

**ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ  
МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ  
ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ**

**КОНТРЕЛЬСЫ-ПРОТЕКТОРЫ  
ДЛЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
МЕТОДИК РАСЧЕТА  
УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ  
ОТ СХОДА С РЕЛЬСОВ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
УСТРОЙСТВ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ  
В СИСТЕМАХ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
СКОРОСТНЫХ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ  
ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**

**ВЛИЯНИЕ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНОК  
ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННЫХ УСЛУГ**



УДК 621.332:3(07)

**Александр Петрович Сухогозов**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

**Николай Леонидович Иванов**, кандидат технических наук, руководитель испытательного центра технических средств железнодорожного транспорта (ИЦ ТСЖТ) Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия,

**Юрий Александрович Кочунов**, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение транспорта» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИМЕРНОГО КРОНШТЕЙНА

Alexander Petrovich Sukhoguzov, PhD in Engineering, Professor, Electric Machinery Department,

Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Nikolay Leonidovich Ivanov, PhD in Engineering, Head of Railway Facilities Testing Center,

Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia,

Yuriy Alexandrovich Kochunov, Senior Lecturer, Transport Power Supply Department,

Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia

### Electrical testing of a polymer bracket

#### Аннотация

В статье приведены результаты испытаний электрической прочности полимерного кронштейна КПСИП-3 в загрязненном и увлажненном состоянии, предназначенного для самонесущих изолированных проводов воздушной линии электропередачи (ЛЭП) напряжением 6–10 кВ устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и линий продольного электроснабжения (ПЭ).

**Ключевые слова:** полимерный кронштейн, электрическая прочность, 50%-е напряжение, удельная поверхностная проводимость, ток утечки, электрические испытания.

#### Summary

The article presents results of the tests of dielectric strength of the polymer bracket in polluted and humidified condition designed for self-supporting insulated wires KPSIP-3 of overhead power transmission line (PTL) with voltage of 6–10 kV, of signaling arrangements and longitudinal power supply.

**Keywords:** polymer bracket, dielectric strength, 50 % voltage, specific surface conductivity, leakage current, electrical testing.

DOI: 10.20291/1815-9400-2016-2-119-123

**П**ерспективы развития железнодорожного транспорта связаны с созданием малообслуживаемых объектов инфраструктуры. Одно из приоритетных направлений в этом плане предполагает использование современных полимерных материалов. Полимеры хорошо себя зарекомендовали в различных сферах деятельности и широко применяются в мостостроении, при изготовлении шпал, вагонов и др. В системе электроснабжения железных дорог полимерные материалы начали использоваться в 80-е гг. прошлого века, однако в 1990-е гг., в связи со сложной обстановкой в нашей стране, их изучение и применение в качестве опорно-поддерживающих конструкций контактной сети и воздушных линий не велось.

В настоящее время в России полимерные материалы используются при изготовлении опор, консолей, фиксаторов, кронштейнов для проводов поездной радиосвязи [1].

В статье приведены результаты электрических испытаний полимерного кронштейна КПСИП-3, предназначенного для фиксации самонесущих изолированных проводов воздушной ЛЭП напряжением 6–10 кВ устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и линий продольного электроснабжения (ПЭ).

Кронштейн КПСИП-3 не имеет изоляторов, так как выполнен из изоляционного материала и представляет собой соединение полимерных стержней. Крепление проводов осуществляется в седла [2–4]. В связи с отсутствием изоляторов требует изучения вопрос, касающийся обеспечения электрической прочности полимерного кронштейна в загрязненном и увлажненном состоянии.

В соответствии с [5] выбор полимерных изоляторов или конструкций в зависимости от степени загрязнения (СЗ) и номинального напряжения электроустановки должен производиться по разрядным характеристикам в загрязненном и увлажненном состоянии. При этом изоляционная часть полимерного

кронштейна, находящаяся под межфазным напряжением, должна иметь 50%-е разрядные напряжения (электрическую прочность) промышленной частоты в загрязненном и увлажненном состоянии не ниже 23 кВ при  $U_n = 10$  кВ. Удельная поверхностная проводимость слоя загрязнения изоляции  $\chi$  должна приниматься, согласно [5], для первой СЗ — не менее 5 мкСм, для второй — не менее 10, для третьей — не менее 20, для четвертой — не менее 30 мкСм.

В соответствии с [5–8] в ИЦ ТСЖТ УрГУПС нами проводились испытания для оценки электрической прочности полимерного кронштейна КПСИП-3 в загрязненном и увлажненном состоянии. Испытывались укороченные образцы траверсы кронштейна, равные длине его межфазного участка (этот участок находится в более жестких условиях) (рис. 1), которые устанавливались в горизонтальном положении [6].

Для электрических испытаний был изготовлен стенд. Он представляет собой короб, дно и боковые стенки которого выполнены из непрозрачного материала, а лицевая и задняя стенки — из оргстекла. В крышке зафиксированы проходные изоляторы (рис. 2а). Для изоляции корпуса стенда от испытуемого образца использовались стеклянные подвесные изоляторы ПСД-70Е. Через проходные изоляторы с помощью высоковольтных проводов (провода свечей зажигания  $U_{max} = 45$  кВ) на один конец образца аппаратом АИД-70Ц подавалось переменное напряжение промышленной частоты 50 Гц, другой конец присоединялся к заземлению. В процессе испытаний определялось имитируемое межфазное напряжение, возникающее на полимерном кронштейне КПСИП-3. Для создания адвективного тумана использовался ультразвуковой увлажнитель воздуха, через сопло которого заполнялся испытательный стенд (рис. 2б). Интенсивность увлажнения измерялась с помощью гигрометра психрометрического ВИТ-1 и измерителя влажности и температуры ТКА-ТВ.

При электрических испытаниях полимерного кронштейна в загрязненном и увлажненном состоянии определялись удельная поверхностная проводимость изоляционных частей и 50%-е разрядное напряжение.

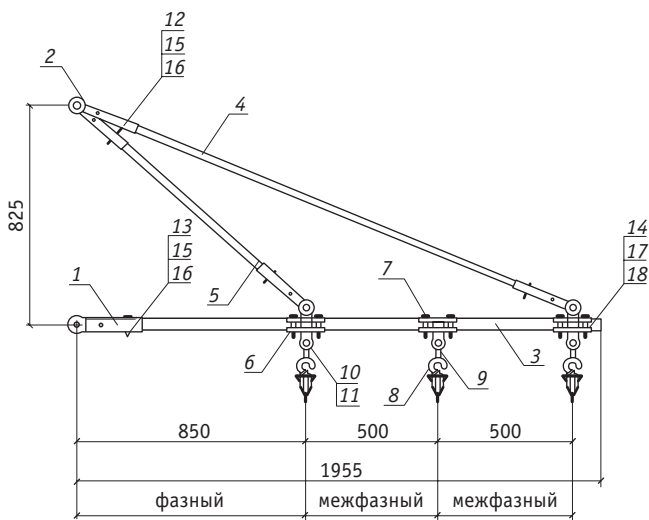


Рис. 1. Полимерный кронштейн КПСИП-3

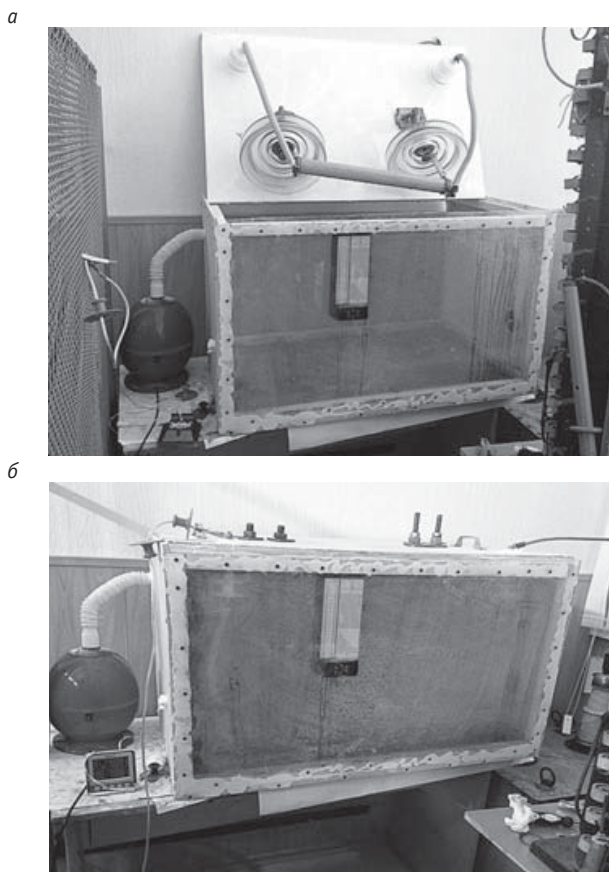


Рис. 2. Испытательный стенд:

а — общий вид; б — стенд, заполненный туманом

В соответствии с [6] применялись методы предварительного загрязнения (ПЗ) и соленого тумана (СТ).

При методе ПЗ в качестве загрязнителя использовалась суспензия, состоящая из 40 г каолина, 1000 г воды и NaCl в необходимом количестве — 5, 20 и 40 г.

При методе СТ в качестве загрязнителя использовались: 20 г NaCl на 1000 г воды (средняя концентрация солености морей России);

224 г NaCl на 1000 г воды (максимальная концентрация по [6]).

Загрязнитель взвешивался на весах лабораторных квадратных ВЛКТ-500 г-М.

Испытания проводились на образцах без оболочки и с защитной оболочкой. Защитная оболочка представляет собой композицию, состоящую из низкомолекулярного каучука СКТН вязкотекучей консистенции компаунда Виксинт ПК-68 и катализатора холодного отверждения № 68. Это покрытие широко используется в качестве защитных оболочек у отечественных производителей электроизоляционного оборудования, длительно работающего в среде воздуха и в условиях повышенной влажности в интервале температур от минус 60 до плюс 200 °С. Мягкость и эластичность компаунда позволяет применять его для герметизации изделий из ферритов и пермаллоев. Прозрачность компаунда допускает легко производить дефектацию и ремонт устройств, покрытых им.

Согласно п. 3.7 [6], при испытаниях загрязненной изоляционной конструкции использован метод ПД — длительного приложения напряжения к испытываемому образцу с последующим его увлажнением или к чистому образцу с последующим осаждением соленого тумана. К образцам при помощи аппарата АИД-70Ц подавалось переменное напряжение  $U = 23$  кВ ( $\pm 0,1$  кВ). В процессе испытаний фиксировался ток утечки. По полученным данным построены зависимости тока от времени (рис. 3). Согласно [6], время проведения испытания должно составлять не менее 30 мин. На поверхности образцов наблюдались частичные разряды, при этом перекрытия образцов не зафиксированы.

Опыты показали, что ток утечки по образцам с низкой концентрацией загрязнения имеет линейную зависимость, а при увеличении концентрации носит переменный характер с резкими пиковыми значениями, при этом перекрытия изоляционной части не зафиксированы.

Следующим этапом исследований было определение удельной поверхностной проводимости.

На чистые образцы (без оболочки и с оболочкой) путем полного погружения в загрязняющую суспензию наносилось загрязнение. Степень загрязненности задавалась в соответствии с [6, 7]. Испытуемый образец помещался в испытательную камеру, где постепенно увлажнялся в течение 30 мин, согласно [6] (по [7] — не менее 20 мин). С помощью прибора МІС10к измерялись значения поверхностного сопротивления и тока утечки. По истечении времени насыщения измеряемые величины фиксировались. Далее на испытуемый образец при данном увлажнении и загрязнении подавалось переменное напряжение 2,5 кВ (по [7] — 5 кВ на метр), так как образцы имели длину 0,5 м, и фиксировался ток утечки.

В соответствии с [8] рассчитывалась поверхностная проводимость  $G = I/U$  (где  $U$  — значение приложенного к изолятору напряжения;  $I$  — значение тока утечки на испытуемом образце). Удельная поверхностная проводимость определялась путем умножения значения поверхностной проводимости  $G$  на коэффициент формы изоляционной конструкции  $K_{\phi}$ . Так как коэффициент формы гладкого цилиндрического профиля  $K_{\phi} = 1$ , то удельная поверхностная проводимость  $\chi = G$ .

Далее проводились опыты методом СТ (согласно [6]). Также исследован образец с преднамеренно поврежденной защитной оболочкой, повреждения обведены маркером (рис. 4).

Для сравнения выполнены исследования электрической прочности подвесных стеклянных изоляторов ПС-70Е (рис. 5),  $K_{\phi}$  которых равен 0,79 [9].

Далее, согласно [5–7], определялось 50%-е напряжение. Величина требуемого  $U_{50\%}$  с учетом коэффициента запаса для межфазного напряжения должна составлять 23 кВ. В опытах 1–4 значение  $U_{50\%}$  превышало эту величину, так как при загрязнении 40 г каолина и до 5 г NaCl подавалось переменное напряжение для возможности получить перекрытие испытуемых образцов, однако из-за увлажнения высоковольтные провода выходили из строя, и максимальная величина приложенного напряжения  $U_{\text{прил. max}}$  составила 46 кВ. Как показали опыты, данная концентрация не влияет на изоляционные свойства стеклопластика СПП-ЭИ(Н) и не снижает  $U$  перекрытия.

В ходе испытаний установлено, что самый тяжелый режим работы изоляции — при соленом тумане. На рис. 6 представлены образцы с концентрацией NaCl 224 г/л после испытания методом СТ.

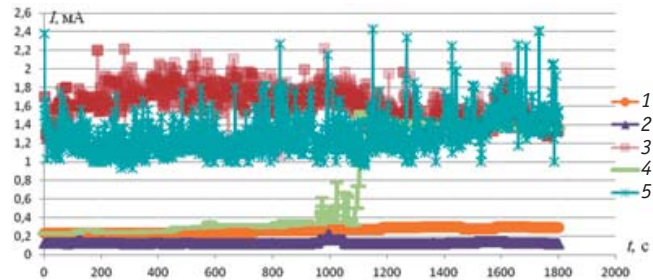


Рис. 3. Диаграмма токов утечки:

- 1 — чистый образец без оболочки, без увлажнения;
- 2 — то же в оболочке, без увлажнения;
- 3 — образец без оболочки, загрязненный 40 г каолина, 20 г NaCl, увлажненный;
- 4 — образец в оболочке, загрязненный 40 г каолина, 20 г NaCl, увлажненный;
- 5 — образец в оболочке, метод СТ, 224 г/л NaCl



Рис. 4. Образец полимерного кронштейна с поврежденной защитной оболочкой



Рис. 5. Крепление изолятора ПС-70Е на испытательном стенде

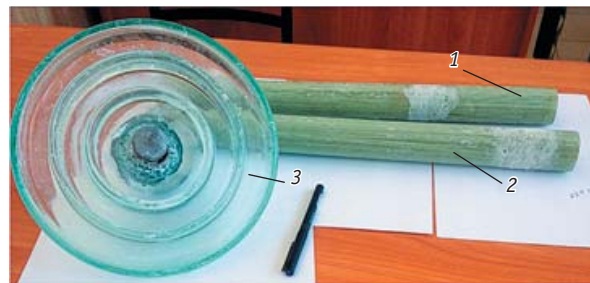


Рис. 6. Образцы, испытанные методом СТ:

- 1 — образец полимерного кронштейна в защитной оболочке;
- 2 — то же без защитной оболочки;
- 3 — подвесной стеклянный изолятор ПС-70Е

На основании проведенных исследований построены диаграммы зависимости удельной поверхностной проводимости  $\chi$  (рис. 7) и значений  $U_{50\%}$  (рис. 8) от метода и концентрации загрязнителя.

На рис. 7 и 8 под цифрами 1–17 обозначены следующие опыты: 1 — без оболочки чистый (увлажненный без загрязнения); 2 — в оболочке чистый (увлажненный без загрязнения); 3 — без оболочки (метод ПЗ, 40 г каолина, 5 г NaCl); 4 — в оболочке (метод ПЗ, 40 г каолина, 5 г NaCl); 5 — без оболочки (метод ПЗ, 40 г каолина, 20 г NaCl); 6 — в оболочке (метод ПЗ, 40 г каолина, 20 г NaCl); 7 — без оболочки (метод ПЗ, 40 г каолина, 40 г NaCl); 8 — в оболочке (метод ПЗ, 40 г каолина, 40 г NaCl); 9 — в оболочке (дефект оболочки, метод ПЗ, 40 г каолина, 40 г NaCl); 10 — изолятор ПС-70Е (метод ПЗ, 40 г каолина, 40 г NaCl); 11 — в оболочке (метод ПЗ, 100 г каолина — для сравнения, 40 г NaCl); 12 — без оболочки (метод СТ, 20 г NaCl на 1000 г воды); 13 — в оболочке (метод СТ, 20 г NaCl на 1000 г воды); 14 — без оболочки (метод СТ, 224 г NaCl на 1000 г воды); 15 — в оболочке (метод СТ, 224 г NaCl на 1000 г воды); 16 — изолятор ПС-70Е (метод СТ, 224 г NaCl на 1000 г воды); 17 — изолятор ПС-70Е (метод СТ, 20 г NaCl на 1000 г воды).

По результатам исследований установлено, что полимерный кронштейн, выполненный из стеклопластика СПП-ЭИ(Н) цилиндрической гладкой формы, предназначенный для эксплуатации на ВЛ продольного электроснабжения напряжением 6–10 кВ может применяться без защитной оболочки в I и II зонах загрязнения. При использовании защитной оболочки Виксинт ПК-68 изоляционные качества СПП-ЭИ(Н) повышаются, что позволяет расширить область применения полимерного кронштейна с I по IV зоны загрязнения. Кроме того, установлено, что незначительное повреждение защитной оболочки не оказывает влияния на изоляционные свойства конструкции. Таким образом, кронштейн КПСИП-3 выдержал электрические испытания и может быть рекомендован к опытной эксплуатации на объектах ОАО «РЖД».

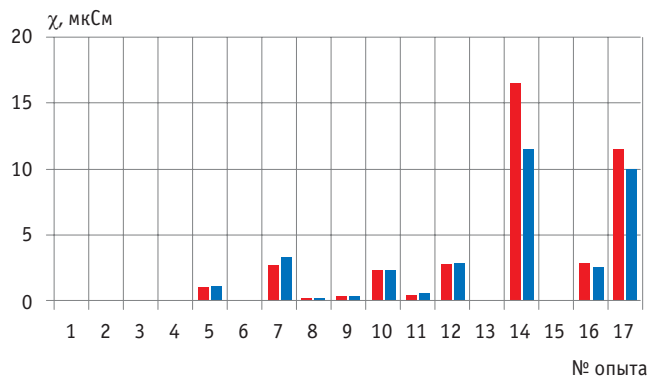


Рис. 7. Удельная поверхностная проводимость:

- $\chi_{MIS}$  — регистрируемая прибором MIS10k;
- $\chi_{AID}$  — регистрируемая аппаратом AID-70C

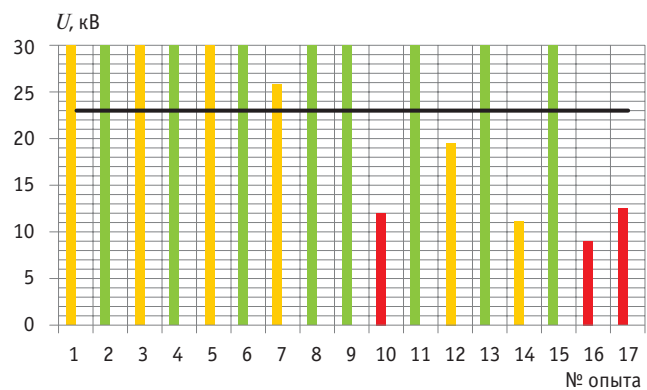


Рис. 8. 50%-е напряжение:

- — образец без защитной оболочки;
- — образец в защитной оболочке;
- — стеклянный изолятор ПС-70Е; ■ — нормативное значение 50%-го напряжения для ВЛ 10 кВ ( $U_{50\%} = 23$  кВ)

## Литература

- Кочунов Ю. А., Грехов А. О. Контактная сеть будущего // РСП Эксперт. 2014. № 12 (68). С. 17–18.
- Устройство крепления проводов линии электропередачи к опоре / Б. А. Аржанников, А. Н. Аминев, Ю. А. Кочунов : пат. на полезную модель 133360 Рос. Федерация. № 2013129108/07 ; заявл. 25.06.13 ; опубл. 10.10.13, Бюл. № 28.
- Кочунов Ю. А. Применение композитных материалов для изготовления поддерживающих конструкций линий продольного электроснабжения // Транспорт Урала. 2014. № 1 (40). С. 76–80. ISSN 1815–9400.
- Кочунов Ю. А. Аналитическое определение прочности стеклопластикового кронштейна проводов для линий продольного электроснабжения // Транспорт Урала. 2014. № 3 (43). С. 102–108. ISSN 1815–9400.
- Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : 7-е изд. М. : Минэнерго, 2002. 330 с.

## References

- Kochunov Yu. A., Grekhov A. O. Kontaktnaya set budushchego [Catenary of the future] // RSP Ekspert. 2014. № 12 (68). S. 17–18.
- Ustroystvo krepneniya provodov liniy elektroperedachi k opore [Device for wire fixing to the power line support] / B. A. Arzhannikov, A. N. Aminev, Yu. A. Kochunov : pat. na poleznuyu model 133360 Ros. Federatsiya. № 2013129108/07 ; zayavl. 25.06.13 ; opubl. 10.10.13, Byul. № 28.
- Kochunov Yu. A. Primeneniye kompozitnykh materialov dlya izgotovleniya podderzhivayushchikh konstruktsiy liniy prodolnogo elektrosnabzheniya [Application of composite materials for manufacturing support structures of supporting structures of longitudinal power supply lines] // Transport Urala. 2014. № 1 (40). S. 76–80. ISSN 1815-9400.
- Kochunov Yu. A. Analiticheskoye opredeleniye prochnosti stekloplastikovogo kronshteyna provodov dlya liniy prodolnogo elektrosnabzheniya [Analysis of the strength of glass-fiber wire bracket for longitudinal power lines] // Transport Urala. 2014. № 3 (43). S. 102–108. ISSN 1815-9400.
- Pravila ustroystva elektroustanovok (PUE) : 7-e izd. [Electrical installations code (EIC) : 7th ed.]. M. : Minenergo, 2002. 330 s.
- GOST 10390–86. Elektrooborudovaniye na napryazheniye svyshe 3 kV. Metody ispytaniy vneshney izolatsii v zagryaznyonnom sostoyanii [Electrical

6. ГОСТ 10390–86. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии. М. : Изд-во стандартов, 1987. 12 с.
  7. СТО 56947007-29.240.144–2013. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии / Департамент технологического развития и инноваций ОАО «ФСК ЕЭС». М., 2013. 31 с.
  8. ГОСТ Р52082–2003. Изоляторы полимерные опорные наружной установки на напряжение 6–220 кВ. Общие технические условия. М. : Изд-во стандартов, 2003. 43 с.
  9. РД 34.51.503–93. Инструкция по эксплуатации электроустановок в районах с загрязненной атмосферой / Департамент науки и техники РАО «ЕЭС России». М., 1994. 42 с.
- equipment for voltages 3 kV and higher. Test methods of electric strength of external insulation in conditions of contamination]. М. : Izd-vo standartov, 1987. 12 s.
  7. STO 56947007-29.240.144-2013. Elektrooborudovaniye na napryazheniye svyshe 3 kV. Metody ispytaniy vneshney izolyatsii v zagryaznyonnom sostoyanii [Electrical equipment for voltages 3 kV and higher. Test methods of electric strength of external insulation in conditions of contamination] / Departament tekhnologicheskogo razvitiya i innovatsiy OAO "FSK YeES". М., 2013. 31 s.
  8. GOST R 52082–2003. Izolyatory polimernyye opornyye naruzhnoy ustanovki na napryazheniye 6–220 kV. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Support polymeric outdoor insulators for voltage 6–220 kV. General specifications]. М. : Izd-vo standartov, 2003. 43 s.
  9. RD 34.51.503-93. Instruksiya po ekspluatatsii elektroustanovok v rayonakh s zagryaznyonnoy atmosferoy [Operating manual for electrical installations in the areas with polluted atmosphere] / Departament nauki i tekhniki RAO "YeES Rossii". М., 1994. 42 s.