

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАЗМЫКАТЕЛЕЙ ТОКА С РЕБРИСТОЙ ПРЕГРАДОЙ

Д. А. Тепаев, С. А. Казаков, А. А. Агатов, Ю. В. Власов, В. А. Демидов, С. И. Володченко

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

Введение

Для инициирования протяженных цилиндрических разрывных зарядов взрывных размыкателей тока (ВРТ) применяются устройства инициирования (УИ) в виде цепочки электродетонаторов типа Д-22. На конференции «Молодежь в науке» 2017 г. А. А. Агатовым доложено о разработке такого УИ, формирующего расходящуюся цилиндрическую ударную волну с одновременностью фронта $\sim 0,2$ мкс, и предложено использовать его в полномасштабных опытах с ВРТ [1].

Испытание по обострению импульса тока многоэлементного дискового ВМГ с помощью ВРТ диаметром 600 мм и длиной 700 мм [2] показало, что сопротивление размыкателя составило ~ 14 мОм. Относительно малая величина сопротивления размыкателя и утечки тока по размыкаемому участку ВРТ привели к уменьшению амплитуды тока в нагрузке по отношению к расчетному значению. Чтобы повысить сопротивление ВРТ, предлагается применить в размыкателе дугогасящую среду, снижающую температуру плазменных образований, возникающих при электровзрыве участков проводника в пазах ребристой преграды, растянутых продуктами детонации разрывного заряда. Например, полость ВРТ можно заполнить элегазом (SF_6) [3] под давлением. Другой путь – в местах, где происходит электрический взрыв проводника, использовать продукты детонации дополнительного заряда взрывчатого вещества (ВВ).

В докладе приведены результаты газодинамических расчетов работы ВРТ с преградой, ребра которой облицованы пластиком ВВ, а также данные, полученные в проведенных взрывных экспериментах.

Газодинамические расчеты ВРТ со стальными кольцами, облицованными ПВВ

Ребристая преграда взрывного размыкателя тока (рис. 1) принципиально представляет собой периодическую структуру, состоящую из одинаковых размыкающих элементов в виде ребер и пазов между ними [1, 4]. Один такой элемент выделен пунктирной линией на рис. 1. При детонации разрывного заряда одни участки разрушаемого проводника (фольги)

задерживаются на ребрах преграды, а другие участки разгоняются в пазах. При этом проводник многократно растягивается, а под воздействием протекающего тока происходит электрический взрыв проводника в местах его утоньшения.

Если на ребрах расположить взрывчатое вещество, то под воздействием ударной волны от разрывного заряда ВВ детонирует, и продукты детонации заряда будут воздействовать на продукты электровзрыва фольги.

Для проверки работоспособности предложенной конструкции проведены сравнительные газодинамические расчеты элементов ВРТ без ВВ на ребрах преграды и с облицовкой ребер пластиком ВВ. В расчетах варьировались ширина ребер и пазов, толщина ВВ на ребрах преграды.

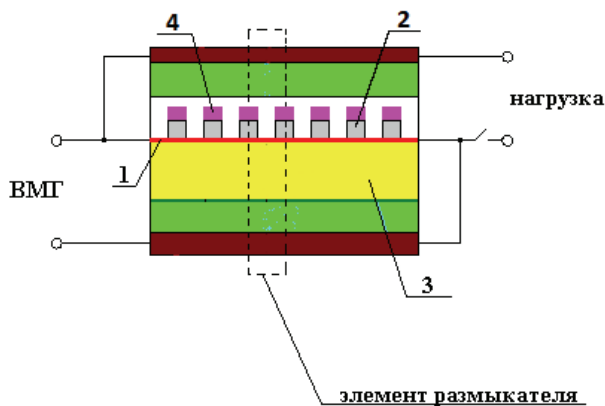


Рис. 1. Размыкатель с ребристой преградой: 1 – фольга; 2 – металлические кольца; 3 – разрывной заряд; 4 – дополнительный заряд ВВ

В таблице приведены данные о конструкции элемента ВРТ с дополнительным зарядом ВВ, выбранного для проведения экспериментальной проверки, результаты расчетов этого размыкателя и аналогичные данные по такому же элементу, но без дополнительного заряда. Ребро из стали имеет ширину 1,5 мм и толщину 1,2 мм. Ребро по наружной поверхности облицовано полоской ВВ из состава ПТ-83 сечением $1,5 \times 1,2$ мм², ширина паза – 3 мм, толщина разрушаемого проводника из меди – 0,3 мм.

Условия и результаты расчетов ВРТ

Номер расчета	δ , мм	Конструкция ребра	Ширина и толщина ребра, мм	z , мм	t_p , мкс
11315	0,3	Fe	1,5×1,2	3	1,5
11323	0,3	Fe + ПВВ 1,5мм	1,5×1,2	3	1,3

δ – толщина фольги, d – ширина и толщина ребра, z – ширина паза, t_p – время от момента выхода детонационной волны на поверхность фольги до ее видимого разрыва.

На рис. 2 показаны картины состояния ВРТ в разные моменты времени, полученные в сравнительных расчетах. Видно, что при наличии ВВ на ребре ВРТ процесс разрыва фольги происходит быстрее, чем в размыкателе без ВВ.

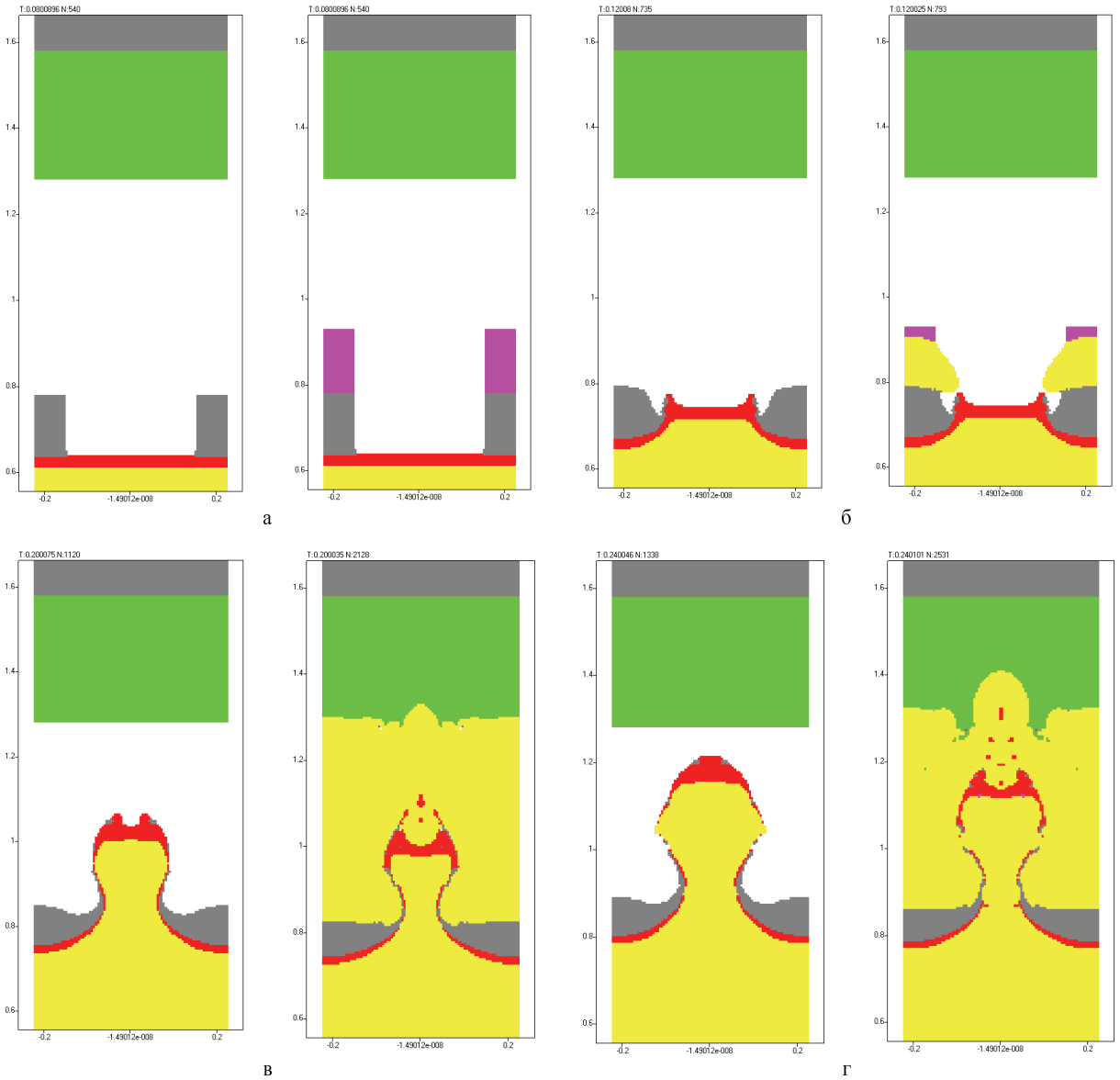


Рис. 2. Сравнительная картина работы ВРТ с ВВ (расчет № 11323 – слева) и без ВВ (расчет № 11315 – справа) после выхода детонационной волны на фольгу: а – через 0,1 мкс; б – через 0,5 мкс; в – через 1,3 мкс; г – через 1,7 мкс

Результаты взрывных экспериментов

В ходе первого эксперимента объектом исследований являлся взрывной размыкатель тока диаметром 100 мм (ВРТ-100), выполненный в виде набора стальных колец, облицованных полосками из пластического ВВ. Общий вид устройства представлен на рис. 3.

В состав испытанного устройства входят:

- спиральный ВМГ;
- ВРТ;
- индуктивная нагрузка.

ВРТ-100 состоит из устройства инициирования, промежуточного заряда ВВ, внутреннего токопровода, изолятора, разрывного заряда ВВ, разрушаемой фольги, преграды и внешнего токопровода. Разрушаемый проводник выполнен из медной фольги толщиной 0,28 мм в виде цилиндра диаметром 100 мм длиной 100 мм. Длина разрушаемого участка фольги 92 мм. Преграда ВРТ представляла собой набор стальных колец шириной 1,5 мм и толщиной 1,2 мм. Расстояние между кольцами 3 мм. Снаружи

стальные кольца облицованы полосками пластического ВВ из состава ПТ-83 толщиной 1,5 мм (см. вид А на рис. 3).

При разрываемом токе спирального ВМГ 2,8 МА получены осциллограммы, представленные на рис. 4 и 5.

В нагрузке индуктивностью ~ 10 нГн сформирован импульс тока амплитудой 2,1 МА с временем нарастания 1,2 мкс. Сопротивление ВРТ составило ~ 70 мОм.

Во втором опыте, проведенном при большем разрываемом токе спирального ВМГ ($\sim 5,5$ МА), испытывался ВРТ диаметром 100 мм, выполненный в виде преграды из органического стекла с ребрами шириной 1,5 мм и пазами шириной 3 мм с облицовкой ребер стальными кольцами шириной 1,5 мм и толщиной ~ 1 мм. Разрушение медной фольги толщиной 0,28 мм длиной 100 мм происходило с помощью заряда ВВ из состава ОФА-6У. Внутренние полости ВРТ и спирали заполнены газом SF_6 при давлении 4,2 атм.

В эксперименте получены осциллограммы, представленные на рис. 6 и рис. 7.

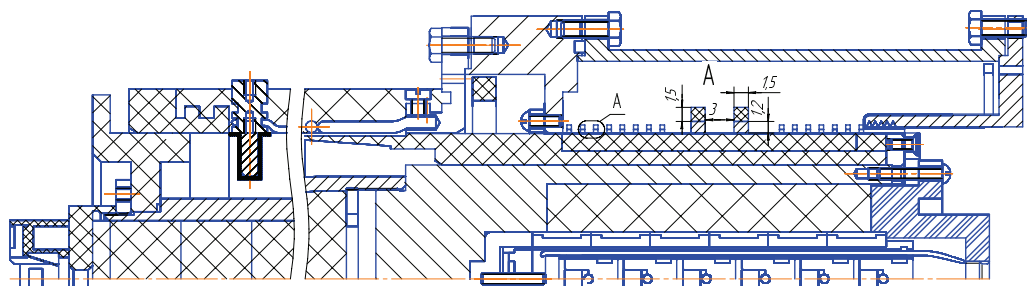


Рис. 3. Эскиз устройства

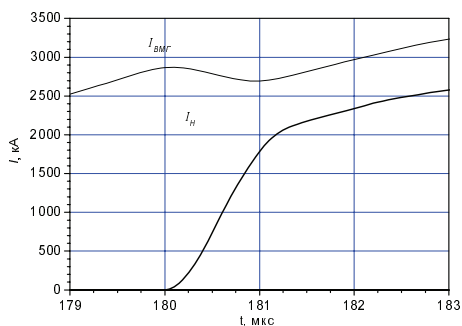


Рис. 4. Ток ВМГ и в нагрузке

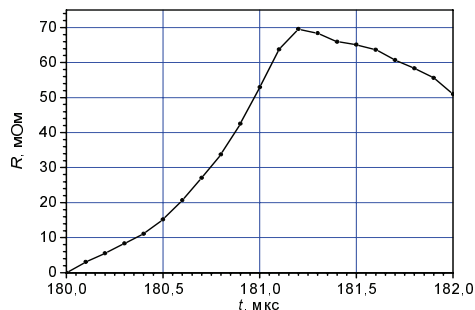


Рис. 5. Сопротивление ВРТ

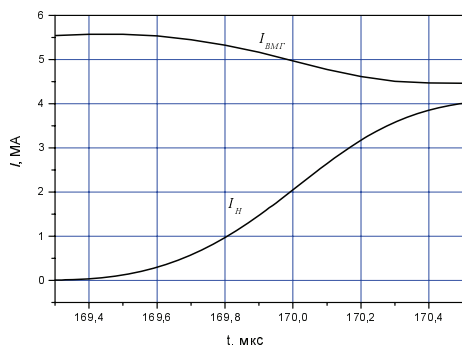


Рис. 6. Ток ВМГ и в нагрузке

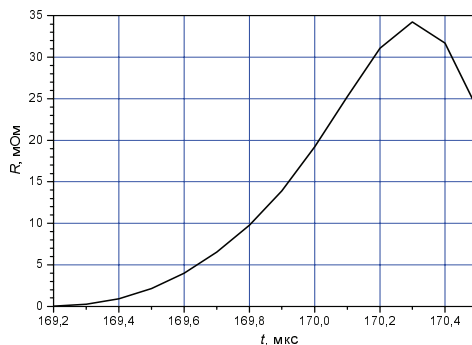


Рис. 7. Сопротивление ВРТ

В нагрузке индуктивностью ~ 10 нГн сформирован импульс тока амплитудой ~ 4 МА со временем нарастания $\sim 1,2$ мкс. Сопротивление ВРТ составило ~ 34 мОм.

В обоих взрывных экспериментах полученные значения сопротивления ВРТ выше, чем в эксперименте с дисковым ВМГ и ВРТ.

Выводы

В результате работы показано, что для уменьшения проводимости взрывного размыкателя необходимо применять дугогасящие среды, снижающие температуру плазменных образований, возникающих при электровзрыве участков проводника в пазах ребристой преграды, растянутых продуктами детонации разрывного заряда.

Экспериментально подтверждена возможность повышения сопротивления ВРТ за счет применения в размыкателе элегаза и ВВ над ребристой преградой для охлаждения и рассеивания плазменных образований.

Литература

1. Агапов А. А., Борискин А. С., Володченков С. И. и др. Устройство осевого инициирования цилиндрических зарядов взрывчатого вещества. // Сборник тезисов докладов XVI научно-технической конференции 25–27 октября 2017 г. С.31.

2. Власов Ю. В., Демидов В. А., Борискин А. С. и др. Устройство импульсной мощности на основе дискового взрывомагнитного генератора ДВМГ240 с взрывным размыкателем тока // В кн.: Проблемы физики высоких плотностей энергии / Под ред. С. Г. Гаранина, В. Д. Селемира, В. П. Соловьева. – Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2017. Т. 2. С. 216–222.

3. Demidov V. A., Boriskin A. S., Stepanov N. V., et al. Electro-Exploded Current Opening Switch Powered from Magneto-Cumulative Generator // In: Megagauss X / Ed. M. von Ortenberg, Berlin – Humboldt University at Berlin. 2005. P. 94–98.

4. Голосов С. Н., Демидов В. А., Казаков С. А. и др. Испытание устройства на основе дискового взрывомагнитного генератора ДВМГ480 с взрывным размыкателем тока // В кн.: Проблемы физики высоких плотностей энергии / Под ред. С. Г. Гаранина, В. Д. Селемира, В. П. Соловьева. – Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2017. Т. 2. С. 223–228.