

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ДЕТОНАЦИИ ОТ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ К ДИСКОВЫМ ЗАРЯДАМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

*А. А. Сычев, Ю. В. Власов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» г. Саров

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 одновременность выхода детонационной волны на наружную поверхность промежуточного заряда и имитатора дискового заряда.

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

## Введение

Исследования в области физики высоких плотностей энергии требуют мегаамперные импульсы тока с микросекундным временем нарастания. Источники энергии на основе дисковых взрывомагнитных генераторов

(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 взрывчатого вещества (ВВ) в ДВМГ обеспечивается устройством осевого инициирования. Его работоспособность подтверждена в ранее проведенных экспериментах. В докладе проводится исследование передачи детонации от системы инициирования к дисковым зарядам модифицированной конструкции, а также экспериментальная оценка времени от подачи подрывного импульса на электродетонатор (ЭД) до инициирования 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 (поз. 10 рис. 1) и имитатор заряда ДВМГ. Внутри помещается перфорированная резбовая латунная втулка (поз. 5 рис. 1) с обеих

сторон которой накручиваются медные конусы (поз. 6 рис. 1). Для снижения механического воздействия на дисковые заряды ВВ, возникающего при сборке генератора, установлен алюминиевый цилиндр (поз. 8 рис. 1) толщиной 3 мм. Вся конструкция работает от устройства осевого иницирования, помещенного в трубчатый лавсановый изолятор (поз. 4 рис. 1).

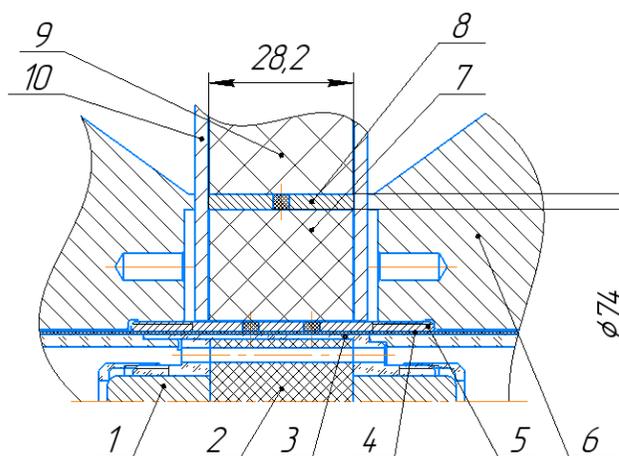


Рис. 1. Эскиз модернизированной секции ДВМГ с зарядом ВВ: 1 – электродетонатор, 2 – заряд из пластического ВВ, 3 – корпус (оргстекло), 4 – трубчатый изолятор СИ (лавсан), 5 – перфорированная втулка (латунь), 6 – конус (медь), 7 – промежуточный заряд ВВ, 8 – перфорированный цилиндр (алюминий), 9 – дисковый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

Передача детонации от системы иницирования к дисковому заряду (поз. 9 рис. 1) осуществляется следующим образом. С помощью ЭД иницируется цилиндрический заряд из пластического ВВ (поз. 2 рис. 1). 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 (поз. 5 рис. 1) и отверстия в цилиндре (поз. 8 рис. 1) заполнены ВВ. Таким образом, суммарная толщина инертных материалов в системе иницирования ДВМГ уменьшилась

примерно в 4 раза по сравнению с используемой ранее.

При исследованиях рассматривались две схемы:

1. Модель системы иницирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора промежуточному заряду ВВ (рис. 2).

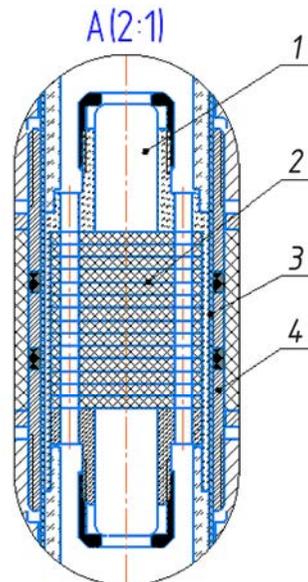
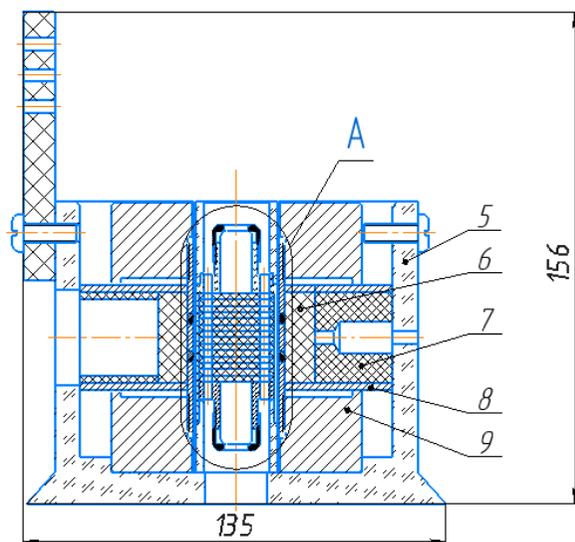


Рис. 2. Эскиз модели системы иницирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора промежуточному заряду ВВ: 1 – ЭД, 2 – заряд ВВ, 3 – трубчатый изолятор СИ, 4 – перфорированная втулка латунная, 5 – корпус, 6 – промежуточный заряд ВВ, 7 – вставка, 8 – медная стенка, 9 – втулка

2. Модель системы инициирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора дисковому заряду ВВ (рис. 3).

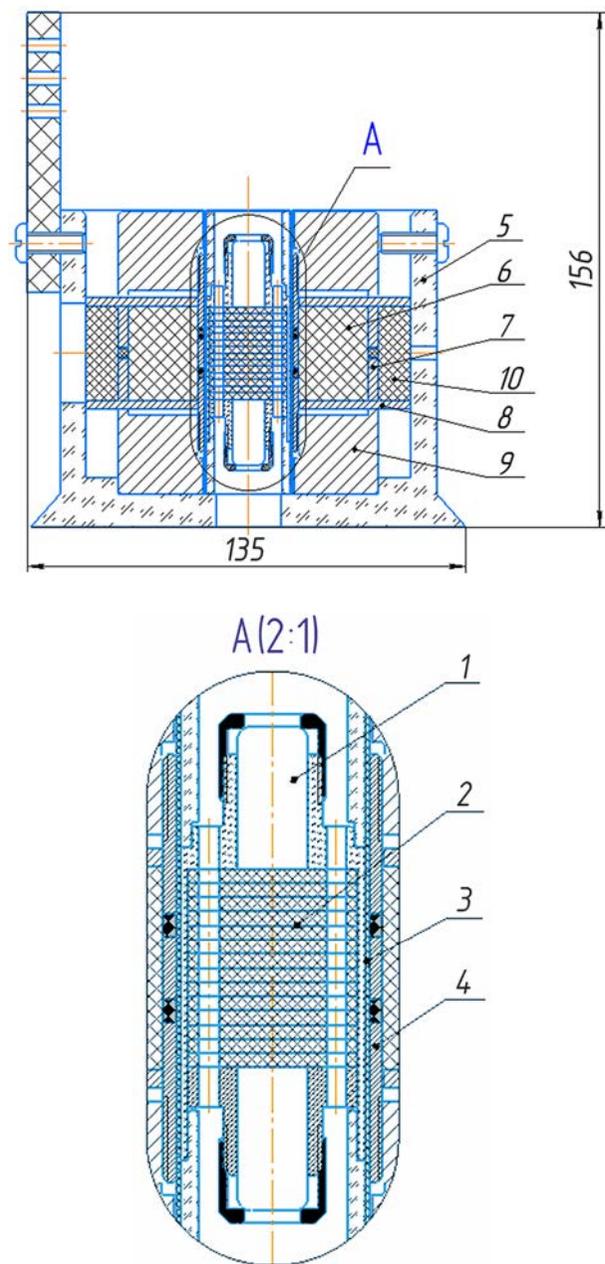


Рис. 3. Эскиз модели системы инициирования ДВМГ для исследования передачи детонации от ЭД инициатора дисковому заряду ВВ: 1 – ЭД, 2 – заряд ВВ, 3 – трубчатый изолятор СИ, 4 – перфорированная втулка латунная, 5 – корпус, 6 – промежуточный заряд ВВ, 7 – перфорированная втулка алюминиевая, 8 – медная стенка,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

## 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 (поз. 6 рис. 2), в последующих – на поверхность имитатора дискового заряда ВВ диаметром 100 мм (поз. 10 рис. 3).

Иницирование заряда ВВ (поз. 2 рис. 2, 3) проводилось с помощью двух ЭД. Медная стенка (поз. 8 рис. 2, 3) и втулка (поз. 9 рис. 2, 3) имитируют тарель и конус элемента 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  $90^\circ$ . 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 (поз. 6 рис. 2) и дискового (поз. 10 рис. 3) зарядов ВВ от момента подачи подрывного импульса на ЭД вычислялась скорость ударной волны  $D$  в каждом веществе, представленном на рис. 4, с учетом последовательности расположения. Это делалось с помощью метода Р-и диаграмм [2]. Строился график зависимости  $P(u)$  по формуле



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

(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  $\alpha$ ,  $\lambda$  и  $\rho_0$  в формулах (1, 3) взяты из [3, 4].

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

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

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

На рис. 5, 6 представлены графики зависимости давления  $P$  от массовой скорости  $U$  для каждого вещества из 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 (поз. 6 рис. 2) от момента

*Волновые и массовые скорости на границе смежных веществ*

	ВВ	О/С	Латунь	Алюминий
$\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	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

Обозначения:  $\rho_0$  – плотность веществ,  $U$  – массовая скорость,  $D$  – скорость ударной или детонационной волны

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

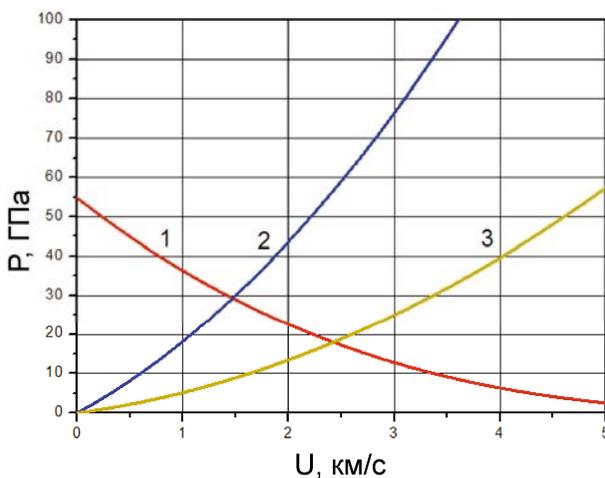


Рис. 5. Зависимость давления от массовой скорости: 1 – ВВ, 2 – Алюминий 3 – О/С

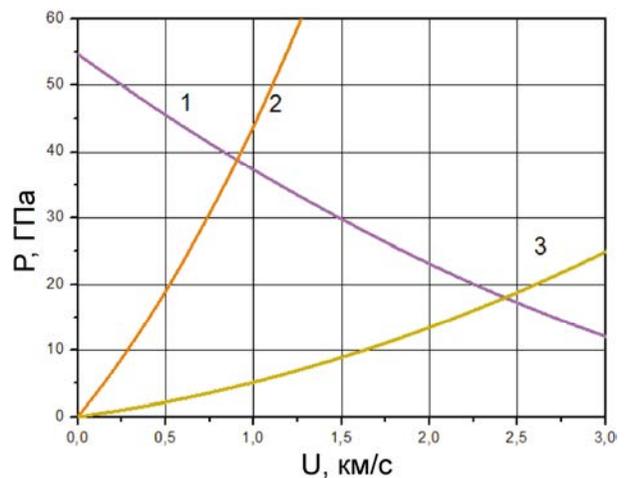


Рис. 6. Зависимость давления от массовой скорости: 1 – О/С второе сжатие, 2 – Латунь, 3 – О/С

## Результаты эксперимента

С устройством, имитирующим узел иницирования 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 иницирования 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 раз-

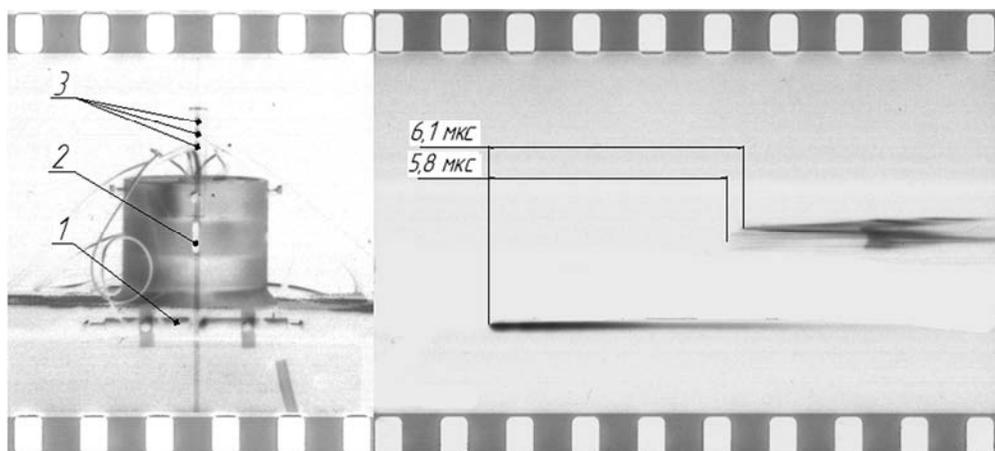


Рис. 7. Фотохронограмма первого эксперимента:  
1 – воздушный разрядник, 2 – заряд ВВ, 3 – оптические датчики (световоды)

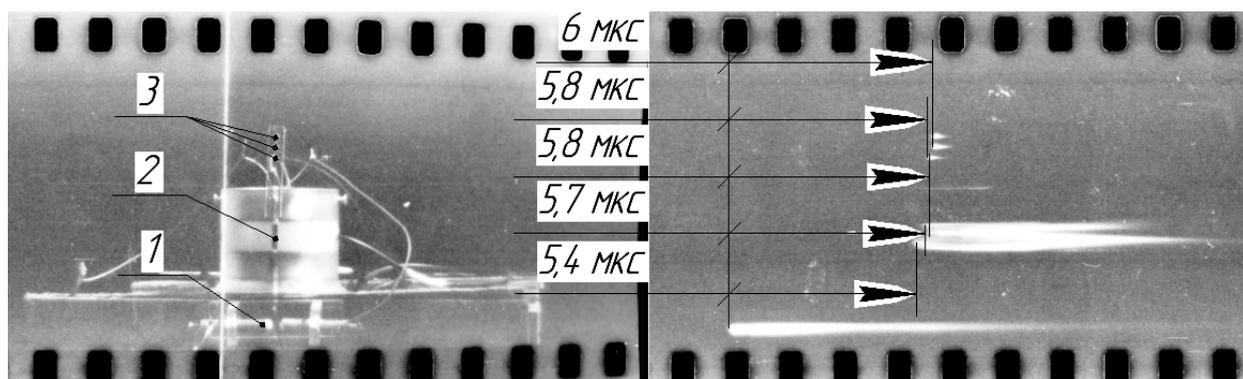


Рис. 8. Фотохронограмма второго эксперимента:  
1 – воздушный разрядник, 2 – заряд ВВ, 3 – оптические датчики

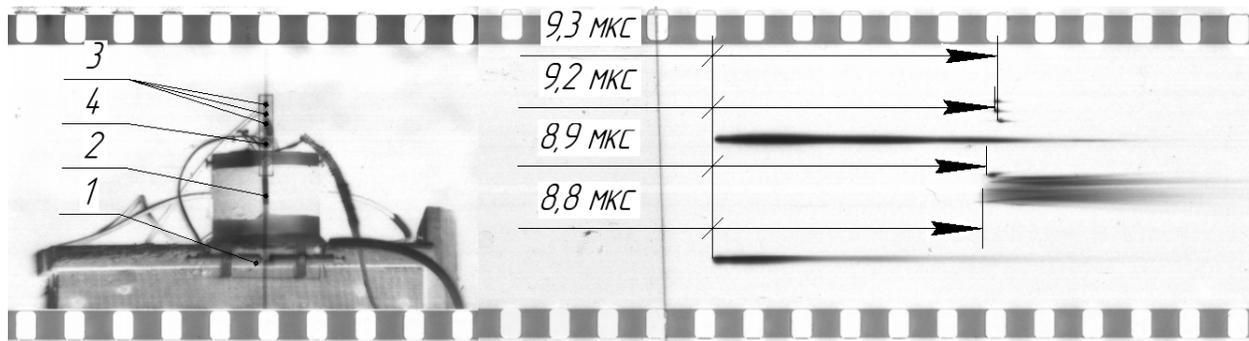


Рис. 9. Фотохронограмма четвертого эксперимента:  
1 – воздушный разрядник, 2 – заряд ВВ, 3 – оптические датчики (световоды), 4 – ЭД

новременность 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.

### 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. В 2-х томах / Под ред. Демидова В. А., Пляшкевича Л. Н., Селемира В. Д. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2012. Т. 1. С.276
2. Глушак Б. Л. Начала физики взрыва: Учебное издание. Саров: 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 / Под ред. Р. Ф. Трунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 2006.
4. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. – Изд. 3-е, переработанное. – В 2 т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. С. 605.