

## ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЙ ВОЗДУШНЫЙ КОММУТАТОР С ГРАФИТОВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ КВТГ-50 НА НАПРЯЖЕНИЕ ДО $\pm 50$ КВ И ИМПУЛЬСНЫЙ ТОК АМПЛИТУДОЙ ДО $\pm 220$ КА

*Представлені основні технічні характеристики і короткий опис конструкції високовольтного трьохелектродного сильноточного повітряного коммутатора з графітовими електродами КВТГ-50 на номінальну напругу  $\pm 50$  кВ. Створений зразок коммутатора призначений для роботи в розрядному колі потужного високовольтного генератора нормованих мікроросекундних імпульсів струму штучної блискавки з амплітудою  $I_m = \pm(200 \pm 20)$  кА при їх тривалості  $\tau_p = (350 \pm 35)$  мкс на рівні  $0,5 \cdot I_m$ . Даний коммутатор каскадного типу із-за застосування графітових електродів володіє підвищеним робочим ресурсом і підвищеною стабільністю спрацювання при його використанні у складі генератора струму імітованої лінійної блискавки. Бібл. 13, рис. 3.*

*Ключові слова:* високовольтний сильноточний повітряний трьохелектродний коммутатор, графітовий основний і керуючий електроди, генератор мікроросекундних імпульсів струму штучної лінійної блискавки.

*Представлены основные технические характеристики и краткое описание конструкции высоковольтного трехэлектродного сильноточного воздушного коммутатора с графитовыми электродами КВТГ-50 на номинальное напряжение  $\pm 50$  кВ. Созданный образец коммутатора предназначен для работы в разрядной цепи мощного высоковольтного генератора нормированных микросекундных импульсов тока искусственной молнии с амплитудой  $I_m = \pm(200 \pm 20)$  кА при их длительности  $\tau_p = (350 \pm 35)$  мкс на уровне  $0,5 \cdot I_m$ . Данный коммутатор каскадного типа из-за применения графитовых электродов обладает повышенным рабочим ресурсом и повышенной стабильностью срабатывания при его использовании в составе генератора тока имитированной линейной молнии. Библ. 13, рис. 3.*

*Ключевые слова:* высоковольтный сильноточный воздушный трехэлектродный коммутатор, графитовый основной и управляющий электроды, генератор микросекундных импульсов тока искусственной линейной молнии.

**Введение.** Высоковольтные сильноточные воздушные коммутаторы из-за простоты конструкции и относительно малой стоимости нашли весьма широкое практическое применение в области высоковольтной импульсной техники (ВИТ) [1-3]. Используются они, как правило, в разрядных схемах мощных емкостных и индуктивных накопителей энергии. Промышленным образом данные высоковольтные коммутирующие устройства у нас не выпускаются. Поэтому в случае необходимости (например, при создании соответствующего высоковольтного оборудования для научных и электротехнологических целей) специалистам-высоковольтникам приходится самостоятельно решать технические задачи по разработке и изготовлению подобных коммутаторов. При этом одной из актуальных задач для коммутации больших импульсных токов (БИТ) является та, которая связана с обеспечением рабочего ресурса (числа срабатываний) используемых коммутаторов, исчисляемого тысячами включений и прохождением через их электроды большого количества зарядов (в десятки Кл) и соответственно БИТ (с амплитудой тока в десятки и сотни кА). Не менее важной задачей при этом в области ВИТ остается та, которая связана с обеспечением высокой стабильности срабатывания рассматриваемых коммутаторов. Указанные задачи с особой остротой возникают при создании мощных высоковольтных генераторов, формирующих на электрической нагрузке (объекте испытаний) импульсный ток искусственной линейной молнии [4]. В [5] была описана конструкция высоковольтного трехэлектродного воздушного управляемого разрядника с графитовыми электродами типа РВГУ-50, рассчитанного на напряжение  $\pm 50$  кВ и работу в разрядной сильноточной цепи генератора импульсного тока молнии (ГИТМ). С целью дальнейшего расширения собственных техни-

ческих возможностей и обеспечения внутреннего резервирования комплектующими элементами проводимых высоковольтных работ в НИО №4 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» перед его сотрудниками возникла техническая задача по оперативной разработке и созданию упрощенной конструкции высоковольтного сильноточного воздушного коммутатора с графитовыми электродами, предназначенного для работы в составе ГИТМ.

**1. Краткое описание конструкции высоковольтного трехэлектродного воздушного коммутатора с графитовыми электродами типа КВТГ-50.** На рис. 1 приведен общий вид сверху высоковольтного сильноточного коммутатора типа КВТГ-50 массой до 11 кг, а на рис. 2 – его общий вид сбоку. Из данных рис. 1 и 2 видно, что этот коммутатор, относящийся к каскадному виду высоковольтных разрядников, содержит два основных полусферических электрода и один управляющий практически сферический электрод, размещенный снизу между его основными электродами. Рабочие полусферические элементы основных электродов коммутатора выполнены из графита марки ГЭ и имеют диаметр 72 мм. Графитовые полусферические элементы основных электродов описываемого коммутатора утоплены примерно на 25 мм в круглые цилиндрические стальные фланцы наибольшим диаметром 92 мм (материал – сталь 3), и жестко закреплены в них с помощью восьми стальных винтовых соединений, равномерно распределенных по их наружному круговому периметру. Круглое сплошное основание стальных фланцев по центру приварено к одиночному стальным шпилькам диаметром 20 мм и длиной 170 мм, имеющим на всей своей длине метрическую резьбу. Стальные шпильки фланцев основных электродов коммутатора закреплены с помощью

стальных гаек М20 на массивных вертикальных изоляционных плитах (материал – СТЭФ) толщиной 30 мм, высотой 240 мм и шириной 250 мм.



Рис. 1. Общий вид сверху высоковольтного трехэлектродного воздушного коммутатора с графитовыми основными и управляющим электродами типа КВТГ-50 на номинальное напряжение  $\pm 50$  кВ и импульсный ток амплитудой до  $\pm 220$  кА микросекундного временного диапазона

Данные стеклопластиковые плиты рассматриваемого коммутатора КВТГ-50 между собой раскреплены по углам при помощи четырех круглых изоляционных тяг (материал – текстолит) диаметром 20 мм и длиной 300 мм. Тяги с указанными плитами соединены при помощи стальных винтовых соединений. Горизонтальные оси стальных шпилек, стальных фланцев и графитовых частей основных электродов расположены на высоте 175 мм над плоским изоляционным основанием толщиной 10 мм (материал – СТЭФ) этого коммутатора. Горизонтальное основание созданного коммутатора типа КВТГ-50 установлено на четырех опорных изоляторах марки BUS-BAR-SM-57 высотой 57 мм [5], расположенных по углам его плоского прямоугольного основания и закрепляемых на рабочем столе мощного генератора ГИТМ-10/350.

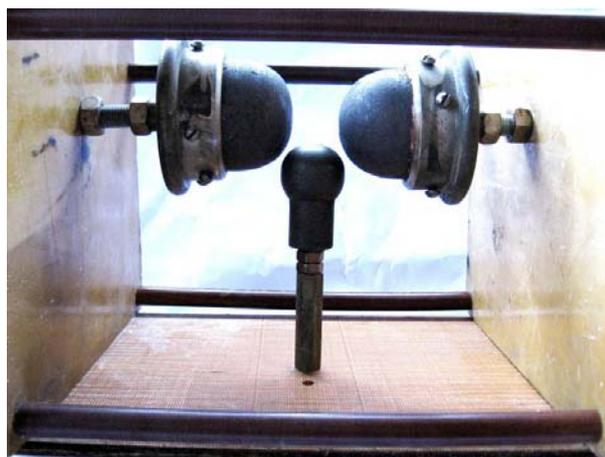


Рис. 2. Общий вид сбоку высоковольтного трехэлектродного воздушного коммутатора с графитовыми основными и управляющим электродами типа КВТГ-50 на номинальное напряжение  $\pm 50$  кВ и импульсный ток амплитудой до  $\pm 220$  кА микросекундного временного диапазона

Конструкция основных электродов рассматриваемого коммутатора КВТГ-50 позволяет изменять их

положение в горизонтальной плоскости, расположенной на высоте 175 мм над неподвижным плоским стеклопластиковым основанием коммутатора, и тем самым легко изменять расстояние между ними в пределах от нуля до 100 мм и соответственно выбирать требуемую по условиям работы генератора ГИТМ-10/350 длину  $l_0$  его основного воздушного промежутка. Под основными электродами описываемого нами коммутатора вертикально размещен управляющий сферический электрод диаметром 43 мм, выполненный из графита марки ГЭ и фиксировано закрепленный с помощью резьбового соединения на вертикально установленной стальной шпильке диаметром 18 мм. Данная шпилька с помощью стальной гайки жестко закреплена на плоском стеклопластиковом основании коммутатора. Согласно рис. 2 коммутатор типа КВТГ-50 имеет два рабочих искровых промежутка, меньший из которых длиной  $l_1$  примыкает к его непотенциальному основному электроду, а больший длиной  $l_2$  – к потенциальному основному электроду, подсоединенному к потенциальной токопроводящей шине коллектора генератора ГИТМ-10/350. Длины  $l_1$  и  $l_2$  рабочих искровых промежутков изменяются путем соответствующего перемещения в горизонтальной плоскости основных электродов коммутатора, расположенных между стеклопластиковыми плитами, отстоящими друг от друга на расстоянии 300 мм. Диапазон такого изменения величин  $l_1$  и  $l_2$  составляет от 1 до 20 мм. Укажем, что перед установкой в коммутатор его графитовые элементы после токарной обработки были подвергнуты нами тщательной полировке.

Одной из отличительных особенностей разработанного высоковольтного коммутатора типа КВТГ-50 является то, что графитовые элементы в нем используются практически только в локальной зоне генерирования и прохождения по воздушным промежуткам длиной  $l_1$  и  $l_2$  сильноточных искровых разрядов. Такое исполнение графитовых элементов его основных и управляющего электродов с удельной электропроводностью их материала около  $1,25 \cdot 10^5$  (Ом·м)<sup>-1</sup> [11] приводит к уменьшению их активного сопротивления, вносимого коммутатором в низкоомную разрядную цепь генератора ГИТМ-10/350. Заметим, что собственное суммарное активное сопротивление разрядной цепи указанного генератора составляет порядка сотни миллиом. Выполненная расчетная оценка активного сопротивления применяемых в коммутаторе КВТГ-50 графитовых элементов его электродов показывает, что оно может достигать лишь порядка единицы миллиом. Поэтому данные графитовые элементы электродов коммутатора КВТГ-50 практически не будут изменять суммарное активное сопротивление высоковольтной разрядной цепи генератора ГИТМ-10/350.

Другой отличительной особенностью высоковольтного коммутатора типа КВТГ-50 является его способность к длительному поддержанию существования (горения) плазменных каналов искровых разрядов в воздушных промежутках длиной  $l_1$  и  $l_2$ . Для высоковольтных генераторов тока искусственной молнии, формирующих на электрической нагрузке импульсные как относительно короткие, так и длительные токовые компоненты линейной молнии длитель-

ностью от сотен микросекунд до сотен миллисекунд (в пределе до 1 с) [4-10], эта способность коммутирующих устройств их разрядных цепей имеет большое значение. С помощью коммутаторов с графитовыми электродами в разрядных цепях таких генераторов можно достаточно длительно (на время до 1000 мс) поддерживать протекание импульсного тока имитированной молнии. Применительно к коммутатору типа КВТГ-50 объясняется эта способность электрофизикой явлений, протекающих на его графитовых электродах. Как известно, с одной стороны, графит марки ГЭ при его температуре плавления около 3800 °С [11], что определяет его высокие термоэрозионные качества, имеет относительно высокое значение работы выхода свободных электронов, составляющее около  $4,7 \text{ эВ} \approx 7,53 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$  [12]. Это свойство графита марки ГЭ приводит к увеличению времени задержки срабатывания трехэлектродного коммутатора с основными электродами, выполненными из такого материала, после подачи на его управляющий электрод высоковольтного (с амплитудой порядка  $\pm 100 \text{ кВ}$ ) микросекундного импульса напряжения поджига и возникновения на них (этих электродах) из-за ударной ионизации газовой среды разрядных искровых промежутков коммутатора пробивного напряжения. С другой стороны, графит марки ГЭ, по сравнению с основными проводниковыми металлами (например, медью и сталью 3) и их сплавами (например, латунью Л62), обладает наиболее низким действующим значением критического тока  $I_k$  (для промышленной частоты 50 Гц оно составляет около 2 А [13]), ниже (меньше) которого нагретое основание плазменного канала как дугового, так и импульсного искрового разряда на поверхности электрода практически мгновенно (за время около 1 мкс [13]) охлаждается. Для сравнения приведенных данных по уровню тока  $I_k$  для графита марки ГЭ с аналогичными параметрами для иных материалов заметим, что для медных электродов коммутатора критический ток  $I_k$  численно составляет около 165 А [13]. Охлаждение указанного круглого основания («пятна») канала разряда на поверхности того или иного электрода коммутатора приводит к прекращению термоэмиссии свободных электронов с поверхности проводящего электрода в зону газового (воздушного) промежутка коммутатора. По этой причине при разрядном токе, протекающем в коммутаторе, меньше критического значения  $I_k$  в нем (коммутаторе) будет происходить скачкообразное восстановление электрической прочности его газоразрядного промежутка, вызывающее погасание канала импульсного разряда и соответственно прерывание разрядного тока в силовоточной цепи высоковольтного генератора.

**2. Результаты экспериментальной апробации высоковольтного трехэлектродного воздушного коммутатора с графитовыми электродами типа КВТГ-50.** Созданный высоковольтный коммутатор типа КВТГ-50 прошел опытную проверку своей работоспособности в силовоточной разрядной цепи мощного генератора ГИТМ-10/350 [5], формирующего на низкоомной активно-индуктивной нагрузке ( $R_H \approx 0,1 \text{ Ом}$ ;  $L_H \approx 1,5 \text{ мкГн}$ ) нормированные аperiodические импульсы тока искусственной молнии временной

формы  $\tau_f/\tau_p = 10 \text{ мкс}/350 \text{ мкс}$ , где  $\tau_f$ ,  $\tau_p$  – соответственно длительность фронта (с допуском  $\pm 20 \%$ ) и длительность импульса тока на уровне  $0,5 \cdot I_m$  (с допуском  $\pm 10 \%$ ), с амплитудой  $I_m = \pm(100-200) \text{ кА}$  (с допуском  $\pm 10 \%$ ) [6-10]. При зарядном напряжении  $U_{31-3} = -15 \text{ кВ}$  трех параллельно работающих на указанную общую активно-индуктивную нагрузку генераторов импульсных токов (ГИТ), собранных на основе 175 шт. высоковольтных импульсных конденсаторов типа ИК-50-3 и входящих в состав генератора импульсного тока искусственной молнии типа ГИТМ-10/350, коммутатор КВТГ-50 обеспечивал коммутацию аperiodического импульса тока временной формы 15 мкс/325 мкс с амплитудой  $I_m \approx -98,2 \text{ кА}$ , соответствующей времени  $t_m = 24 \text{ мкс}$ . При этом зарядное напряжение четвертого ГИТ, содержащего 288 шт. последовательно-параллельно включенных высоковольтных импульсных конденсаторов типа ИМ2-5-140 и формирующего спад данного токового импульса, составляло  $U_{34} = -2,25 \text{ кВ}$ . На рис. 3 приведена осциллограмма полученного в разрядной цепи генератора ГИТМ-10/350 импульса тока искусственной молнии, прошедшего через изготовленный коммутатор КВТГ-50.

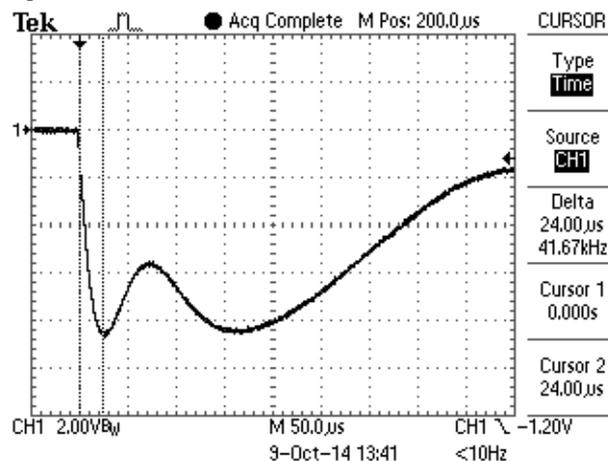


Рис. 3. Осциллограмма аperiodического импульса тока искусственной молнии временной формы 15 мкс/325 мкс с амплитудой  $I_m \approx -98,2 \text{ кА}$  в разрядной цепи мощного генератора ГИТМ-10/350 на стадии его пуско-наладки, содержащего высоковольтный силовоточный коммутатор типа КВТГ-50 ( $U_{31-3} = -15 \text{ кВ}$ ;  $U_{34} = -2,25 \text{ кВ}$ ;  $t_m = 24 \text{ мкс}$ ; масштаб по вертикали – 22,52 кА/клетка; масштаб по горизонтали – 50 мкс/клетка)

При получении импульсного тока в разрядной цепи генератора ГИТМ-10/350, осциллограмма которого приведена на рис. 3, разряд четвертого ГИТ с 288 шт. высоковольтными импульсными конденсаторами типа ИМ2-5-140 на указанную активно-индуктивную нагрузку осуществлялся посредством высоковольтного двухэлектродного воздушного коммутатора типа КВТГ-10 на номинальное напряжение  $\pm 10 \text{ кВ}$ , выполненного также с графитовыми электродами и запускаемого в работу одновременно с коммутатором КВТГ-50 с помощью существующего генератора высоковольтных поджигающих импульсов типа ГВПИ-100 на выходное импульсное напряжение амплитудой до  $\pm 100 \text{ кВ}$  микросекундной длительности [3, 4]. Для полноты приведенных выше исходных технических

данных укажем, что при формировании аperiodического импульса тока временной формы 15 мкс/325 мкс параллельный разряд четырех высоковольтных ГИТ мощного генератора ГИТМ-10/350 на выбранную общую электрическую  $RL$ -нагрузку выполнялся с использованием встроенной в его сильноточную разрядную цепь взрывающейся тонкой медной проволоки диаметром 0,2 мм и длиной 50 мм, размещенной в зоне рабочего стола генератора. Отметим, что амплитудно-временные параметры аperiodического импульса тока искусственной молнии отрицательной полярности, приведенного на рис. 3, были зарегистрированы нами с помощью включенного в непотенциальную («заземленную») сильноточную разрядную цепь мощного генератора ГИТМ-10/350 измерительного коаксиального шунта типа ШК-300 с коэффициентами преобразования  $11,26 \cdot 10^3$  А/В [3, 4] и цифрового запоминающего осциллографа типа Tektronix TDS 1012, прошедших в сентябре 2014 года государственную метрологическую поверку. Результаты визуального обследования электродной системы коммутатора типа КВТГ-50 при  $l_1 \approx 2$  мм и  $l_2 \approx 5$  мм после прохождения через него в сильноточной разрядной цепи мощного генератора ГИТМ-10/350 не менее десяти аperiodических импульсов тока временной формы 15 мкс/325 мкс с модулем амплитуды  $I_m$  до 100 кА ( $U_{31-3} = -15$  кВ;  $U_{34} = -2,25$  кВ) и переносимым электрическим зарядом до 47 Кл за один токовый импульс показали отсутствие каких-либо видимых повреждений на рабочих поверхностях его графитовых электродов и изоляционных элементов. Срабатывание данного коммутатора от генератора пусковых импульсов высокого напряжения типа ГВПИ-100 [3, 4] характеризовалось высокой стабильностью – 100 % включением. Экспериментальная апробация разработанного высоковольтного трехэлектродного воздушного коммутатора типа КВТГ-50 с графитовыми электродами в составе сильноточной разрядной цепи мощного генератора ГИТМ-10/350 подтвердила его работоспособность и возможность дальнейшего практического использования предложенной конструкции коммутатора при сертификационных испытаниях по [6-10] различных объектов электроэнергетики и технических сооружений на молниестойкость и пожаровзрывобезопасность при прямых ударах в них грозвых разрядов.

#### Выводы.

1. Разработана упрощенная конструкция и на ее основе создан действующий образец высоковольтного сильноточного трехэлектродного воздушного управляемого коммутатора с графитовыми электродами типа КВТГ-50 на номинальное напряжение  $\pm 50$  кВ и микросекундный импульсный ток искусственной молнии амплитудой до  $\pm 220$  кА, предназначенного для работы в сильноточной разрядной цепи высоковольтного генератора имитированной линейной молнии с мощными емкостными накопителями энергии.

2. Проведена экспериментальная апробация разработанного и созданного сотрудниками НИО №6 института коммутатора типа КВТГ-50 в разрядной сильноточной цепи действующего мощного высоковольтного генератора импульсного тока искусственной

молнии типа ГИТМ-10/350 разработки НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ», формирующего на низкоомной активно-индуктивной нагрузке нормированные аperiodические токовые импульсы временной формы 10 мкс/350 мкс амплитудой  $\pm(100-200)$  кА с допусками согласно требований международного стандарта IEC 62305-1-2010. Данная апробация в лабораторных условиях экспериментально-исследовательского полигона НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» подтвердила работоспособность предложенной конструкции и изготовленного опытного образца высоковольтного сильноточного трехэлектродного воздушного управляемого коммутатора типа КВТГ-50 с графитовыми основными и управляющим электродами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Под ред. В.С. Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с.
2. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 704 с.
3. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики. Том 3: Теория и практика электрофизических задач. – Х.: «Точка», 2014. – 400 с.
4. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И., Недзельский О.С., Дныщенко В.Н. Генератор тока искусственной молнии для натурных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – №3. – С. 81-85.
5. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Недзельский О.С., Пличко А.В., Понуждаева Е.Г. Высоковольтный управляемый сильноточный искровой разрядник с графитовыми электродами РВГУ-50 // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 50(1092). – С. 28-37.
6. IEC 62305-1: 2010 «Protection against lightning.– Part 1: General principles».
7. IEC 62305-2: 2010 «Protection against lightning.– Part 2: Risk management».
8. IEC 62305-3: 2010 «Protection against lightning.– Part 3: Physical damage to structures and life hazard».
9. IEC 62305-4: 2010 «Protection against lightning.– Part 4: Electrical and electronic systems within structures».
10. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010. «Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1: Общие принципы». – М.: Стандартинформ, 2011. – 46 с.
11. Справочник по электротехническим материалам. Т.3 / Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 458 с.
12. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. – СПб.: Изд-во «Иван Федоров», 2003. – 349 с.
13. Сухоруков С.А. Помехозащитные устройства ЗАО «ЭМСОТЕХ». – Калуга, 2014. – 72 с.

#### REFERENCES

1. Komel'kov V.S. *Tehnika bol'shikh impul'snyh tokov i magnitnyh polej*. [Technique large pulsed currents and magnetic fields]. Moscow, Atomizdat Publ., 1970. 472 p. (Rus).
2. Mesjac G.A. *Impul'snaja energetika i elektronika* [Pulsed power and electronics]. Moscow, Nauka Publ., 2004. 704 p. (Rus).
3. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 3: Teorija i praktika elektrofizicheskih zadach* [Selected topics of Electrophysics. Vol. 3: Theory and practice of electrophysics tasks]. Kharkiv, Tochka Publ., 2014. 400 p. (Rus).
4. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Nedzelskyi O.S., Dnyschenko V.N. A current generator of the artificial lightning for full-scale tests of technical objects. *Pribory i tekhnika*

eksperimenta – Instruments and experimental techniques, 2008, no.3, pp. 81-85. (Rus).

5. Baranov M.I., Koliushko G.M., Nedzelskiy O.S., Plichko A.V., Ponuzhdaeva E.G. High-voltage-controlled high-current spark gap with graphite electrodes RVGU-50. *Visnyk NTU "KhPI" – Bulletin of NTU "KhPI"*, 2014, no.50(1092), pp. 28-37. (Rus).

6. IEC 62305-1: 2010 "Protection against lightning. Part 1: General principles".

7. IEC 62305-2: 2010 "Protection against lightning. Part 2: Risk management".

8. IEC 62305-3: 2010 "Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard".

9. IEC 62305-4: 2010 "Protection against lightning. Part 4: Electrical and electronic systems within structures".

10. *Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii GOST R MEK 62305-1-2010. "Menedzhment riska. Zashhita ot molnii. Chast' 1: Obshhie principy"* [National Standard of the Russian Federation GOST R IEC 62305-1-2010. Risk management. Protection from lightning. Part 1: General principles]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 46 p. (Rus)

11. *Spravochnik po elektrotehnicheskim materialam. Tom 3. Pod red. Ju.V. Korickogo, V.V. Pasynkova, B.M. Tareeva* [Handbook of electrical materials. Vol. 3. Edited by Ju.V. Korickiy, V.V. Pasynkov, B.M. Tareev]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1988. 458 p. (Rus).

12. *Kratkij spravochnik fiziko-himicheskikh velichin. Pod red. A.A. Ravdelja, A.M. Ponomarevoy* [Brief reference book of physics and chemical variables. Edited by A.A. Ravdelja, A.M. Ponomareva]. St. Petersburg, Ivan Fedorov Publ., 2003. 349 p. (Rus).

13. Suhorukov S.A. *Pomehozashhitnye ustrojstva ZAO "EMSOTEH"* [Hindrance protective devices of CCA "EMSOTEH"]. Kaluga, 2014. 72 p. (Rus).

Поступила (received) 15.12.2014

Баранов Михаил Иванович<sup>1</sup>, д.т.н., гл.н.с.,  
Рудаков Сергей Валерьевич<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,  
Цехмистро Валентин Леонтьевич<sup>1</sup>, техник,  
<sup>1</sup> НИПКИ «Молния»,

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»,  
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,  
тел/phone +38 057 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

<sup>2</sup> Национальный университет гражданской защиты Украины,  
61023, Харьков, ул. Чернышевского, 94,  
тел/phone +38 057 7073438, e-mail: serg\_73@i.ua

M.I. Baranov<sup>1</sup>, S.V. Rudakov<sup>2</sup>, V.L. Cekhistro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute "Molniya", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

<sup>2</sup> National University of Civil Protection of Ukraine, 94, Chernyshevska Str., Kharkiv, 61023, Ukraine.

**Three-electrode air switchboard with the graphite electrodes of KATG-50 on voltage to  $\pm 50$  kV and impulse current by amplitude to  $\pm 220$  kA.**

**Purpose.** Development and creation of the simplified construction of a high-voltage heavy-current air three-electrode switchboard with graphite electrodes, intended for operation in composition the powerful generator of large impulsive current of artificial of linear lightning. **Methodology.** Electrophysics bases of technique of high-voltage and scientific and technical bases of planning of devices of high-voltage impulsive technique. **Results.** Developed and made a new construction of a high-voltage heavy-current air three-electrode switchboard with the graphite electrodes of KATG-50 on nominal voltage  $\pm 50$  kV. This construction of switchboard KATG-50 has been passed experimental approbation in composition the heavy-current bit chain of powerful high-voltage generator of the aperiodic impulses of current of artificial linear lightning rationed on operating foreign standards with amplitude of  $I_m = \pm(200 \pm 20)$   $\mu A$  at their duration  $\tau_p = (350 \pm 35)$   $\mu s$  at level  $0,5 \cdot I_m$ . **Originality.** First in domestic practice of development and creation of high-voltage heavy-current switchboards for the generators of large impulse currents of artificial lightning the ground of necessity of the use for their basic and managing electrodes of electrical engineering graphite is carried out. **Practical value.** The developed and made high-voltage heavy-current switchboard of cascade-tray KATG-50 from application in its composition of graphite electrodes possesses an enhanceable working resource and enhanceable stability of wearing-out at the use of similar switchboard in the bit chain of powerful pulsed current of the imitated linear lightning. References 13, figures 3.

**Key words:** high-voltage heavy-current air three-electrode switchboard, graphite basic and manager electrodes, generator of microsecond pulsed current of artificial of linear lightning.