

Ю.Н. Шумилов, В.И. Бондаренко

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ 3,3 КВ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*Проведено випробування полімерних зразків ОПН-3,3 кВ в експлуатаційних умовах на обладнанні діючої підстанції, при токах короткого замикання 8,3 кА і часу впливу струму 0,02 с, близьких за величиною до рекомендованих стандартом ІЕС 60099-4:2014 значень. Випробувано 8 шт. обмежувачів перенапруг. Каркас, в якому були укладені варистори, виконувався або шляхом намотування склопластикової стрічки на варисторну колонку, або стрижнів, розташованих у вигляді «білячої клітини», або склопластикової труби з отвором для викиду газів при короткому замиканні всередині ОПН. Зразки показали цілком задовільну здатність витримувати великі імпульсні струми без розльоту небезпечних для персоналу і навколишнього обладнання фрагментів. Полімерні конструкції, каркас яких виконаний суцільним намотуванням, вимагають посилення зони з'єднання каркаса з електродами для виключення вильоту електродів при скупченні газів при короткому замиканні всередині корпусу ОПН. Для таких конструкцій потрібне введення в програму приймально-здавальних випробувань додаткової перевірки на механічну міцність в поздовжньому напрямку з задалегідь встановленої нормою міцності. Бібл. 11, табл. 1, рис. 5.*

**Ключові слова:** електрообладнання тягових пристроїв, постійний струм, захист від перенапруг, обмежувачі перенапруг, вибухобезпечність, методика випробувань, вибухове руйнування, розліт фрагментів.

*Проведены испытания полимерных образцов ОПН-3,3 кВ в эксплуатационных условиях на оборудовании действующей подстанции, при токах короткого замыкания 8,3 кА и времени воздействия тока 0,02 с, близких по величине к рекомендуемым стандартом ІЕС 60099-4:2014 значениям. Испытано 8 шт. ограничителей перенапряжений. Каркас, в котором были заключены варисторы, выполнялся либо путём намотки стеклопластиковой ленты на варисторную колонку, либо из стержней, расположенных в виде «беличьей клетки», либо в виде стеклопластиковой трубы с отверстием для выброса газов при коротком замыкании внутри ОПН. Образцы показали вполне удовлетворительную способность выдерживать большие импульсные токи без разлёта опасных для персонала и окружающего оборудования фрагментов. Полимерные конструкции, каркас которых выполнен сплошной намоткой, требуют усиления зоны соединения каркаса с электродами для исключения вылета электродов при скоплении газов при коротком замыкании внутри корпуса ОПН. Для таких конструкций требуется введение в программу приёмно-сдаточных испытаний дополнительной проверки на механическую прочность в продольном направлении с заранее установленной нормой прочности. Библ. 11, табл. 1, рис. 5.*

**Ключевые слова:** электрооборудование тяговых устройств, постоянный ток, защита от перенапряжений, ограничители перенапряжений, взрывобезопасность, методика испытаний, взрывное разрушение, разлёт фрагментов.

**Введение.** Для защиты от перенапряжений электрооборудования тяговых устройств, электровозов и электропоездов применяют разрядники или ограничители перенапряжений (ОПН).

В настоящее время в большинстве случаев на тяговом электрооборудовании установлены разрядники РМВУ-3,3; РВКУ-3,3 А 01 [1-3], выполненные из вилитовых дисков и искровых промежутков, а также ограничители перенапряжений в фарфоровых корпусах. Вилитовые разрядники морально устарели и фактически сняты с производства; фарфоровые ограничители перенапряжений имеют ряд недостатков: недостаточную герметичность соединения фарфоровой крышки с металлическим фланцем, высокую взрывоопасность, большие габариты и массу. Для исключения названных недостатков на замену фарфоровым конструкциям для железной дороги постоянного тока разрабатывают и осваивают ОПН в полимерном корпусе (ОПНп). При разработке новых ОПНп учитывается, что важнейшим их показателем является взрывобезопасность. Ограничители перенапряжений, как и любой аппарат, могут в эксплуатации повреждаться, например, из-за внутреннего пробоя варисторов, что может привести к короткому замыканию и возникновению внутри корпуса электрической дуги, резкому росту внутреннего давления газов от термического разложения материалов, вызванного воздействием электрической дуги. Если повреждение ОПН сопровождается взрывным разрушением корпуса, то это

представляет опасность для персонала подстанции и расположенного рядом с ним оборудования, поскольку при взрыве могут с большой скоростью разлетаться фрагменты варисторов и жёсткие части разорвавшегося корпуса. Могут также вырваться из корпуса ОПНп металлические фланцы. При установке ОПНп на электровозах и электропоездах опасность взрывного разрушения ОПН усугубляется тем, что разлёт осколков может произойти в местах скопления пассажиров. Согласно [4] для всех типов ОПН взрывобезопасность определяется как отсутствие при испытании взрывного разрушения корпуса с разлётом осколков в нормируемой зоне и отсутствие возгорания корпуса при разрушении и, если возникнет, с последующим затуханием пламени в течение времени не более 30 с.

Для ОПН тяговой сети постоянного тока испытательные режимы для подтверждения взрывобезопасности определены в [5]. В украинских испытательных лабораториях отсутствует высоковольтное оборудование на большие токи для испытаний ОПН на взрывобезопасность в режимах короткого замыкания. В то же время при оформлении Технических условий на эти изделия требуется подтверждение соответствия требованиям [6], в которых взрывобезопасность аппаратов является важнейшим показателем.

**Цель работы** – определение взрывобезопасности образцов ОПНп-3,3 кВ с полимерным корпусом на оборудовании действующей тяговой подстанции

© Ю.Н. Шумилов, В.И. Бондаренко

постоянного тока в условиях максимально приближённых к эксплуатации.

**Образцы для испытаний.** Испытывались прошедшие необходимые электрические и механические испытания 8 образцов ограничителей перенапряжений ОПНп-3,3/4,5/10/550 КС, состоящих из колонки «варистор + алюминиевые вставки + алюминиевые электроды», стеклопластикового каркаса и кремнийорганической ребристой защитной оболочки.

В образцах № 1-3 каркас изготовлен сплошной намоткой стеклобандажной ленты, пропитанной терморезистивным связующим. В образцах № 4-6 каркас изготовлен намоткой стеклобандажной ленты, предусматривающей наличие участков с неполным закрытием стеклобандажной лентой боковой (цилиндрической) поверхности варисторной колонки. После наложения ленты каркас запекался при температуре 165 °С, затем его поверхность ошкуривалась и перед наложением силиконовой оболочки покрывалась специальной грунтовкой (праймером) для прочного соединения силиконовой резины со стеклолентой.

В образце № 7 каркас изготовлен в виде «беличьей клетки», состоящей из тонких стеклопластиковых стержней, расположенных вокруг варистора и прочно закрепленных опрессовкой в алюминиевых электродах.

В образце № 8 каркас собран из предварительно изготовленной стеклопластиковой трубы с двумя отверстиями в боковой поверхности, предназначенными для сброса давления газа при пробое ОПНп; фланцы закреплялись на стеклопластиковой трубе с помощью клеерезьбового соединения.

Для создания короткого замыкания у образцов № 3-6, 8 варистор шунтировался медной проволокой сечением 0,62 мм<sup>2</sup>, у образцов № 1, 2, 7 варистор был предварительно пробитый (электротепловой пробой), но не разрушенный.

На рис. 1 схематически показаны колонки образцов с варисторами, подготовленные к наложению силиконовой защитной оболочки.

**Методика проведения испытаний на взрывобезопасность.** Испытания на взрывобезопасность ограничителей перенапряжений были проведены на базе Славянской тяговой подстанции по программе, согласованной с ЦЭ «Укрзалізниця». Электрическая схема испытаний приведена на рис. 2.

Образец ограничителя перенапряжений монтировался на одной из металлических опор на высоте 5,5 м, расположенной на территории подстанции, и подсоединялся к шинам тяговой подстанции 3,3 кВ через разъединители А5, В5, Фл5 и быстродействующий выключатель ВАБ-206 (рис. 3).

Испытательная схема отделялась от контактной сети разъединителем Ф51. После замыкания выключателя ВАБ-206 через колонку с предварительно пробитым или шунтированным медной проволокой варистором протекал ток короткого замыкания с образованием электрической дуги внутри секции ОПНп.

Процесс, связанный с протеканием тока короткого замыкания, контролировался с помощью контрольно-измерительного комплекса ЦЗАФ 3,3, при этом фиксировались мгновенные значения тока и напряжения в цепи и записывались осциллограммы тока и

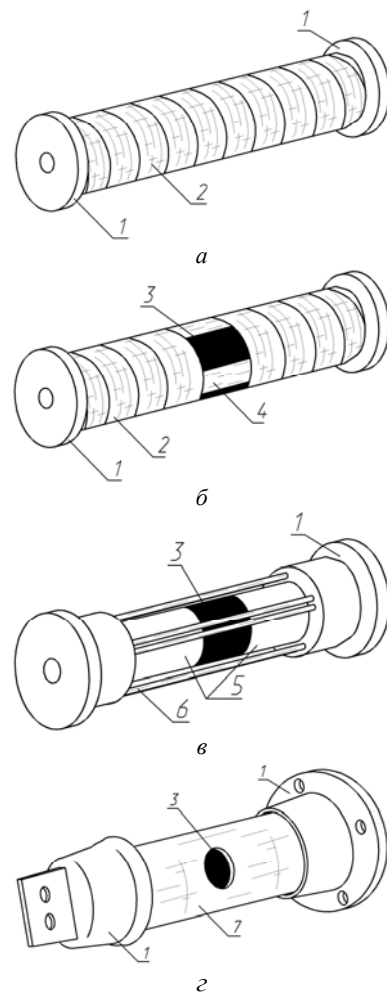


Рис. 1. Эскизы колонок: а – с намоткой; б – с намоткой и с отверстием; в – со стержнями; г – с трубой и двумя отверстиями (1 – алюминиевый фланец, 2 – отвержденная стеклопластиковая лента, 3 – металлооксидный варистор, 4 – продольно расположенный слой стеклобандажной ленты, 5 – алюминиевые вставки, 6 – стеклопластиковый стержень, 7 – стеклопластиковая труба с отверстиями)

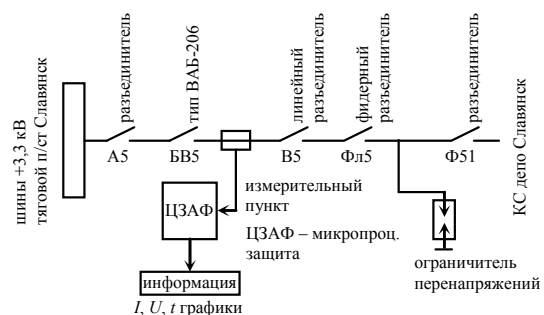


Рис. 2. Электрическая схема испытаний секций ОПНп на тяговой подстанции г. Славянска

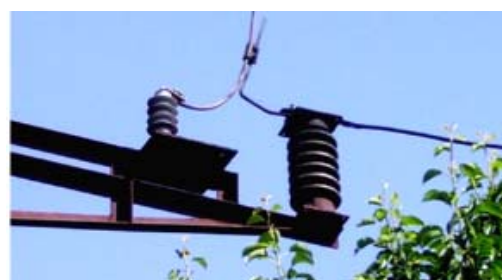


Рис. 3. Образец ОПНп, подготовленный к испытаниям

напряжения через дугу. Во время испытаний велась видеосъемка образцов с помощью видеорежистратора, установленного в непосредственной близости с испытуемым образцом. После испытаний производился осмотр каждого образца ОПНп, образцы фотографировались, определялся вес образца после испытаний и, если происходил разрыв оболочки, оценивался разлет фрагментов ОПНп.

На рис. 4 показана осциллограмма тока и напряжения в момент дугового разряда внутри корпуса образца № 2.

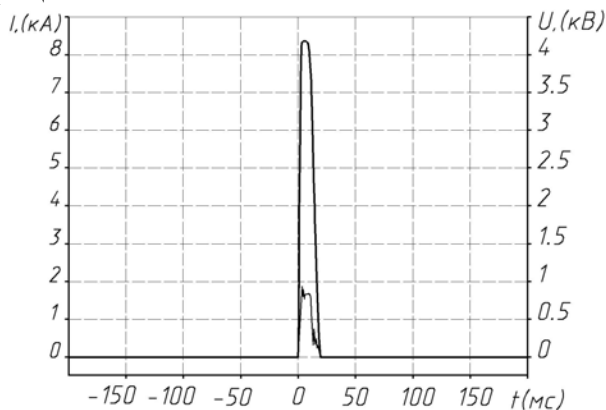


Рис. 4. Осциллограмма тока и напряжения в момент дугового разряда внутри корпуса образца № 2: высокий пик соответствует току дуги; нижний пик – напряжению; по оси абсцисс – время в мс

**Результаты испытаний** ОПНп-3,3 кВ на взрывобезопасность представлены в табл. 1.

Для оценки взрывобезопасности ОПН стандарт [4] устанавливает следующие критерии:

1. Ограничитель считается взрывобезопасным, если фрагменты конструкции, упавшие на землю после разрушения ОПН, останутся в круге диаметром не более  $D = 1,2 \cdot (2 \cdot H_{sa} + D_{sa})$ , где  $H_{sa}$ ,  $D_{sa}$  – высота и диаметр ОПН, соответственно; для аппаратов малой высоты принимается  $D = 1,8$  м.

2. Считается допустимым вылет из круга фрагментов поврежденной конструкции весом до 60 г каждый.

Область раскаленных газов, выходящих из ОПН, не нормируется.

Дополнительно отметим, что если, как указано в [7-11], электрическая дуга из корпуса ОПН выйдет наружу, то взрывного разрушения не произойдет за весь период горения дуги. Однако если дуга останется внутри корпуса, то взрывобезопасность гарантировать нельзя.

Из табл. 1 следует, что из 8-ми испытанных конструкций в 7-ми случаях разрушение корпуса происходило без разлета осколков. В зоне размещения варистора происходил локальный разрыв силиконовой оболочки с выбросом газа и выходом наружу дугового разряда. Исключение составил образец № 2, у которого при взрыве произошел вырыв верхнего электрода с одновременным разлетом фрагментов расколовшегося варистора в радиусе 3-5 м.

Таблица 1

Результаты испытаний ОПНп-3,3 кВ на взрывобезопасность

№ ОПН	Ток КЗ через ОПН (А); максимальное напряжение, зафиксированное ЦЗАФ (В); полное время отключения КЗ (с)	Вид повреждения корпуса	Состояние варисторов после испытаний	Состояние алюминиевых вкладышей, прилегающих к варисторам
1	$I = 8130; U = 800; t = 0,02$	Разрыв оболочки в зоне размещения варистора без разлета осколков	Растрескивание варистора	Глубокая эрозия алюминиевых вкладышей в зоне трещин в варисторе
2	$I = 7178; U = 1120 \text{ В}; t = 0,02$	Вырыв верхнего электрода; разрушение и разлет фрагментов варистора на 3-5 м	Растрескивание варистора	Эрозия алюминиевых вкладышей в зоне трещин в варисторе
3	$I = 8640; U = 800; t = 0,02$	Разрыв оболочки в зоне размещения варистора без разлета осколков	Растрескивание варистора	Эрозия алюминиевых вкладышей в зоне трещин в варисторе
4	$I = 7890; U = 1000; t = 0,02$	Разрыв оболочки в зоне размещения ослабленного места в намотке стеклобандажной лентой	Варистор, зашунтированный медной проволокой, без разрушения	Эрозия алюминиевых вкладышей в зоне медной проволоки
5	$I = 7245; U = 800; t = 0,02$	2 разрыва и 3 точечных прокола оболочки	Варистор, зашунтированный медной проволокой, без разрушения	Эрозия алюминиевых вкладышей в зоне медной проволоки
6	$I = 8153; U = 800; t = 0,02$	8 точечных проколов	Варистор, зашунтированный медной проволокой, без разрушения	Эрозия алюминиевых вкладышей в зоне медной проволоки
7	$I = 7238; U = 900; t = 0,02$	Разрыв оболочки в зоне размещения варистора без разлета осколков	Растрескивание варистора	Эрозия алюминиевых вкладышей в зоне трещин в варисторе
8	$I = 7890; U = 1000; t = 0,02$	Разрыв оболочки в зоне расположения круглого отверстия в стеклопластиковой трубе, клеерезьбовое соединение алюминиевых фланцев со стеклопластиковой трубой не нарушено	Варистор, зашунтированный медной проволокой, без разрушения	Эрозия алюминиевых вкладышей в зоне медной проволоки

### Анализ результатов исследований.

1. Из табл. 1 видно, что из 8-ми испытанных конструкций в 7-ми случаях разрушение корпуса происходило без разлета осколков. В 7-ми образцах в зоне размещения варистора происходил локальный разрыв силиконовой оболочки с выбросом газа и выходом наружу дугового разряда. Исключение составил образец № 2, выполненный сплошной намоткой каркаса стеклобандажной лентой, у которого при взрыве произошёл вырыв верхнего электрода с одновременным разлетом фрагментов расколовшегося варистора в радиусе 3-5 м. Из-за белого дыма, сопровождающего взрыв, не удалось на кадре зафиксировать, был ли выход дуги из корпуса наружу, при том, что на следующем кадре (через 33 мс) дуга уже не фиксировалась.

2. В двух других образцах № 1 и № 3, выполненных аналогично сплошной намоткой стеклобандажной лентой, наблюдался локальный разрыв каркаса и силиконового покрытия с выходом дуги наружу. Разлета опасных фрагментов не было. Вышедшая на поверхность электрическая дуга приблизительно через

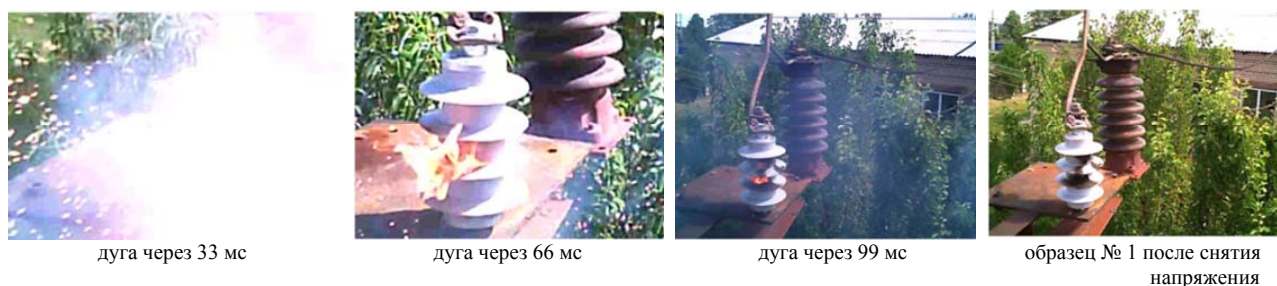


Рис. 5 Стоп-кадры видеосъёмки выхода дуги из корпуса ОПНп после включения ВАБ-206

### Выводы.

1. Проведённые испытания полимерных образцов ОПНп-3,3 кВ в эксплуатационных условиях на оборудовании действующей подстанции, при токах короткого замыкания 8,3 кА и времени воздействия тока 0,02 с, близких по величине к рекомендуемым стандартом ИЕС 60099-4:2014 значениям, показали вполне удовлетворительную способность выдерживать большие импульсные токи короткого замыкания без разлёта фрагментов, опасных для персонала и окружающего оборудования.

2. Полимерные конструкции, каркас которых выполнен сплошной намоткой, требуют усиления зоны соединения каркаса с электродами. Для таких конструкций требуется ввести в программу приёмо-сдаточных испытаний ОПНп дополнительную проверку на механическую прочность в продольном направлении с заранее установленной нормой прочности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко В.Д. Техника высоких напряжений устройств электрической тяги. – М.: Транспорт, 1975. – 359 с.
2. Грубар Л.О., Перцовский Л.М., Трофимов В.И. Устройство, монтаж и эксплуатация тяговых подстанций. – М.: Транспорт, 1971. – 359 с.
3. Радченко В.Д., Фарафонов А.В. Высоковольтные аппараты защиты постоянного тока. – М.: Транспорт, 1971. – 142 с.
4. ИЕС 60099-4. Ed.3.0 b: 2014. Surge arresters – part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps a.c. systems. – 2014. – 168 p.
5. ГОСТ Р 55167-2012. Ограничители перенапряжений нелинейные для тяговой сети железных дорог. Общие техни-

ческие условия. – М.: Стандартинформ, 2013. – 15 с.

100 мс полностью погасала, это видно на стоп-кадрах, полученных через каждые 33 мс (рис. 5). У остальных 5-ти образцов наблюдаемая картина горения дуги была аналогичной, как и у образцов № 1 и № 3 (рис. 5).

3. При испытаниях 8-ми представленных конструкций ни в одном из них возгорания корпуса не произошло.

4. Если испытания проводились на ОПНп, собранных с предварительно пробитыми варисторами (электротепловой пробой), варисторы при испытаниях раскалывались, оставаясь внутри каркаса (кроме образца № 3). От действия дуги в зоне контакта алюминиевых электродов с варисторами наблюдалось глубокое выгорание электродов, в отдельных случаях выгорание было глубиной до 7 мм и шириной – до 8 мм.

5. Если варисторы шунтировались медной проволокой, они оставались целыми, при этом также происходило расплавление и выгорание части алюминиевых электродов в зоне соединения с медной проволокой, но в меньших размерах.

6. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.

7. Голубев П., Дмитриев В., Дмитриев М. Вопросы выбора тока взрывоопасности ОПН 6-750 кВ // Новости электротехники. – 2009. – №4(58). Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/58/13.php>.

8. Капустин Д. Устройство сброса стандартов в ОПН. Статистика испытаний // Новости электротехники. – 2004. – №1(25). Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2004/25/06.php>.

9. Bernhard A., Shmidt W. Surge arrester configuration with direct on moulded silicone insulation // Proceedings of World conference and exhibition on insulators, arresters and bushings: optimizing reliability, availability and cost through optimal selection of these components. – Spain, 2003. – pp. 97-106.

10. Hinrichen V. Latest designs and service experience with station-class polymer housed surge arresters // Proceedings of World conference and exhibition on insulators, arresters and bushings: optimizing reliability, availability and cost through optimal selection of these components. – Spain, 2003. – pp. 85-96.

11. Steinfeld K. Design of metal-oxide surge arresters // Proceedings of World conference and Exhibition on insulators, arresters and bushings: optimizing reliability, availability and cost through optimal selection of these components. – Spain, 2003. – pp. 137-146.

### REFERENCES

1. Radchenko V.D. *Tekhnika vysokikh napriazhenii ustroystv elektricheskoi tyagi* [High voltage technique for electric traction devices]. Moscow, Transport Publ., 1975. 359 p. (Rus).
2. Grubar L.O., Pertsovskiy L.M., Trofimov V.I. *Ustroistvo, montazh i ekspluatatsiia tiagovykh podstantsii* [Design, installa-

tion and operation of traction substations]. Moscow, Transport Publ., 1971. 359 p. (Rus).

3. Radchenko V.D, Farafonov A.V. *Vysokovol'tnyye apparaty zashchity postoiannogo toka* [DC high voltage protection devices]. Moscow, Transport Publ., 1971. 142 p. (Rus).

4. IEC 60099-4. Ed.3.0 b: 2014. Surge arresters – part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps a.c. systems. 2014. 168 p.

5. GOST R 55167-2012. *Ogranichiteli perenapryazheniy nelineynyye dlya tyagovoy seti zheleznih dorog. Obschie tehniczeskie usloviya*. [GOST R 55167-2012. Surge arresters for power supply systems of electrified railways. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 15 p. (Rus).

6. GOST 12.2.007.0-75. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Izdeliya ehlektrotekhnicheskoye. Obshchie trebovaniya bezopasnosti* [GOST 12.2.007.0-75. Occupation safety standards system. Electrical equipment. General safety requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 10 p. (Rus).

7. Golubev P., Dmitriev V., Dmitriev M. Questions of the choice of the current explosion hazard of surge arresters 6-750 kV. *Electrical engineering news*, 2009, no.4(58). Available at: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/58/13.php> (Accessed 22 September 2017). (Rus).

8. Kapustin D. Pressure relief device in surge arrester. Test statistics. *Electrical engineering news*, 2004, no.1(25). Available at: <http://www.news.elteh.ru/arh/2004/25/06.php> (Accessed 08 May 2017). (Rus).

9. Bernhard A., Shmidt W. Surge arrester configuration with direct on moulded silicone insulation. *Proceedings of World conference and exhibition on insulators, arresters and bushings: optimizing reliability, availability and cost through optimal selection of these components*. Spain, 2003, pp. 97-106.

10. Hinrichen V. Latest designs and service experience with station-class polymer housed surge arresters. *Proceedings of World conference and exhibition on insulators, arresters and bushings: optimizing reliability, availability and cost through optimal selection of these components*. Spain, 2003, pp. 85-96.

11. Steinfeld K. Design of metal-oxide surge arresters. *Proceedings of World conference and Exhibition on insulators, arresters and bushings: optimizing reliability, availability and cost through optimal selection of these components*. Spain, 2003. pp. 137-146.

Поступила (received) 01.10.2018

Шумилов Юрий Николаевич<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Бондаренко Владимир Иванович<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,

<sup>1</sup> ПАО «Славянский завод высоковольтных изоляторов»,  
84105, Донецкая обл., Славянск, ул. Краматорская, 79,  
тел/phone +380 95 1813515, e-mail: sumilovurij2@gmail.com

<sup>2</sup> Донбасский государственный педагогический университет,  
84116, Донецкая обл., Славянск, ул. Г. Батюка, 19,  
тел/phone+380 50 9084005, e-mail: nv1287@ukr.net

Yu.N. Shumilov<sup>1</sup>, V.I. Bondarenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PSC «Slavyansk High Voltage Insulators Works»,  
79, Kramatorskaya Str., Slavyansk, Donetsk Reg., 84105,  
Ukraine.

<sup>2</sup> Donbass State Pedagogical University,  
19, G. Batyuka Str., Slavyansk, Donetsk Reg., 84116, Ukraine.

**Investigation of explosion safety of DC polymer surge arresters 3.3 kV for traction network of railway transport.**

*In the testing laboratories of Ukraine, there is no high-voltage equipment of the necessary energy for testing surge arresters for*

*explosion safety, which does not allow to estimate this indicator at the stage of development of prototypes. In view of this test, the polymer prototypes of the DC surge arresters in polymer case (SAP) 3.3 kV were tested under the operating conditions of the equipment of the operating substation with short-circuit currents of 8.3 kA and a current time of 0.02 seconds, close to the recommended by Standard of IEC 60099-4:2014 values. 8 samples of surge arresters were tested. A sample of the surge arrester was mounted on one of the metal supports at a height of 5.5 m located in the substation and connected to the 3.3 kV traction substation buses through disconnectors and a high-speed switch. After the short-circuit breaker was closed through a column with a pre-punched or shunted copper wire varistor, a short-circuit current flowed to form an electric arc inside the arrester samples. During the tests video samples were recorded using a video recorder installed in close proximity to the test sample. The frame of the SAP samples in which the varistors were enclosed was performed either by winding the fiberglass tape on a varistor column, or from rods arranged in the form of a squirrel cage, or in the form of a fiberglass tube with a hole for gas ejection during a short circuit inside the SAP. The destruction of the hull occurred without scattering of the fragments in seven cases from the eight samples tested. In seven samples, a local rupture of the silicone shell occurred in the varistor zone, a gas ejection and an arc discharge occurred through this gap. The exception was sample No. 2, made by a continuous winding of a glass-banding tape on a varistor column, in which, during the explosion, the upper electrode exploded with the simultaneous expansion of fragments of the varistor in a radius of 3-5 m. Due to the white smoke accompanying the explosion, it was not possible to fix on the frame whether the arc output from the case to the outside, despite the fact that on the next frame (in 33 ms.) the arc was no longer fixed. In the tests of eight of the presented designs, none of them ignited the hull. If the tests were carried out on the surge arresters assembled with pre-punched varistors (electrothermal breakdown), the varistors during the tests split, remaining inside the frame. From the action of the arc in the contact zone of the aluminum electrodes with varistors, a deep burn-out of the electrodes was observed, in some cases, the burn-up was up to 7 mm deep and up to 8 mm wide. If the varistors were shunted by a copper wire, they remained intact. If the varistors were shunted by a copper wire, they remained intact und melting and burning out a part of the aluminum electrodes in the area of connection with the copper wire were smaller sizes. The samples showed a completely satisfactory ability to withstand large pulse currents without dispersing dangerous fragments for personnel and surrounding equipment. However, polymer designs, the frame of which is made by continuous winding, require reinforcement of the connection zone of the carcass with electrodes to exclude the break-out of electrodes during the accumulation of gases during a short circuit inside the shell of the SAP. For such designs, an additional test for mechanical strength in the longitudinal direction with a predetermined norm is required in the acceptance test program. References 11, tables 1, figures 5.*

**Key words:** electrical equipment of traction network, direct current, overvoltage protection, surge arrester, explosion safety, test procedure, explosive destruction, fragment separation.