

Разработка вакуумной дугогасительной камеры для одnorазрывного вакуумного выключателя на 110 кВ

ЛАВРИНОВИЧ В.А.

КГНЦ, Санкт-Петербург, Россия

ПЕРЦЕВ А.А., РЫЛЬСКАЯ Л.А.

ВЭИ – РФЯЦ-ВНИИТФ, Москва, Россия

Сформулированы требования к высоковольтным вакуумным выключателям для сетей с заземлённой нейтралью, обусловленные перспективой внедрения в эксплуатацию вакуумных выключателей в сетях с глухозаземленной нейтралью. Разработана конструкция вакуумной дугогасительной камеры для одnorазрывного вакуумного выключателя на 110 кВ, учитывающая наличие повторных пробоев. Экранная система выравнивает напряжение вдоль корпуса камеры, обеспечивает снижение напряженности электрического поля в «тройной точке», защищает диэлектрик корпуса от запыления металлическими продуктами эрозии контакт-деталей, предотвращает каскадный пробой между контакт-детальями и центральным экраном, и устраняет возможность снижения электрической прочности камеры по мере выработки ею коммутационного ресурса. Показано, что в конструкции камеры предусмотрены меры по предотвращению вероятности повторных пробоев при отключении до класса С1 согласно ГОСТ 52565-2006. Приведены доказательства, что для вакуумных дугогасительных камер на класс С2 (для коммутации нагрузки емкостного характера) необходимо разрабатывать камеру с двумя разрывами между контакт-детальями или соединять две вакуумные дугогасительные камеры последовательно. Принятая в камере конструкция экранной системы исключает металлизацию керамического корпуса, которая снижает электрическую прочность камеры по мере выработки её коммутационного ресурса, и переброс вакуумной дуги за пределы межконтактного промежутка на центральный экран, прожиг которого ведёт к разгерметизации и полной потере функциональных свойств вакуумной дугогасительной камеры.

К л ю ч е в ы е с л о в а: вакуумный выключатель, вакуумная дугогасительная камера, повторный пробой, изолированная нейтраль, глухозаземлённая нейтраль

До последнего времени одnorазрывные вакуумные выключатели использовались исключительно в сетях с изолированной нейтралью. Но многочисленные их достоинства вызывают стремление расширить область их применения на сети с более высокими напряжениями, в которых нейтраль заземляется. Вместе с тем использование одnorазрывных вакуумных выключателей в высоковольтных сетях с заземлённой нейтралью напряжением 110 кВ и более порождает проблемы, которые отсутствуют в сетях с изолированной нейтралью. А именно, когда нейтраль является заземлённой, то при пробое камеры в одном из полюсов выключателя сразу же через землю создается цепь для протекания тока промышленной частоты. Напротив, в сетях с изолированной нейтралью при однополюсном пробое протекание тока промышленной частоты практически исключено, так как для создания цепи его протекания необходимо, чтобы пробой

случились одновременно в камерах сразу двух полюсов выключателя, что для вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) маловероятно.

В ВДК пробой, возникающие через доли секунды после успешного отключения тока (назовём их поздними), практически неизбежны [1]. При этом поздний пробой, случившийся в камере одного из полюсов выключателя в сети с изолированной нейтралью, ограничивается высокочастотным разрядом так называемых «паразитных ёмкостей» и квалифицируется как неразвившийся повторный пробой (НПП). Пробой с протеканием тока промышленной частоты, которые происходят через некоторое время после отключения тока выключателем, классифицируются как повторные пробой (ПП).

Согласно ГОСТ Р 52565-2006, пп. 9.7 в выключателях класса С2 10 ПП не должны превышать 1 ПП за 192 операции отключения, т.е. не допускаются, а в выключателях класса С1 допускаются в

очень ограниченном количестве (не более трёх за весь цикл из 96 коммутаций тока при проведении коммутационных испытаний выключателя). Ограничения по неразвившимся пробоям отсутствуют.

В результате в сетях с изолированной нейтралью с вакуумными выключателями из-за отсутствия возникновения цепи для протекания тока промышленной частоты проблемы из-за ПП ввиду их отсутствия не возникали. А в сетях с глухозаземленной нейтралью пробой камеры в одном из полюсов вакуумного выключателя неизбежно является ПП со всеми связанными с этим проблемами. Например, ПП могут сказываться на электрической прочности и коммутационном ресурсе ВДК.

При испытании выключателей на отключающую способность по синтетической схеме испытаний, принятой в настоящее время для выключателей на напряжение 110 кВ и выше, ПП не обнаруживаются [2]. Поэтому при исследовательских испытаниях разработчики ВДК для одноразрывных выключателей на напряжение 110 кВ и выше не сталкиваются с негативными последствиями ПП и, естественно, их не рассматривают [3, 4]. Соответственно, ими и не предусматриваются какие-либо меры для снижения вероятности ПП и нивелирования возможных негативных последствий от них. Игнорирование возможности ПП в сетях 110 кВ и более в эксплуатации вакуумных выключателей может привести к отказам при отключении токов короткого замыкания.

Нарастающая тенденция применения ВДК различных конструкций в сетях 110 кВ ставит задачу оценки влияния ПП на надёжность работы вакуумных выключателей.

Предлагается концепция конструирования ВДК для одноразрывных вакуумных выключателей на примере ВДК на напряжение 110 кВ и более. В конструкциях необходим учет вероятности ПП, их

негативных влияний на надёжность отключения. В конечном счете, необходимо снизить вероятность ПП до класса С2 и устранить возможность снижения электрической прочности камеры по мере выработки ею электрического ресурса.

Выбор формы и размеров элементов конструкции ВДК. Решалась задача разработки ВДК для одноразрывного вакуумного выключателя на номинальные параметры:

напряжение 110 кВ;

ток 3150 А;

ток отключения 40 кА;

изоляция выключателя между контактами полюса в отключённом положении должна выдерживать напряжения полных грозовых импульсов амплитудой 550 кВ для нового выключателя;

внутренняя изоляция при одноминутном переменном напряжении должна выдерживать 230 кВ.

Корпус ВДК. Высокий уровень испытательных напряжений (до 550 кВ) может приводить к возникновению перекрытий по внутренней поверхности изоляционного корпуса вакуумной дугогасительной камеры. Для предотвращения этого вида нарушения внутренней изоляции применяется секционирование изоляционного корпуса. При секционировании изоляционный корпус делится на части, между которыми закрепляют металлические экраны. Применение экранов затрудняет образование и развитие разряда по всей длине корпуса камеры. Тем самым повышается напряжение перекрытия по внутренней поверхности корпуса камеры. Часть корпуса с прикрепленными к нему с обеих сторон экранами называют секцией корпуса камеры, а камеру, соответственно, секционированной. Количество секций, на которое делится корпус камеры, определяется напряжением грозового импульса. Например, фирма Сименс для выключа-

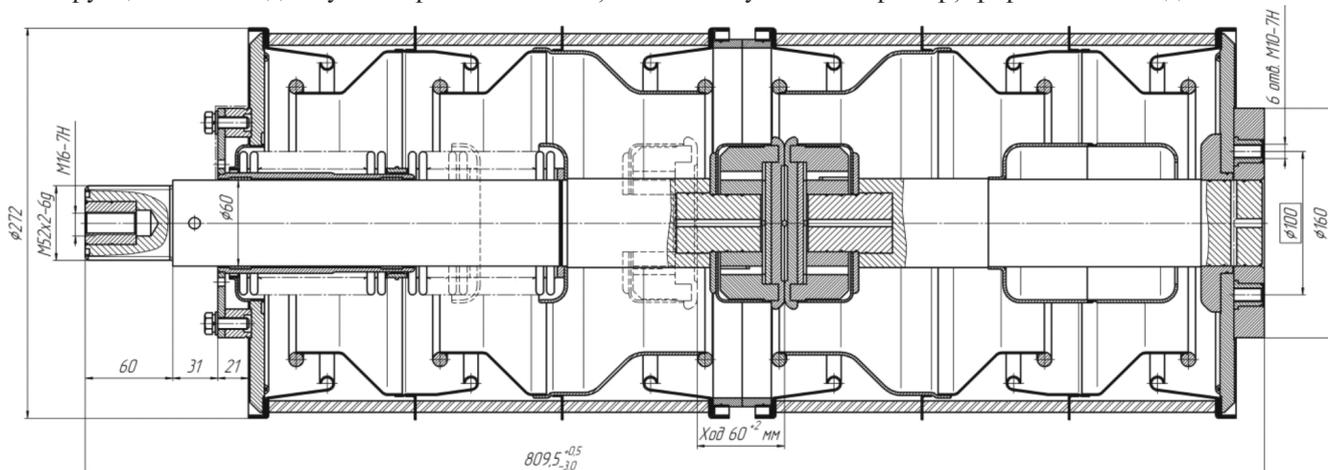


Рис. 1. Эскиз ВДК для одноразрывного вакуумного выключателя на напряжение 110 кВ

Fig. 1. Sketch of a VDK for a 110 kV single-rupture vacuum circuit breaker

теля на 72,5 кВ применяет камеру с четырехсекционным корпусом. Для выключателя на 145 кВ фирма делает камеру с шестисекционным корпусом. Наши испытания макета камеры на 60 кВ показали, что электрической прочности (ЭП) изоляции, необходимой для ВДК на 110 кВ при 4-х секциях получить нельзя. Корпус ВДК на 110 кВ должен состоять из 6 секций по 3 секции, симметричные друг другу относительно середины высоты ВДК (рис. 1).

Конструкция контактной системы. Для контактной системы (КС) вакуумной дугогасительной камеры выбрана конструкция согласно патенту [5]. Контактная система создаёт собственное магнитное поле, которое имеет аксиальную и радиальную составляющие. За счёт аксиального магнитного поля (АМП) достигается высокая отключающая способность, а за счёт радиального магнитного поля (РМП) при расстояниях между контактами менее 3–4 мм создается подвижность контрагированной вакуумной дуги при операциях отключения и включения (при дуге предвключения), чтобы предельно затруднить условия для образования частиц субмиллиметровых размеров [6], которые провоцируют возникновение ПП [1]. При ПП наличие РМП позволяет вакуумной дугогасительной камере самовосстанавливаться.

Выбор материала контактирования контакт-деталей и диаметра контактов. Для высоковольтных ВДК общепризнанный материал контактирования контакт-деталей — композиция из меди и хрома. При этом в материале контактирования варьируются процентное содержание между этими компонентами и способ изготовления. Увеличение процентного содержания меди при прочих равных условиях позволяет увеличить отключающую способность контактной системы, а увеличение содержания хрома позволяет увеличить её электрическую прочность. В качестве компромиссного решения для настоящего случая выбрана металлокерамика из композиции CuCr50 с содержанием хрома 50% по массе.

Макетом камеры на напряжение 60 кВ с КС по патенту [5] при контактах из композиции CuCr50 диаметром $D=90$ мм был отключён ток промышленной частоты амплитудой 77 кА (рис. 2).

Диаметр контактов в предлагаемой конструкции камеры ВДК принят равным $D=120$ мм с учётом ожидаемого снижения отключающей способности ВДК при возникновении ПП.

Выбор хода подвижного контакта dx . Значение хода подвижного контакта в идеале должно выбираться из условия, чтобы после завершения операции отключения не возникало пробоев между кон-

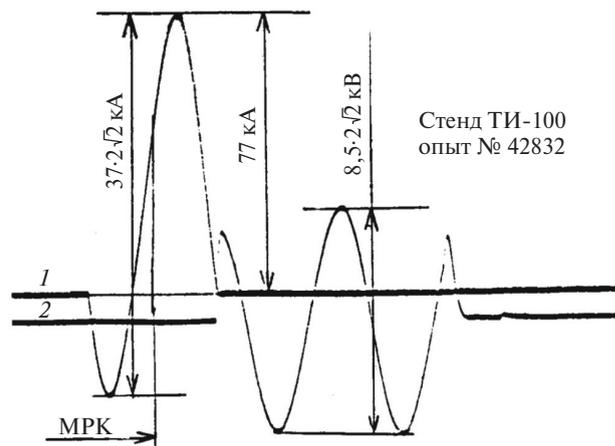


Рис. 2. Отключение макетом КДВ-60 тока КЗ 77 кА: 1 — отключаемый ток; 2 — восстанавливающееся напряжение; МРК — момент размыкания контактов макета

Fig. 2. Disconnection by the KDV-60 model of the short-circuit current of 77 kA: 1 — current to be switched off; 2 — recovery voltage; MRK — the moment of opening the contacts of the breadboard

тактами при расстоянии dx между ними. Но напряжённости электрического поля при пробое, инициируемом частицами субмиллиметровых значений, которыми инициируются ПП, имеют столь низкие значения [1], что для предотвращения ПП потребовался бы очень большой ход контакта [7]. Повторные пробоев в выключателях класса С1, хотя и в очень ограниченном количестве, допускаются, поэтому за счёт выбора значения dx в одноразрывных выключателях на напряжение 110 кВ и более задача полностью избавиться от ПП не стоит. В результате для одноразрывных выключателей класса С1 значение dx принято выбирать лишь по значению испытательного напряжения стандартного грозового импульса $U_{имп}$ как наибольшего воздействующего на ВДК напряжения в отключённом состоянии выключателя. Значения $U_{имп}$ зависят от класса изоляции, и для выключателей на 110 кВ они могут быть равны 450, 520 и 550 кВ. Для выключателей общепромышленного применения принято, что $U_{имп} \geq 550$ кВ. Согласно [8] и соответствующих расчётов напряжение $U_{имп} \geq 550$ кВ может выдержать вакуумный промежуток, равный $d \approx 60$ мм. Исходя из этого ход подвижного контакта принят $dx=60$ мм.

Однако необходимо подчеркнуть, что чем меньше выбранное значение dx , тем больше вероятность того, что при ПП может произойти отказ в отключении тока, сопровождающего ПП [9].

Выбор конструкции экранов. В ВДК по мере выработки электрического ресурса при контактах из металлокерамики CuCr её ЭП подчас уменьшается, однако не из-за снижения ЭП межконтактного промежутка, а из-за уменьшения ЭП её изоляционного корпуса [8]. Но ток пробоя при грозовом

импульсе в сетях с заземлённой нейтралью тоже является током промышленной частоты. При этом, если бы пробой ВДК происходил в результате пробоя между её контактами, то ток, сопровождающий этот пробой, успешно отключался бы самой камерой без какого-либо её повреждения. В то же время при пробое по поверхности корпуса камеры, который априорно не предназначен для протекания через него тока, пробой от грозового импульса, напротив, может вызвать разрушение камеры. Однако ГОСТ Р 52565-2006, п. 9.3.5, который распространяется на все выключатели, допускает по мере выработки электрического ресурса выключателя снижение его ЭП при воздействии грозового импульса до 60% первоначального значения. Но поскольку наш опыт работы показывает, что при наличии металлизации керамических изоляторов секций пробой происходит не между контактами, а по корпусу камеры [8], то, на наш взгляд, указанное в ГОСТ Р 5265-2006 допустимое снижение ЭП в случае ВДК принять нельзя. Пробой вдоль внутренней поверхности керамического корпуса ВДК приводит её, как правило, к разрушению. Следовательно, металлизацию корпуса камеры необходимо предотвращать.

С учётом вышесказанного экранная система ВДК должна выполнять несколько функций, каждая из которых необходима для обеспечения ЭП камеры.

Во-первых, экраном должно экранироваться место его соединения с керамическим изолятором корпуса, так называемое тройное соединение «электрод-изолятор-вакуум». При недостаточном экранировании этого места электрическая прочность секции значительно снижается.

Во-вторых, экраны должны защищать внутреннюю поверхность изоляционного корпуса от металлизации. При недостаточном экранировании с возрастанием числа произведённых коммутационных операций увеличивается толщина плёнки осаждённых паров металла на внутренней поверхности керамики секции, что со временем приводит к снижению пробивных напряжений секции [10] и камеры в целом [8]. Для предотвращения металлизации корпуса конструкция экранов принята соответствующей патенту [11]. Форма экранов согласно патенту [11] препятствует осаждению паров контактного материала на внутренней поверхности керамического изолятора секции. Соответственно, при этом ЭП секции будет сохранять начальное значение на всём протяжении эксплуатации камеры. Поэтому и у камеры в целом по мере выработки электрического ресурса электрическая прочность снижаться не будет и останется изначальной,

при которой камера выдерживает воздействие 100% стандартного грозового импульса. Это обеспечит отсутствие пробоев по корпусу камеры и исключит возможность разрушения камеры на протяжении всего срока службы выключателя.

В-третьих, конструкция экранов не должна допускать «каскадное» горение вакуумной дуги, т.е. выход контрагированной вакуумной дуги за пределы межконтактного промежутка. Это требование возникает из-за того, что в случае $dx \geq 60$ мм вакуумная дуга, через которую ток при ПП протекает между разомкнутыми контактами камеры, не переходит в квазидиффузную форму из контрагированной, которую она имеет при образовании в момент пробоя. При дуге контрагированной формы не только отключающая способность КС ниже, чем при дуге квазидиффузной формы, но такая дуга может выдвигаться за пределы межконтактного промежутка и гореть каскадно. При центральном экране камеры, если он окружает контакты, как это принято во многих конструкциях ВДК, каскадное горение дуги происходит через этот экран. При этом возможно прожигание экрана и разгерметизация ВДК. Для предотвращения каскадного горения контрагированной дуги через центральный экран в проектируемой камере применено экранирование центрального экрана экранами двух смежных с ним секций и сделан соответствующий выбор расстояния между ними [12], при которых исключены выход контрагированной дуги за пределы межконтактного промежутка, повреждение центрального экрана, и разрушение камеры. Конструкция ВДК для одноразрывного выключателя на 110 кВ, в которой использованы предложенные выше решения, представлена на рис. 1.

Вероятность повторных пробоев камеры. Вероятность ПП ВДК зависит от максимальной напряжённости на контактах камеры при восстанавливающегося напряжения, когда контакты разведены на полный ход контактов. Для камер на напряжение 110 кВ амплитуда восстанавливающегося напряжения, относительно которой рассчитывается вероятность ПП, равна $U_{ав} = (U_{нр} \sqrt{2}) / \sqrt{3} \approx 101$ кВ, где $U_{нр} = 124$ кВ.

Расчёт электрического поля камеры, представленной на рис. 1, показал, что при $d = 60$ мм коэффициент усиления электрического поля k_H на контактах камеры в межконтактном промежутке равен $k_H \approx 1,8$. Максимальная напряжённость на контактах камеры при воздействии восстанавливающегося напряжения $E_{max} = E_{ср} k_H = (U_{ав} / dx) k_H = (101/60) \cdot 3$ (кВ/мм). Этому значению напряжённости согласно [9] соответствует вероятность ПП, равная $F \approx 0,5\%$. И если бы выключатель не был

предназначен для коммутации ёмкостных токов, то одноразрывный вакуумный выключатель на 110 кВ с камерами в полюсе выключателя при такой КС и вероятности ПП $F \approx 0,5\%$ соответствовал бы классу С2, поскольку у него ожидаемое число ПП было бы $N = 0,005 \cdot 192 = 0,96 < 1$.

Но если выключатель предназначен для коммутации ёмкостных токов, то по ГОСТ Р 52565-2006 к нему предъявляются особые требования. Обусловлено это коренным различием вида восстанавливающегося напряжения. Вместо синусоидального, как при отключении трансформаторов, оно является однополярным и пульсирующим, амплитуда которого вдвое превышает амплитуду синусоидального восстанавливающегося напряжения. Пульсирующее напряжение является суммой постоянного напряжения на почти полностью заряженной ёмкости и переменного напряжения со стороны источника питания. Сумма постоянной и переменной составляющих возвращающегося напряжения представляет собой однополярные волны $1 - \cos \omega t$. Амплитуда волны достигает ~ 290 кВ [7]. При напряжённости на контактах, соответствующих напряжению 290 кВ, вероятность ПП согласно [12] равна $F \approx 40\%$. Значит за серию испытаний из шести опытов на коммутацию ёмкостных токов может произойти более двух ПП. Это для выключателя, предназначенного для отключения ёмкостных токов, недопустимо.

При требовании отключать ёмкостные токи, для которых ПП недопустимы, выключатель класса С2 на напряжение 110 кВ должен быть исключительно с двумя последовательно соединёнными ВДК в каждом полюсе и при выборе для каждой камеры значения хода подвижного контакта $dx \approx 40$ мм, при котором может быть обеспечено с высокой степенью вероятности отсутствие ПП [7].

Выбор скорости подвижного контакта при отключении тока. Известно, что скорость подвижного контакта при выполнении выключателем операции отключения тока влияет на её отключающую способность и на коммутационный ресурс. Для получения максимальных значений этих параметров во всё время протекания тока через вакуумную дугу при операции отключения расстояние между контактами d должно быть в пределах $d \leq 45$ мм, а ток должен отключаться после его второй полуволны, считая от начала разведения контактов.

Среднее время дуги до её погасания при переходе тока через нуль во второй полуволне тока $t_{д.ср}$ равно времени полутора полувольт тока: $t_{д.ср} \approx 1,5T = 15$ мс, где T – период тока ($T = 20$ мс при частоте 50 Гц). Тогда, чтобы во всё время горения дуги при выполнении операции отключе-

ния ($d \leq 45$ мм) скорость подвижного контакта при операции отключения ($v_{откл}$) должна быть: $v_{откл} = d/t_{д.ср} = 45 \text{ мм}/15 \text{ мс} = 3 \text{ м/с}$.

Кроме того, с целью предотвращения значительных отбросов подвижного контакта от упора на участке от $d = 45$ мм и до значения dx , выбранного для хода контактов, скорость подвижного контакта при подходе к упору должна быть снижена до значения ~ 1 м/с.

Отметим, что при операции отключения и при уже отключённом токе движение подвижного контакта камеры, естественно, будет продолжаться до тех пор, пока расстояние между контактами не достигнет заданного значения dx . В результате во время выполнения выключателем операции отключения расстояние между контактами при протекании через вакуумную дугу тока оказывается совершенно не связанным с выбранным значением dx , а определяется заданной скоростью движения подвижного контакта ВДК.

Выбор скорости при включении $v_{вкл}$. На параметры ВДК влияет и скорость сближения контактов при операции включения. При проведении операции включения при большой скорости подвижного контакта в момент его смыкания с неподвижным контактом между ними происходит соударение. При витковой конструкции контактов [7] в индукторе делаются прорези. При выполнении операции включения прорези в индукторе при соударении контактов могут деформироваться, влияя на протекание тока по индуктору и приводя к снижению АМП и, соответственно, отключающей способности выключателя. Поэтому для минимизации разрушительных последствий соударения скорость подвижного контакта перед смыканием контактов надо снижать.

Дополнительно в предлагаемой КС для предотвращения при соударении деформации или даже разрушения контактов контакты помещены в чашку индуктора контакта. Это позволяет сохранять изначальную отключающую способность КС в течение всего срока службы камеры. Поэтому при значениях $dx = 60$ мм и более и диаметре контактов $D_k = 120$ мм (как в предлагаемой конструкции ВДК) необходимо помещать индуктор в чашку из механически прочного материала с проводимостью значительно меньше, чем проводимость меди. При этом наличие чашки практически не влияет на протекание тока по индуктору, но препятствует деформации индуктора и обеспечивает сохранение отключающей способности камеры в пределах её срока службы.

Следует помнить, что при включении под напряжением на нагрузку до момента смыкания кон-

тактов между контактами возникает пробой, зажигается так называемая дуга предвключения, через которую начинает протекать ток ещё до момента касания контакт-деталей. При расстоянии между контакт-детальюми $d \leq 4$ мм вакуумная дуга является контрагированной и малоподвижной, при которой эрозия контактной поверхности контакт-деталей происходит не только в виде металлического пара, но и в капельном виде с размерами металлических капель до субмиллиметровых размеров [8]. При остывании эти капли становятся свободными металлическими частицами в дальнейшем при операции отключения могут провоцировать ПП. С этой позиции с целью сокращения длительности дуги предвключения и, соответственно, уменьшения эрозии контактов скорость при сближении должна быть относительно большой. Однако сохранение подвижности дуги предвключения, свойственное КС, принятой для предлагаемой конструкции КДВ, позволяет снизить допустимую скорость соударения в момент смыкания контактов до 0,5 м/с, поэтому скорость при включении выбрана $v_{\text{вкл}} \approx 0,5$ м/с.

Выводы. 1. Разработанная конструкция вакуумной дугогасительной камеры для одноразрывного вакуумного выключателя на 110 кВ учитывает наличие повторных пробоев. Корпус камеры обязательно должен быть секционирован на 6 секций, общая длина камеры 890 мм, диаметр 270 мм, ход подвижной контакт-детали 60 мм. Экранная система выравнивает напряжение вдоль корпуса камеры, обеспечивает снижение напряженности электрического поля в «тройной точке», защищает диэлектрик корпуса от «запыления» металлическими продуктами эрозии контакт-деталей, предотвращает каскадный пробой между контакт-детальюми и устраняет возможность снижения электрической прочности камеры по мере выработки ей коммутационного ресурса.

2. В конструкции камеры предусмотрены меры по предотвращению вероятности повторных пробоев при отключении до класса С1 согласно ГОСТ 52565-2006. Для вакуумных дугогасительных камер на класс С2 (для коммутации нагрузки емкостного характера) необходимо разрабатывать камеру с двумя разрывами между контакт-детальюми или соединять две вакуумные дугогасительные камеры последовательно.

3. Конструкция экранной системы исключает металлизацию керамического корпуса, которая снижает электрическую прочность камеры по мере выработки коммутационного ресурса, устраняя переброс вакуумной дуги за пределы межконтактного промежутка на центральный экран, прожиг которого ведёт к разгерметизации и полной потере

функциональных свойств вакуумной дугогасительной камеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыльская Л.А., Перцев А.А.** Электрическая прочность вакуумной дугогасительной камеры после отключения тока. — Электротехника, 1985, № 1, с. 5–9.
2. **Рыльская Л.А.** О применимости синтетической схемы для испытаний вакуумных выключателей на отключающую способность. Международная ассоциация «ТРАВЭК». — XXII Международ. научно-техническая конф., 2015, Москва; D9.pdf.
3. **Jaeseop Ryu, Young-Geun Kim, Jongwoong Choi, Seokwon Park.** The Experimental Research of 170kV VCB Using Single-Break Vacuum Interrupter. In: XXVth ISDEIV, Tomsk, 2014, pp. 493–496.
4. **Himi H., Takashima T., Shimmon T., Umoya E., Yanagisawa H.** Progress on higher voltage vacuum power circuit breaker. ВЭЛК, Москва, 1977, секция 2, доклад 61.
5. **Пат. № 1725681 (РФ).** Контактная система для вакуумной дугогасительной камеры/А.А. Перцев, С.П. Чистяков. — БИ, 1993, № 23.
6. **Селикатова С.М., Лукацкая И.А.** Начальная стадия вакуумной дуги отключения. — ЖТФ, 1972, т. 42, вып. 7, с. 1508–1514.
7. **Перцев А.А., Панибратец А.Н., Рыльская Л.А.** О предотвращении повторных пробоев вакуумных выключателей. — Электротехника, 2011, № 12, с. 28–35.
8. **Алфёров Д.Ф., Рыльская Л.А., Сидоров В.А.** Об изменении электрической прочности вакуумных дугогасительных камер по мере выработки электрического ресурса. — Электротехника, 2010, № 11, с. 25–31.
9. **Рыльская Л.А.** Выбор хода контактов для одноразрывных вакуумных выключателей класса С1. — Электро, 2014, № 3, с. 40–46.
10. **Рыльская Л.А.** Электрическая прочность секций ВДК после выработки электрического ресурса. — Электротехника, 2002, № 6, с. 14–21.
11. **Пат. № 2374718 С1RU.** Вакуумный коммутационный прибор/А.А. Перцев, Л.А. Рыльская. — БИ, 2009, № 33.
12. **Рыльская Л.А., Перцев А.А.** Напряженности на контактах и экранах ВДК при пробоях после отключения тока. — Электротехника, 1989, № 2, с. 29–32.

[29.10.2020]

А в т о р ы: **Лавринович Валерий Александрович** — доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник Отдела перспективных разработок Крыловского государственного научного центра.



Перцев Алексей Александрович — кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник Отделения разработки электро-технического оборудования Всероссийского электротехнического института (ВЭИ) — филиала ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр-Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академ. Е.И. Забабахина» (РФЯЦ-ВНИИТФ).



Рыльская Лидия Александровна — кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник Отделения разработки электро-технического оборудования ВЭИ — филиала РФЯЦ-ВНИИТФ.



Development of the Vacuum Arc Chute for a 110 kV Single-Break Vacuum Circuit Breaker

LAVRINOVICH Valery A. (*Krylov State Scientific Center, St. Petersburg, Russia*) — *Leading Scientist of Advanced Development Dept., Dr. Sci. (Eng.)*

PERTSEV Alexey A. (*All-Russian Electrotechnical Institute – Branch of FSUE «RENC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Moscow, Russia*) — *Leading Scientist of Development of Electrical Equipment Dept., Cand. Sci. (Eng.)*

Ryl'skaya Lidiya A. (*All-Russian Electrotechnical Institute – Branch of FSUE «RENC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Moscow, Russia*) — *Leading Scientist of Development of Electrical Equipment Dept., Cand. Sci. (Eng.)*

Requirements for high-voltage vacuum circuit breakers for networks with a grounded neutral, which are stemming from the prospects of using vacuum circuit breakers in networks with the solidly grounded neutral are formulated. The arch chute design for a 110 kV single-break vacuum circuit breaker that takes into account the occurrence of repeated breakdowns is developed. The shielding system equalizes the voltage over the chute casing, decreases the electric field intensity at the “triple point”, protects the casing dielectric from becoming dusted with metallic contact parts erosion products, prevents the occurrence of cascade breakdown between the contact parts and central shield, and eliminates a possible decrease of the chute electric strength as it gradually works out its switching life. It is shown that the chute design includes measures to prevent the possibility of repeated breakdowns during disconnection up to class C1 according to GOST 52565-2006. It has been proven that for vacuum arc chutes for class C2 (for switching a capacitive load) it is necessary to develop a chute with two breaks between the contact parts or to connect two vacuum chutes in series. The shielding system adopted in the chute rules out the possibility of ceramic casing to become metallized, which decreases the chute electric strength as it gradually works out its switching life, and the vacuum arc transfer to beyond the inter-contact gap boundaries onto the central shield, the burnout of which results in that the vacuum arc chute loses its tightness and fully loses its functional properties.

Key words: *vacuum circuit breaker, 110 kV vacuum arc chute, repeated breakdown, insulated neutral, solidly grounded neutral*

REFERENCES

1. Ryl'skaya L.A., Pertsev A.A. *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 1985, No. 1, pp. 5–9.
2. Ryl'skaya L.A. *O primenimosti sinteticheskoy skhemy dlya ispytaniy vakuurnykh vyklyuchateley na otklyuchayushchuyu sposobnost'. Mezhdunarodnaya assotsiatsiya «TRAVEK». – XXII Mezhdunarod. nauchno-tekhnicheskaya konf. (On the applicability of the synthetic circuit for testing vacuum circuit breakers for breaking capacity. International Association «TRAVEK». – XXII International. scientific and technical conf.)*, 2015, Moscow; D9.pdf.
3. Jaeseop Ryu, Young-Geun Kim, Jongwoong Choi, Seokwon Park. *The Experimental Research of 170kV VCB Using Single-Break Vacuum Interrupter. In: XXVth ISDEIV (The Experimental Research of 170kV VCB Using Single-Break Vacuum Interrupter. In: XXVth ISDEIV)*, Tomsk, 2014, pp. 493–496.
4. Himi H., Takashima T., Shimmon T., Umoya E., Yanagisawa H. *Progress on higher voltage vacuum power circuit breaker (Progress on higher voltage vacuum power circuit breaker). VELK, Moscow, 1977, section 2, report 61.*
5. Pat. № 1725681 (RF). *Kontakt'naya sistema dlya vakuurnoy dugogasil'noy kamery/A.A. Pertsev, S.P. Chistyakov (Contact system for a vacuum interrupter / A.A. Pertsev, S.P. Chistyakov). – Bulletin of inventions, 1993, No. 23.*
6. Selikatova S.M., Lukatskaya I.A. *Zhurnal Teoreticheskoy Fiziki – in Russ. (Journal of Theoretical Physics)*, 1972, vol. 42, iss. 7, pp. 1508–1514.
7. Pertsev A.A., Panibratets A.N., Ryl'skaya L.A. *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 2011, No. 12, pp. 28–35.
8. Alforov D.F., Ryl'skaya L.A., Sidorov V.A. *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 2010, No. 11, pp. 25–31.
9. Ryl'skaya L.A. *Elektro – in Russ. (Electro)*, 2014, No. 3, pp. 40–46.
10. Ryl'skaya L.A. *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 2002, No. 6, pp. 14–21.
11. Pat. № 2374718 SIRU. *Vakuurnyy kommutatsionnyy pribor/A.A. Pertsev, L.A. Ryl'skaya. B.I. (Vacuum switching device / A.A. Pertsev, L.A. Ryl'skaya). – Bulletin of inventions, 2009, No. 33.*
12. Ryl'skaya L.A., Pertsev A.A. *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 1989, No. 2, pp. 29–32.