальный момент времени все части системы находятся в ненапряженном состоя-

нии, начальная скорость всех частей системы равна нулю. За время $t = 0$ мкс, был принят момент возбуждения детонации в шашке от электродетонатора УИ (т. е. время работы электродетонатора и другие временные задержки системы не учитывались).

Расчетная модель приведена на рисунках, сведенных в таблицу.

Расчетная модель



Результаты эксперимента

К эксперименту было подготовлено устройство для исследования процесса полета тарели дискового элемента $\varnothing 400$ мм. Внешний вид экспериментальной сборки приведен на рис. 8.

В результате эксперимента были получены времена срабатывания электроконтактных датчиков.

Времена подлета тарели к базам 0, 5, 10, 15 и 20 мм для разных радиусов в эксперименте приведены на рис. 9.

Фотохронограмма подлета тарели к отсечке приведена на рис. 10.

Данная фотохронограмма была обработана и получен график зависимости полета тарели диска от времени. На рис. 11 приведены времена подлета тарели к базе – 20 мм в эксперименте и при расчете.

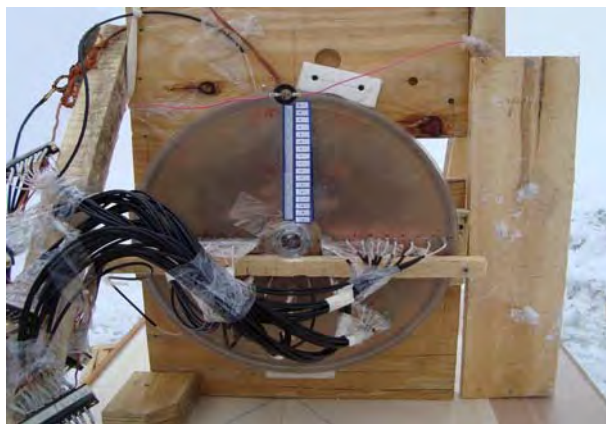


Рис. 8. Внешний вид экспериментальной сборки

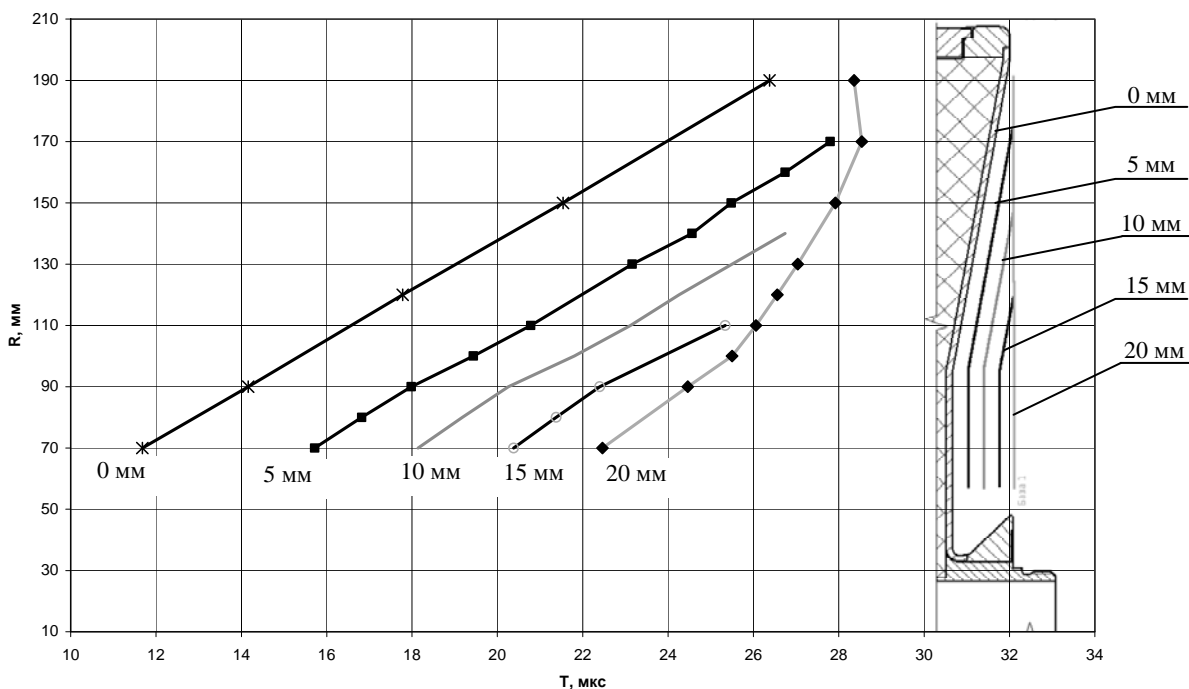


Рис. 9. Времена подлета тарели к базам 0, 5, 10, 15 и 20 мм для разных радиусов

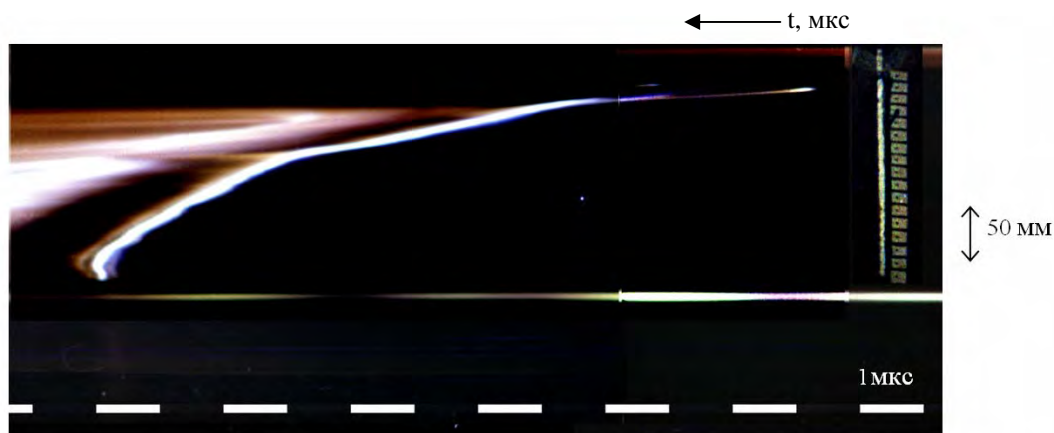


Рис. 10. Фотохронограмма подлета тарели к отсечке

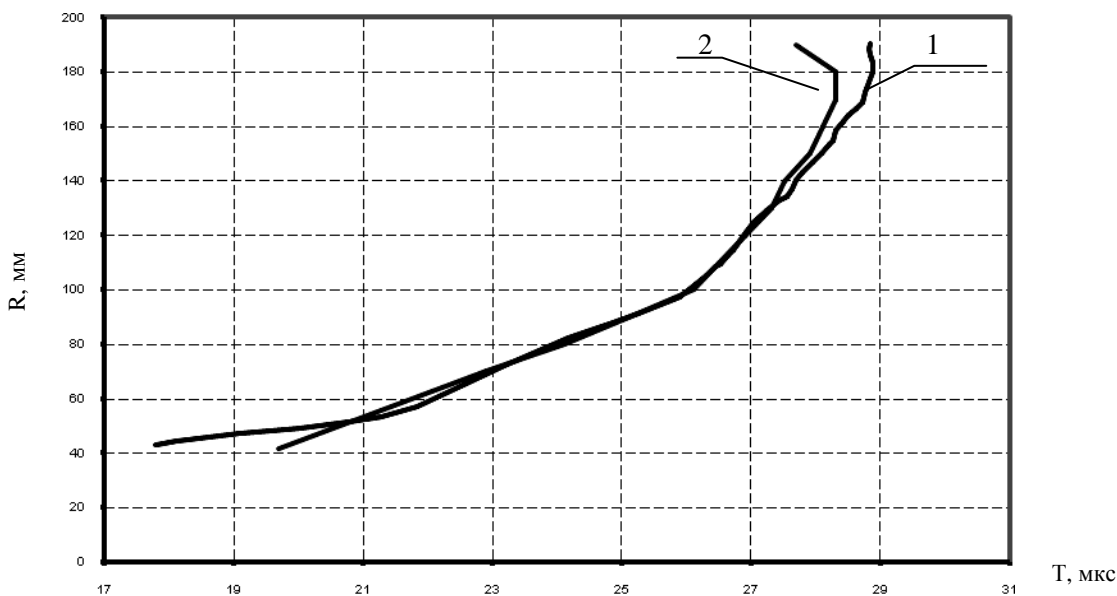


Рис. 11. Времена подлета тарели к базе – 20 мм в эксперименте и расчете: 1 – эксперимент СФР; 2 – расчетные данные

На рис. 11 расчетная кривая смещена вправо по оси X на 2,5 мкс с учетом работы ЭД и времени задержки устройства запуска подрыва. По графику видно, что расхождение экспериментальной и расчетной кривых не превышает 8 % на 20-ой мкс и 10 % на 28-ой мкс. Общая картина всех экспериментальных данных приведена на рис. 12.

Анализ графиков на рис.12 показал, что вычисленные скорости детонации ВВ по результатам показаний датчиков, расположенных на различных расстояниях от тарели составляют 8–8,2 км/с, соответственно погрешность измерений составляет 2 %.

Результаты газодинамического эксперимента с использованием прессованного ВВ приведены на рис. 13 и 14.

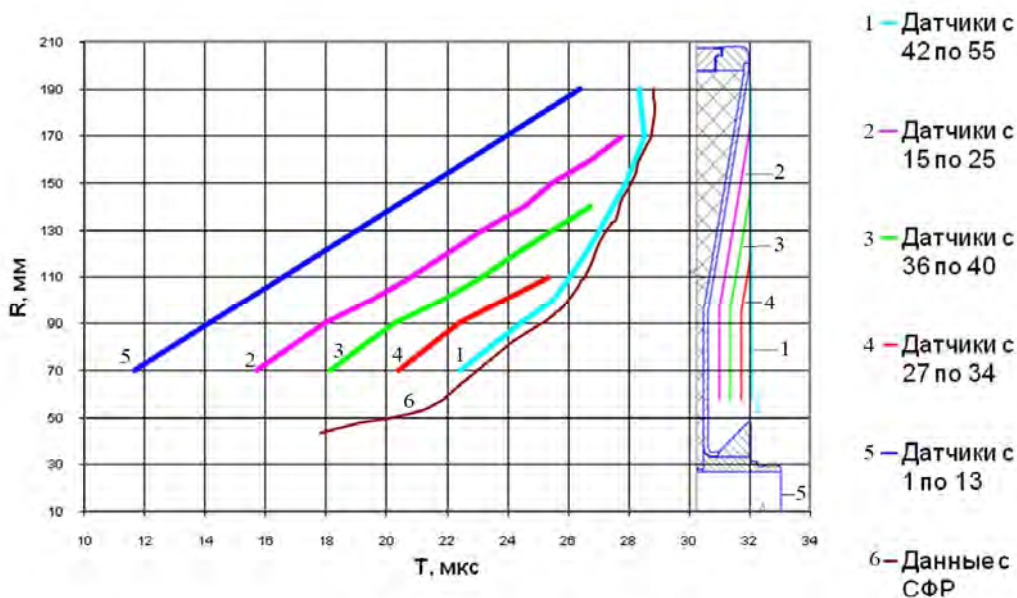


Рис. 12. Графики зависимости полета тарели от времени, полученные на основе всех экспериментальных данных

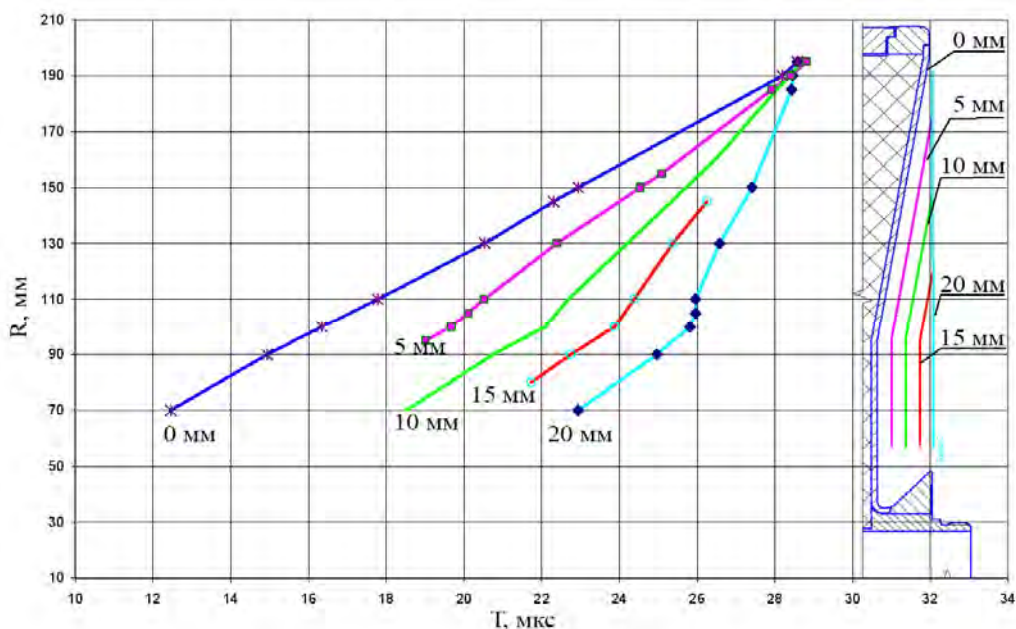


Рис. 13. Времена полета тарели к базам 0, 5, 10, 15 и 20 мм для разных радиусов с использованием прессованного ВВ



Рис. 14. Фотохронограмма полета тарели к отсечке с использованием прессованного ВВ

Средняя скорость детонации прессованного ВВ была установлена 7,7 км/с, а скорость тарели ~2 км/с.

Сравнение результатов экспериментов с использованием различных ВВ показывает, что скорость тарели у диска, снаряженного пластизольным составом, на 10 % выше, чем у диска, снаряженного прессованным составом, при лучшей симметрии полета.

Это дает основание полагать, что результаты работы ДВМГ, снаряженного пластизольным составом будут не хуже, чем ДВМГ, снаряженный прессованным ВВ.

Заключение

В ходе научно-исследовательской работы было разработано устройство для определения параметров разлета тарелей дискового взрывомагнитного генератора. На этапах проектирования были проанализированы методы определения параметров разлета тарелей ДВМГ, из которых выбран наиболее эффективный, разработана методика расстановки электроконтактных датчиков, проведено компьютерное моделирование процессов происходящих в результате проведения опыта.

Был проведен газодинамический эксперимент с профилированным диском $\varnothing 400$ мм по отработке симметрии выхода ударной волны разлета медной тарели на внешнюю плоскость. По полученным экспериментальным данным видно хорошее совпадение с расчетными данными компьютерного моделирования.

Скорость детонации пластизольного ВВ, зарегистрированная в эксперименте равна 8,2 км/с, скорость полета тарели – 2,2 км/с.

Литература

1. Волков Г. И. Сверхмощные взрывомагнитные генераторы электрической энергии // Дисковые взрывомагнитные генераторы. 2009. С. 190–201.
2. Протасов М. С., Архипов Б. В., Петрухин А. А., Прокопов В. А., Чернышев В. С., Шевцов В. А. Быстродействующий дисковый взрывомагнитный генератор. Труды Третьей Международной конференции по генерации мегагауссных магнитных полей и родственными экспериментами. 1983. С. 26–28.