

ВОЗДУШНЫЙ РАЗРЯДНИК ДЛЯ СИЛЬНОТОЧНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ С РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 5 кВ

© 2020 г. А. Н. Гусев^{а,*}, А. В. Козлов^а, А. В. Шурупов^а,
А. В. Маштаков^а, М. А. Шурупов^а

^а Объединенный институт высоких температур РАН
Россия, 125412, Москва, ул. Ижорская, 13, стр. 2

*e-mail: a.n.gusev70@mail.ru

Поступила в редакцию 24.03.2020 г.

После доработки 30.03.2020 г.

Принята к публикации 18.04.2020 г.

Описан воздушный разрядник, коммутирующий одну из секций емкостного накопителя, состоящего из 234 конденсаторов К41И-7 (5 кВ, 23.4 мФ). Разрядник запускается от специального плазменного инициатора. В конструкции разрядника использованы элементы, позволяющие пропускать большой электрический заряд с возможностью последующей быстрой замены. Задержка времени срабатывания разрядника составляет ~20 мкс при нестабильности времени срабатывания порядка 10 мкс. Данный воздушный разрядник использовался для коммутации емкостного накопителя, состоящего из 160 конденсаторов К75-100 (176 мФ, 6 кВ).

DOI: 10.31857/S0032816220050146

Сильноточный источник питания на основе высоковольтного емкостного накопителя электрической энергии, как правило, нуждается в управляемом разряднике, контакты которого после запуска способны пропускать большой электрический заряд. При этом поверхность контактов должна быть либо эрозионно-стойкой, либо легко доступной для восстановления или замены.

Основными требованиями к конструкции разрядника являются высокая надежность в широком диапазоне внешних условий, простота конструкции и обслуживания, а также относительно невысокая стоимость. Основываясь на многолетнем опыте работы с многоканальными газонаполненными и вакуумными разрядниками, один из которых описан в работе [1], можно отметить один из их главных недостатков — резкое снижение рабочих характеристик после проведения эксперимента при условии, что через разрядник протекали большие токи за достаточно длительный промежуток времени.

От протекающего через разрядник электрического заряда зависит интенсивность эрозионных процессов на электродах системы. Вследствие этого заметно снижается ресурс работы разрядника и приходится тратить большие средства и время на приобретение и установку новых разрядников. Чтобы повысить надежность работы разрядников, их конструкцию сильно усложняют либо применя-

ют дорогостоящие материалы для контактов, которые не всегда приводят к желаемому результату. Наиболее близким по конструкции к нашему изделию является разрядник, представленный в [2]. Основными недостатками данной конструкции можно назвать следующие:

— обязательное заполнение внутреннего объема разрядника инертным газом (например, азотом), что сильно усложняет техническое обслуживание электродов в процессе эксплуатации разрядника;

— применение в качестве материала электродов эльконайта — медно-вольфрамового сплава, который приводит к существенному удорожанию разрядника в целом.

Исходя из вышесказанного, была разработана конструкция нового воздушного разрядника, совмещенного с токовыми коллекторами как для подходящих (120 коаксиальных кабелей РК 50-9-11), так и для отходящих (24 коаксиальных кабеля РК 50-11-13 либо 8 кабелей СИП-3 1×95-20) кабелей. Такое количество подходящих и отходящих кабелей выбрано исходя из получения приемлемого значения импеданса 1 секции емкостного накопителя.

Описанный ниже токосборник с воздушным разрядником предназначен для работы с батареей из 234 конденсаторов К41И-7 (5 кВ, 23.4 мФ). Конденсаторы объединены попарно и от каждой

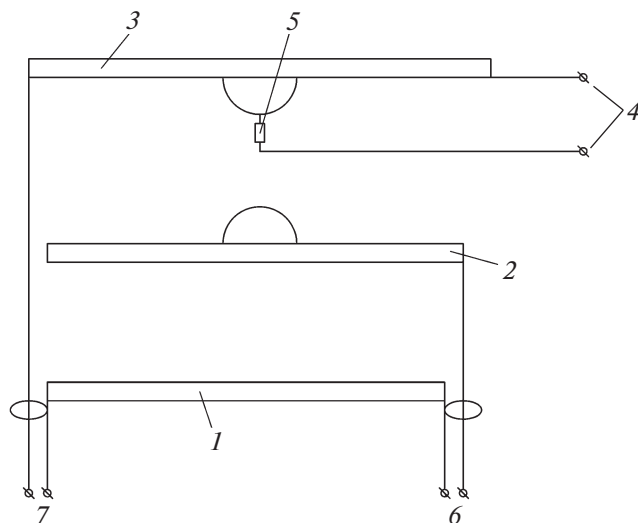


Рис. 1. Общая схема разрядника с токосборником. 1 – общий контакт (катод); 2 – контакт средних жил подходящих кабелей (анод 1); 3 – контакт средних жил отходящих кабелей (анод 2); 4 – клеммы инициатора; 5 – медная проволочка; 6 – клеммы подходящих кабелей; 7 – клеммы отходящих кабелей.

пары отходит один кабель. Всего в емкостный накопитель входят 4 такие секции. Установка на каждой секции по токосборнику обусловлена необходимостью использования различного числа конденсаторов для запитки соленоида в зависимости от условий эксперимента, тем более что конструкция разрядника позволяет выполнить коммутацию нескольких секций на один разрядник достаточно легко и быстро. Данный накопитель входит в состав стенда по исследованию плазмы. На рис. 1 представлена общая схема воздушного разрядника с токосборником.

Разрядник условно можно разделить на 3 части:

- общий контакт 1 (катод), к которому крепятся оплетки подходящих 6 и отходящих 7 кабелей;
- контакт 2 (анод 1) средних жил подходящих кабелей 6;
- контакт 3 (анод 2) средних жил отходящих кабелей 7.

Для запуска воздушного разрядника на клеммы инициатора 4 замыкается система инициирования, запасенной энергии которой достаточно для расплавления медной проволочки 5 и создания плазменного контакта между анодом 1 (2) и анодом 2 (3).

Конструкция разрядника показана на рис. 2а, а внешний вид разрядника с токосборником – на рис. 2б.

Аноды разрядника 2, 3 соединены между собой посредством 4-х цилиндрических изоляторов 15, выполненных из полиацетала (см. также вид А

на рис. 2а). Сборка из двух анодов устанавливается на катод 4 на 4-х цилиндрических изоляторах 16, выполненных из полиацетала (вид А).

На каждом контакте установлено по несколько рядов болтов М8, при помощи которых крепятся оплетки или центральные жилы коаксиальных кабелей. Под каждый болт зажимается по две оплетки или центральные жилы специально спрофилированной прямоугольной шайбой 17 (рис. 2а, вид Г). Все отверстия на контактах, через которые проходят кабели, выполнены соосно для того, чтобы исключить повреждение внутренней изоляции кабелей.

Для ускорения и облегчения восстановления работоспособности воздушного разрядника анод 2 (2) выполнен из двух частей, соединяемых между собой поясом из 24 болтов М12. Внешний диаметр фланца съемной части 1 выбран исходя из обеспечения необходимой площади контакта между разборными частями и получения необходимого свободного пространства для проведения зачистки и обслуживания пластины контакта анода 1 (3). Перед установкой съемной части на поверхность прилегания допускается нанесение специальной смазки для улучшения проводимости в зоне контакта.

Для ослабления звуковой волны при срабатывании разрядника, а также исключения попадания капель жидкого металла на изоляцию радиочастотных кабелей при протекании тока между контактами анодов был выполнен лабиринт из соосно расположенных отрезков труб различного диаметра (8, 13, вид Б). Трубы к пластинам анодов приварены при помощи прихваток в нескольких точках.

Так как данный разрядник предназначен для коммутации больших токов, то контакты, через которые они протекают, выполнены в виде нескольких элементов с применением различных материалов, а именно, меди (проставки 7, 14, вид Б) и конструкционной стали (“грибки” 9, 12, вид Б). Это позволяет, в случае возникновения искрения, исключить сваривание элементов контакта с пластинами анодов.

Основными сменными элементами представленной конструкции являются два “грибка” (9, 12, вид Б), выполненные из шестигранного прутка конструкционной стали, к торцам которых привариваются заменяемые шайбы (10, 11) из конструкционной стали толщиной 2 мм. Во время работы разрядника идет перенос части металла от одной шайбы к другой, при этом на нижней шайбе образуются кратеры, а на верхней – наросты. Эти повреждения могут потребовать либо полной замены “грибков”, либо шлифования внешних поверхностей шайб угловыми шлифмашинками.

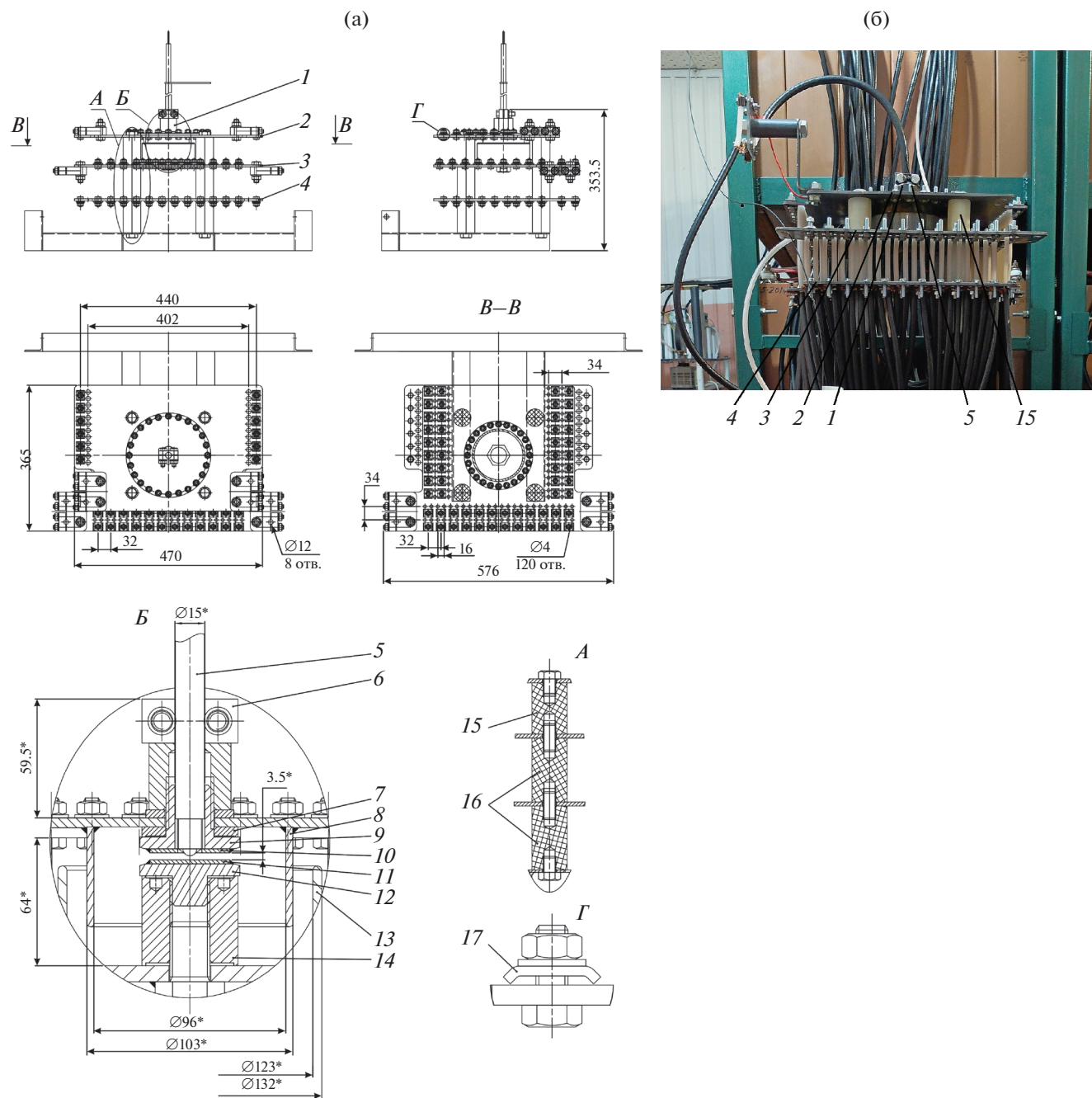


Рис. 2. Конструкция разрядника с токосборником (а) и его внешний вид (б). 1 – верхняя съемная часть; 2 – контакт средних жил отходящих кабелей (анод 1); 3 – контакт средних жил подходящих кабелей (анод 2); 4 – общий контакт (катод); 5 – инициатор; 6 – пластина фиксации инициатора; 7, 14 – медные проставки; 8, 13 – трубы; 9, 12 – “грибки”; 10, 11 – сменные шайбы; 15, 16 – изоляторы; 17 – спрофилированная шайба.

В “грибке” 9 выполнено отверстие $\varnothing 15$ мм, а в приваренной к нему шайбе 10 – отверстие немного меньшего диаметра. При использовании этих отверстий формируется гнездо, в которое устанавливается инициатор 5. Однозначность положения инициатора по вертикали задается упором в виде выступающих плечиков. Отверстие в шайбе необходимо для того, чтобы плазма, образовавшаяся

при взрыве медного проводника инициатора, попала в межэлектродный зазор и запустила разрядник. Положение инициатора фиксируется двумя пластинами, стягиваемыми болтами, в которых выполнены пазы с радиусами скругления, равными радиусу внешней оболочки инициатора. Причем, одна из пластин (6, вид Б) приварена к торцевой поверхности гайки.

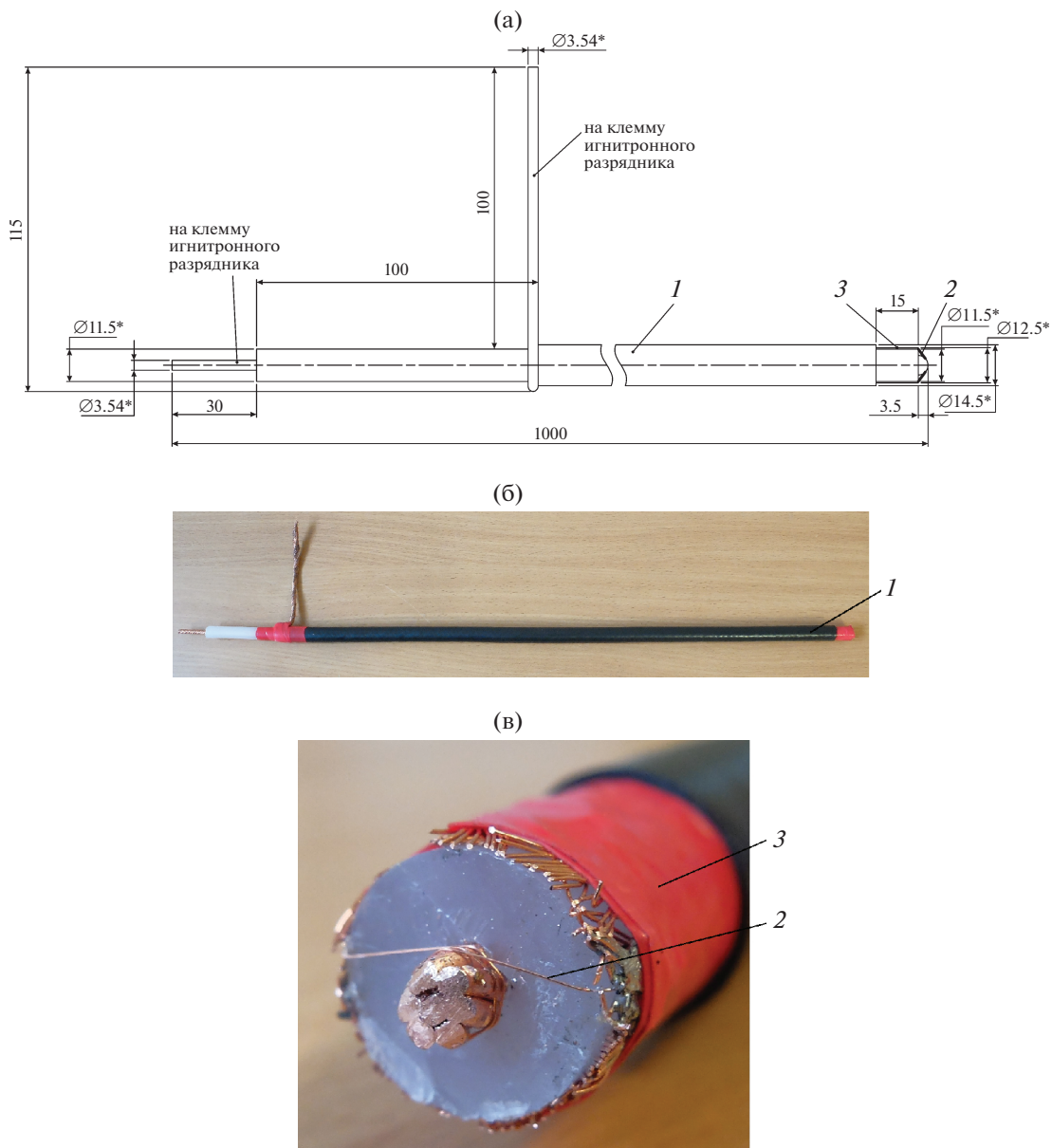


Рис. 3. Конструкция инициатора (а) и его внешний вид (б, в). 1 – отрезок коаксиального кабеля; 2 – иницирующая проволочка; 3 – изоленга.

Одним из наиболее известных и отработанных способов иницирования воздушных разрядников является искровой, при котором запуск разрядника производится от электрической искры или дуги, возникающей в промежутке между запускающими электродами. Данный способ применен в разряднике, описанном статье [2]. Проведя серию экспериментов с инициатором данного типа, мы убедились, что стабильность его работы сильно зависит от стабильности параметров окружающей среды, в которой он установлен. Поэтому было принято решение отказаться от него в пользу инициатора на основе “взрывающегося проводника”.

Чертеж инициатора представлен на рис. 3а, а внешний вид изготовленного инициатора показан на рис. 3б и 3в.

Инициатор представляет собой отрезок коаксиального кабеля 1 первоначальной длиной около 1 м. Один конец кабеля разделяется под соединение с игнитронным разрядником. На втором конце зачищается отрезок длиной 18 мм. Затем от внутренней изоляции зачищается 3 мм центральной жилы. Между оплеткой и центральной жилой припаивается калиброванная медная проволока 2 $\varnothing 0.19$ мм. После остывания места спайки тщательно зачищаются мелким надфи-

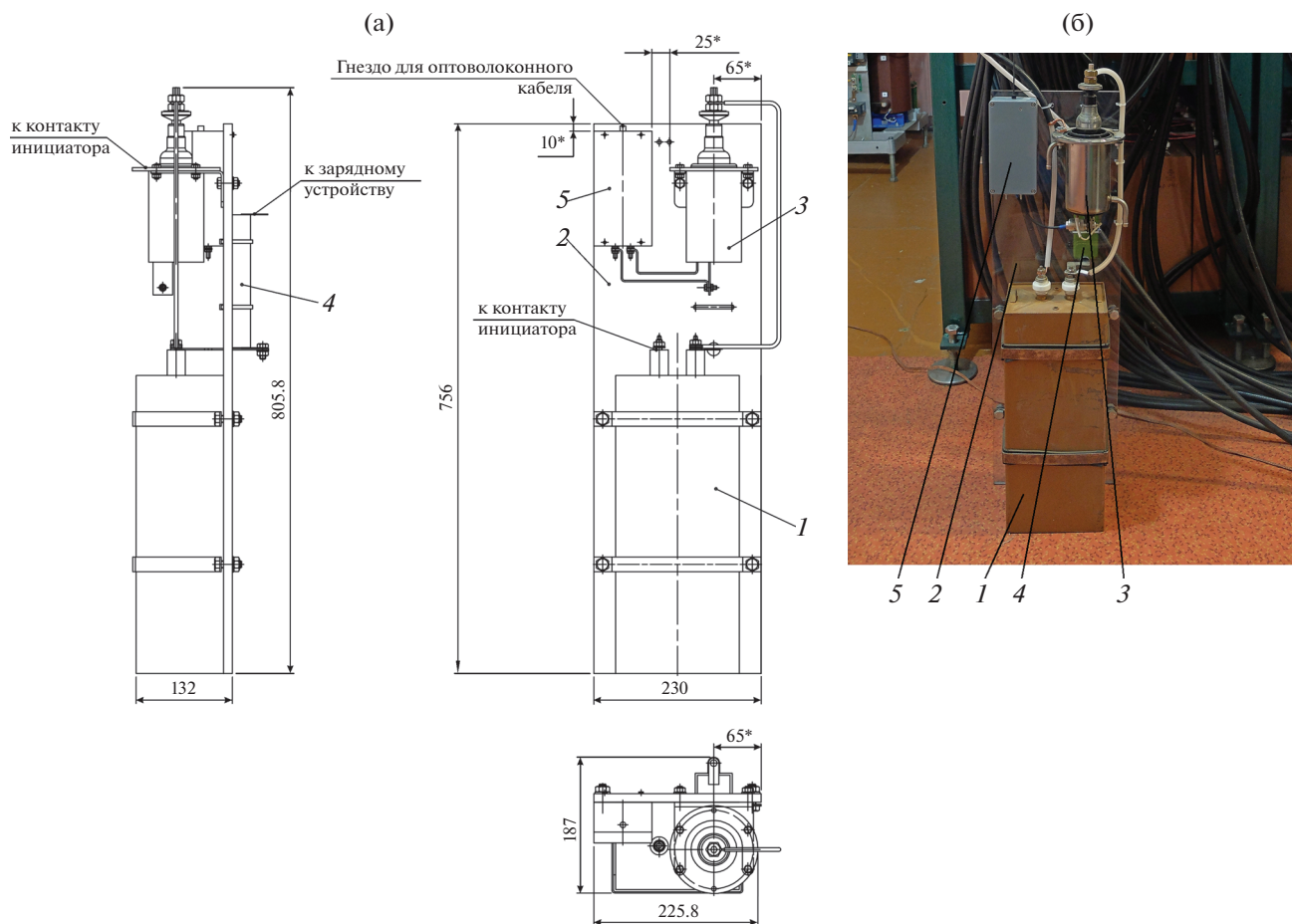


Рис. 4. Конструкция системы иницирования (а) и ее внешний вид (б). 1 – конденсатор К41И-7; 2 – платформа; 3 – игнитрон ИРТ-6; 4 – зарядный резистор; 5 – блок запуска.

лем. Затем на оплетку наносят два витка изолен- ты 3 для удобства установки в гнездо.

Стабилизация времени срабатывания инициа- тора достигается за счет использования отрезка калиброванной медной проволоки фиксиро- ванной длины. После срабатывания проводится анализ повреждений в месте взрыва проводника. Если повреждения не фатальны, то, отрезав кусок длиной около 20 мм и проведя его зачистку, опи- санную выше, данный отрезок радиочастотного кабеля может быть использован в качестве инициатора в дальнейших экспериментах.

Конструктивно система иницирования пред- ставлена на рис. 4а, а ее внешний вид показан на рис. 4б.

Основой системы иницирования является конденсатор 1 (К41И-7, 5 кВ, 100 мкФ), к кото- рому при помощи хомутов прикреплена платфо- рма 2 из монолитного поликарбоната со смонти- рованной на ней схемой запуска на основе игни- тронного разрядника 3 (ИРТ-6). На задней части платформы установлен зарядный резистор 4.

В верхнем левом углу платформы смонтирован также блок запуска 5, преобразующий оптиче- ский сигнал от системы управления стендом в

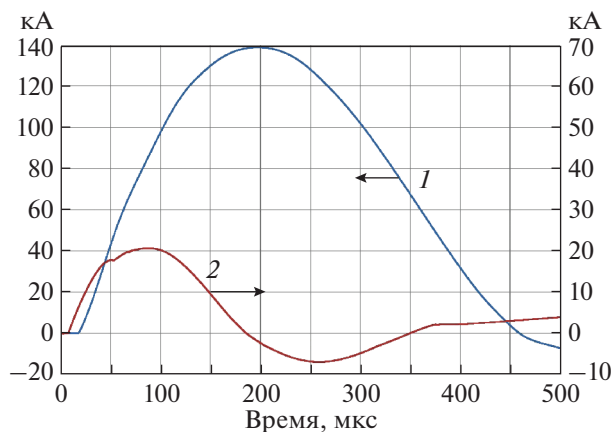


Рис. 5. Осциллограммы токов: 1 – через модельную нагрузку; 2 – через проволочку инициатора.

электрический с необходимыми параметрами для срабатывания игнитронного разрядника. Зарядка конденсатора системы инициирования происходит одновременно с зарядкой основного емкостного накопителя.

На рис. 5 приведены осциллограммы токов, протекающих через проволочку инициатора и модельную нагрузку.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что предложенная конструкция воздушного разрядника пригодна для использования его в разрыве кабельных линий в качестве замыкателя для коммутации высоковольтных емкостных батарей на исследуемые нагрузки. При этом разрядник продемонстрировал стабильное время сраба-

тывания и высокую технологичность обслуживания между пусками.

Основные характеристики разрядника. Максимальное напряжение батареи 24 кВ; пропускаемый электрический заряд не менее 1000 Кл; задержка срабатывания разрядника ≈ 20 мкс; нестабильность времени срабатывания ≈ 10 мкс; минимальное время между пусками ≈ 10 мин; срок службы разрядника — неограничен; коммутируемый ток не менее 100 кА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков С.В., Жмодиков А.Л., Сидоров В.А., Алфёров Д.Ф. // ПТЭ. 2011. № 4. С. 88.
2. Капишиков Н.К. // ПТЭ. 1990. № 2. С. 240.