

Об элементах конструкции полимерных изоляторов контактной сети

А. М. ЛУКЬЯНОВ, А. А. ЛУКЬЯНОВА

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)), Москва, 127994, Россия

Аннотация. Высокая загруженность электрифицированных линий заставляет повышать требования к надежности и ремонтнопригодности устройств энергоснабжения. Изоляторы являются ответственным элементом контактной сети, повышению их характеристик — электрической и механической прочности уделяется большое внимание. Общеизвестны достоинства полимерных изоляторов по сравнению с традиционными из фарфора и стекла: технологичность, малая масса, компактность, простота монтажа и транспортировки, высокая механическая прочность, стойкость к ударным воздействиям.

В статье приведены результаты комплексных исследований, выполненных МИИТ, электрофизических характеристик стеклопластиковых стержней и брусков из АГ-4С, которые использовались в разработанных полимерных конструкциях контактной сети. Даны рекомендации по обслуживанию стеклопластиковых стержней и брусков из АГ-4С и их инженерному сопровождению. Вопросы механической прочности полимерных изоляторов контактной сети освещены достаточно полно, поэтому в этой статье предложены основные принципы расчета их электрической прочности. Кратко представлены основные требования к современным полимерным изоляторам и особенности их конструкций: подвесных, натяжных, консольных, фиксаторных и опорных.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; контактная сеть; полимерные изоляторы; типы конструкций; надежность; техническое обслуживание

Введение. Изоляторы — один из ответственных элементов контактной сети электрифицированного транспорта и воздушных линий электропередачи — должны обладать высокой электрической и механической прочностью. Их повреждение может привести к снятию напряжения и прекращению подачи электрической энергии. От качества изоляторов в значительной мере зависит эксплуатационная надежность контактной сети и распределительных устройств подстанций.

До начала 2000-х гг. в качестве материалов для изоляторов контактной сети электрифицированных железных дорог наиболее широкое применение имели фарфор и стекло. Одним из перспективных направлений технического перевооружения и существенного повышения уровня прогресса на железнодорожном транспорте является создание новых полимерных конструкций контактной сети [1, 2].

Полимерные конструкции позволяют повысить безопасность при работах на контактной сети под напряжением, продлить срок службы и улучшить архитектуру опорных конструкций сети. Во многих случаях их использование открывает относительно простые и недорогие пути совершенствования контактной сети, способствует решению важнейших задач по увеличению скорости движения и веса поездов и, соответственно, объемов перевозочной работы [3, 4, 5]. Срок службы полимерных изолирующих конструкций должен быть не менее 25 лет; он определяется характеристиками материалов, из которых изоляторы изготавливают [1, 6, 7].

Вероятность безотказной работы $P(t)$ полимерных изолирующих конструкций контактной сети должна быть не менее значения, определяемого из выражения

$$P(t) = 1 - 0,0003t, \quad (1)$$

где t — время с начала эксплуатации изолирующих конструкций, лет; 0,0003 — коэффициент, характеризующий годовую повреждаемость изолирующих конструкций контактной сети, 1/год.

Этапы механического расчета полимерных изоляторов контактной сети изложены в [8, 9, 10, 11]. Исследованиям подверглись образцы на полиэфирном, эпоксидно-полиэфирном (содержание смол марок ЭД и ПН 1:2) и эпоксидном связующих. Арматура стеклопластиковых стержней представляет собой стекложгут — стекло алюмоборосиликатного состава с замасливателем № 289. Содержание стекла в композите по массе составляет 70 %.

В [7, 12, 13] проанализировано напряженное соединение зоны стыка «стеклопластиковый стержень—оконцеватель». Определены оптимальные размеры клееобъемного соединения изолятора с учетом вязкоупругих свойств клея. Приведены результаты испытаний полимерных изоляторов контактной сети в интервале изменения температур от -600 до $+120$ °С. Дана оценка долговечности натяжных (подвесных), фиксаторных, опорных и консольных полимерных изоляторов на основе принципа температурно-временной аналогии.

Установлено, что в качестве нагрузки, при которой обеспечивается надежная работа полимерного изолятора на протяжении 30 лет, может быть применена

нагрузка для натяжных изоляторов, составляющая не более 40 % от разрушающей, для фиксаторных и консольных не более 45 и 50 % соответственно.

В этих же источниках указано, что коэффициент запаса механической прочности изолятора по отношению к нормированной разрушающей силе должен быть не менее 5 при средней эксплуатационной нагрузке в контактной сети и 2,7 — при наибольшей рабочей нагрузке.

Цель этой работы — предложить основные принципы расчета электрической прочности полимерных изоляторов контактной сети.

До сегодняшнего дня расчет электрической прочности полимерных изоляторов контактной сети не был освещен в литературных источниках.

По критериям надежности контактная сеть электрифицированного железнодорожного транспорта относится к первой группе, т. е. к устройствам, не имеющим резерва, повреждения на которых, как правило, приводят к прекращению или ограничению движения поездов [1, 2, 5, 14].

Для обеспечения надежной работы полимерных изоляторов контактной сети необходимо правильно осуществить выбор условий, при которых воздействующая напряженность электрического поля не превосходила бы допускаемых или предельных значений.

В [5, 11, 15] освещены этапы расчета основных размеров изолирующей части изолятора: длины пути тока утечки L ; разрядных и изоляционных расстояний L_p , H ; диаметров ребер D и стержня d ; межреберного расстояния b (рис. 1).

Расчет длины изоляционной части H полимерных изоляторов производится по условиям обеспечения трекингостойкости, т. е.

$$L, H \geq \lambda_t U k_n, \quad (2)$$

где λ_t — удельная (эффективная) длина пути тока утечки для полимерных изоляторов контактной сети (см/кВ); U — наибольшее рабочее напряжение, кВ; k_n — коэффициент эффективности использования длины пути тока утечки. Для гладкостержневых изоляторов $k_n = 1$.

Значения λ_t приведены в табл. 1 для районов со степенью загрязнения атмосферы до IV, в скобках даны значения для районов со степенью загрязнения атмосферы V–VII.

В связи с высокой стоимостью полимерных материалов снижение материалоемкости полимерных изоляторов является определяющим фактором.

Одной из конструктивных мер снижения материалоемкости является придание оптимальной формы ребру при его наименьшей толщине, которая позволяла бы увеличить межреберное расстояние при неизменном его вылете. Это, как указывается в [10, 15, 16], положительно сказывается на электрической прочности изолятора при его загрязненном состоянии.

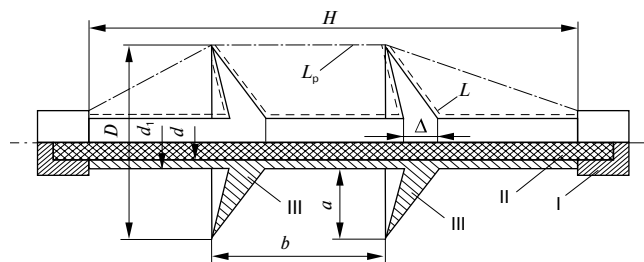


Рис. 1. Конструкция полимерного изолятора [2]:

I — металлический оконцеватель; II — стеклопластиковый стержень; III — защитное покрытие из полимерного материала; L — длина пути тока утечки; L_p , H — разрядные и изоляционные расстояния соответственно; D — наружный диаметр ребер изолятора; d — диаметр стеклопластикового стержня; d_1 — диаметр стержня с покрытием; a — вылет ребра; b — межреберное расстояние; Δ — толщина ребра

Fig. 1. Polymer insulator design [2]:

I — metal end piece; II — fiberglass rod; III — protective coating made of polymeric material; L — path length of the current leakage; L_p , H — discharge and isolation distances, respectively; D — outer diameter of the sheds of the insulator; d — diameter of the fiberglass rod; d_1 — diameter of the coated rod; a — shed overhang; b — intercostal distance; Δ — shed thickness

Таблица 1

Удельная длина пути тока утечки для полимерных изоляторов контактной сети (см/кВ) [2, 6, 16]

Table 1

Specific path length of current leakage for polymer insulators of the contact network (cm/kV) [2, 6, 16]

Номинальное напряжение U_n , кВ	Фторопластовая трубка или циклоалифатическая смола	Полиэтиленовый чехол	Кремнийорганическая резина
3,3	10 (12,1)	15 (18)	10 (12,1)
27	2,5 (3,3–4,0)	3,0 (3,5–4,3)	2,5 (3,3–4,0)
35	2,4 (3,2–3,8)	3,5 (3,6–4,2)	2,43 (3,2–4,8)
110	2,2 (2,8–3,5)	—	2,41 (3,0–3,50)

Наилучшими показателями в отношении электрической прочности в загрязненном и увлажненном состоянии полимерного изолятора обладает коническая форма ребра.

При выборе толщины ребра основным требованием является удовлетворение условию непробиваемости, т. е. при всех видах электрического воздействия разряд должен развиваться по его поверхности.

На рис. 2 показано формирование разряда грозового импульса на поверхности полимерного изолятора контактной сети, где отчетливо видно, что электрическая прочность полимерных изоляторов, как и для фарфоровых и стеклянных, определяется сухоразрядным расстоянием, представляющим собой кратчайшее расстояние по воздуху между металлическими оконцевателями.

Экспериментально определена толщина ребра Δ для изоляторов контактной сети из кремнийорганической резины в зависимости от его вылета.

Эта зависимость имеет вид

$$\Delta = 0,007a^{1,73}; \quad (3)$$

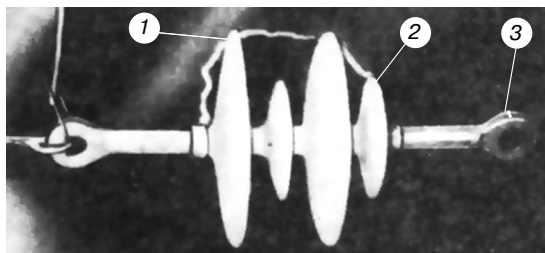


Рис. 2. Разряд грозового импульса на поверхности полимерного изолятора:

- 1 — большое ребро полимерного изолятора, диаметр 230 мм;
2 — малое ребро полимерного изолятора, диаметр 110 (130) мм;
3 — металлический оконцеватель

Fig. 2. Discharge of a lightning impulse on the surface of a polymer insulator:

- 1 — large shed of a polymer insulator, diameter 230 mm;
2 — small shed of the polymer insulator, diameter 110 (130) mm;
3 — metal end piece

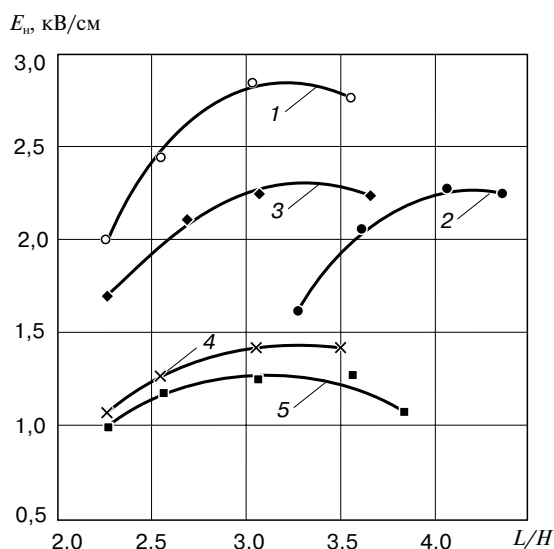


Рис. 3. Зависимость изменения средней разрядной напряженности E_n от отношения L/H :

- 1, 4 — изоляторы с $d=26$ мм и $D=108$ мм при загрязненности, равной 4 и 20 мкСм, соответственно; 2 — изолятор с $d=30$ мм и $D=230$ мм при загрязненности, равной 4 мкСм; 3, 5 — изоляторы с $d=30$ мм и $D=130$ мм при загрязненности, равной 4 и 20 мкСм, соответственно

Fig. 3. Dependence of the change in the average discharge intensity E_n on the L/H ratio:

- 1, 4 — insulators with $d=26$ mm and $D=108$ mm with contamination equal to 4 and 20 μS , respectively; 2 — insulator with $d=30$ mm and $D=230$ mm with contamination equal to 4 μS ; 3, 5 — insulators with $d=30$ mm and $D=130$ mm with contamination equal to 4 and 20 μS , respectively

при грозовом импульсе

$$\Delta = 0,009a^{1,25}. \quad (4)$$

При конической форме ребра для изоляторов контактной сети угол α между верхней и нижней поверхностями ребра может быть определен из выражения $\Delta = a \operatorname{tg} \alpha$.

Объединив зависимости для Δ и подставив их в формулу (3), получим

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,007a^{0,73}. \quad (5)$$

Отношение длины пути тока утечки изолятора к длине изоляционного расстояния L/H является важнейшим параметром, определяющим его удельные разрядные характеристики. Зависимость разрядных напряженностей E_n от L/H дана на рис. 3.

Она показывает, что каждой конструкции полимерного изолятора контактной сети соответствует свое оптимальное отношение L/H . Для полимерных изоляторов это отношение не должно превышать четырех единиц.

Увеличение длины пути тока утечки в некоторых случаях не только не эффективно, но и приводит к уменьшению разрядных напряжений за счет шунтирования части длины пути тока утечки электрической дугой в межреберном пространстве. Отсюда следует, что для обеспечения высокой электрической прочности полимерных изоляторов необходимо добиваться оптимального соотношения между вылетом ребра a и межреберным расстоянием b [15, 17, 18].

Экспериментально установлено, что оптимальным отношением для полимерных изоляторов контактной сети является отношение a/b , равное 1,1–1,45.

Влияние диаметра стеклопластикового стержня изолятора на его электрическую прочность соответствует значениям отношения межреберного расстояния к диаметру стержня (b/d_1), равного 0,55–0,75, отношение D/d_1 не должно превышать восьми единиц (рис. 1).

На основании проведенных экспериментальных исследований были разработаны формы ребер полимерных изоляторов контактной сети (рис. 4, 5).

Для стабильности и увеличения грязеразрядных характеристик полимерных изоляторов контактной сети впоследствии форма ребер была модернизирована группой компаний «Контактная сеть» [19] (рис. 6).

Оценка работоспособности. Кратко остановимся на оценке работоспособности полимерных изоляторов или изолирующих элементов, используемых в устройствах контактной сети. Для достижения этой цели необходимо было правильно выбрать полигоны и узлы контактной сети (табл. 2). Если провести демонтаж изолирующих элементов с одного участка контактной сети, а результаты оценки распространить на всю сеть дорог, можно получить неверную информацию, так как на всей сети дорог они эксплуатируются в различных климатических условиях [15, 16].

С ряда электрифицированных дорог России были демонтированы полимерные изоляторы и изолирующие элементы, а также бруски из стеклопластика АГ-4С. Вся полимерная изоляция по возможности была демонтирована с тех узлов контактной сети, где были самые тяжелые условия эксплуатации. Изолирующие элементы были визуально обследованы и подвержены комплексным испытаниям.

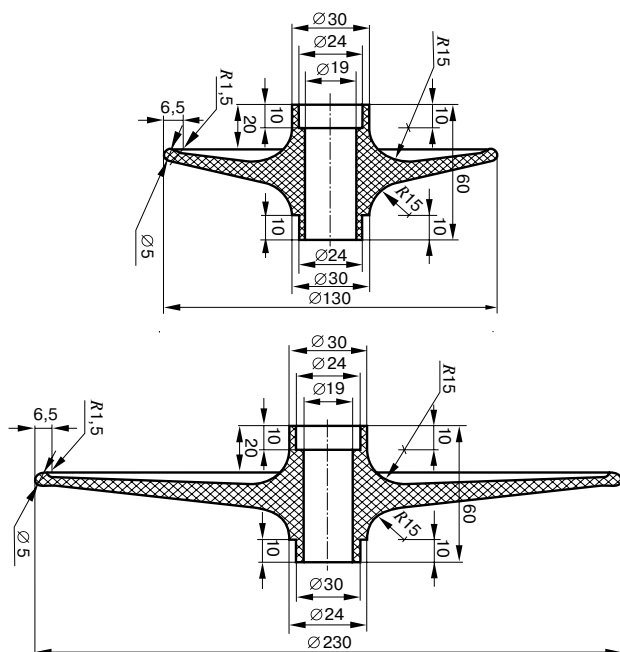


Рис. 4. Форма ребер полимерных подвесных (натяжных) изоляторов контактной сети

Fig. 4. Shape of the sheds of polymer suspension (tension) insulators of the contact network

При испытаниях определяли их изоляционные характеристики, сухоразрядное (С) и мокроразрядное (М) напряжения (рис. 7). Штриховкой показаны области разброса точек. Испытания были проведены на длине изолирующей части, равной 800 мм. Как видно из данных испытаний, полимерные элементы с фторопластовым защитным покрытием практически стабильно сохраняют свои электрические показатели на протяжении длительного времени эксплуатации. Разрядные напряжения у полимерных элементов с полиэтиленовым защитным чехлом ниже, чем у элементов с фторопластовым

Таблица 2

Нормируемая минимальная длина пути тока утечки для полимерных изоляторов контактной сети (ГОСТ Р 55648–2013 «Изоляторы для контактной сети железных дорог. Общие технические условия»)

Table 2

Standardized minimum path length of current leakage for polymer insulators of the overhead contact network (GOST R 55648–2013 “Insulators for contact net of railways. General specifications”)

Вид полимерной изоляции	Минимальная длина пути тока утечки, мм, для районов со СЗА				
	III	IV	V	VI	VII
Ребристая поверхность	800	950	1100	1300	1500
Изоляторы с гладкими полимерными защитными чехлами	750	800	900	1050	1200

СЗА — степень загрязненности атмосферы

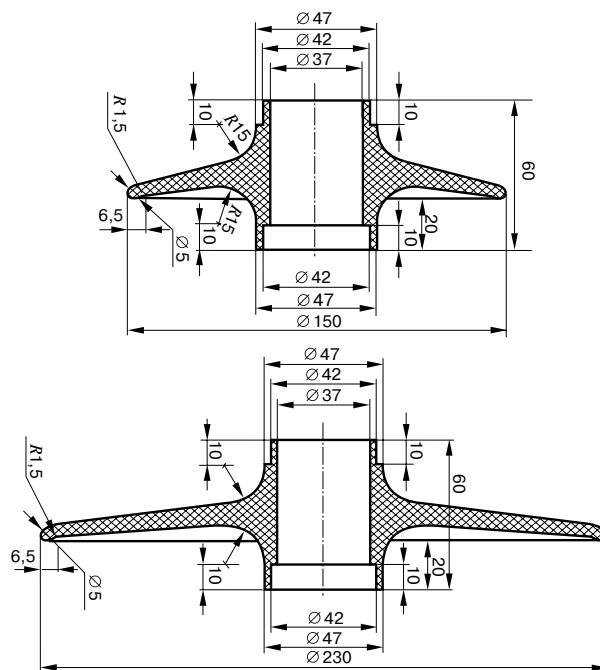


Рис. 5. Форма ребер полимерных фиксаторных, опорных, консольных изоляторов контактной сети

Fig. 5. Shape of the sheds of polymer fixing, supporting, cantilever insulators of the contact network

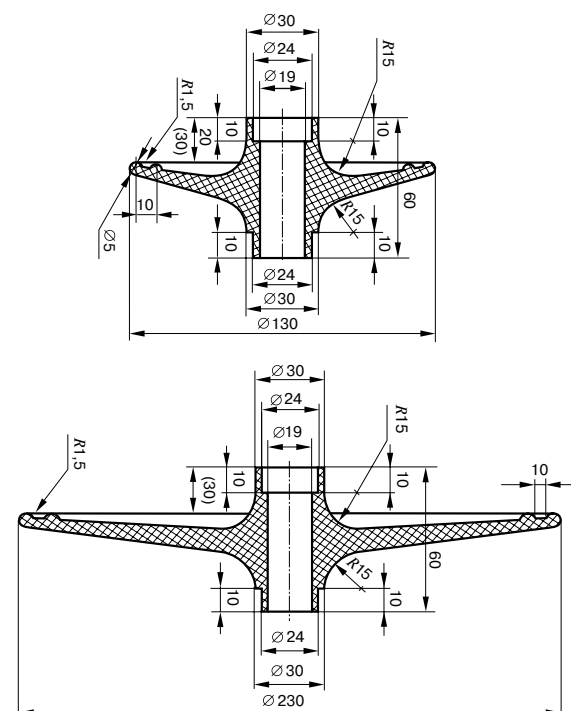


Рис. 6. Форма ребер полимерных изоляторов контактной сети для загрязненных районов

Fig. 6. Shape of the sheds of the polymer insulators of the contact network for contaminated areas

защитным чехлом. С течением времени разрядные характеристики снижаются, что особенно хорошо заметно по зависимости мокроразрядных напряжений.

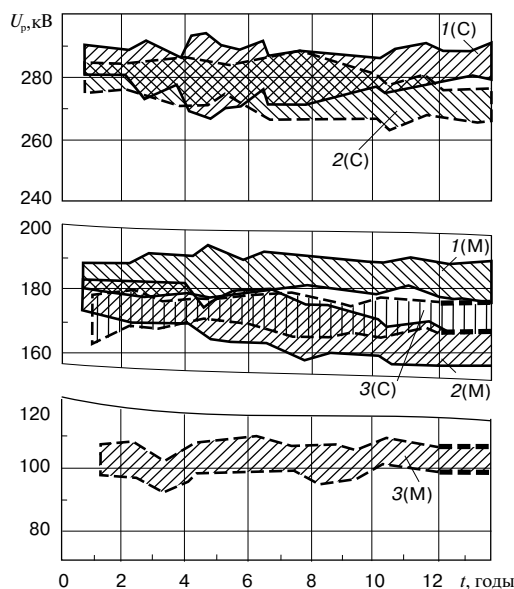


Рис. 7. Зависимость разрядных напряжений U_p полимерных изоляторов контактной сети от длительности их эксплуатации: 1 — для изоляторов с фторопластовым покрытием; 2 — для изоляторов с полиэтиленовым покрытием; 3 — для брусков из материала АГ-4С

Fig. 7. Dependence of the discharge voltages U_p of polymer insulators of the contact network on the duration of their operation: 1 — for insulators with a fluoroplastic coating; 2 — for insulators with polyethylene coating; 3 — for bars made of AG-4S material; C, M — dry discharge and wet discharge voltage. Shaded are areas of scatter points

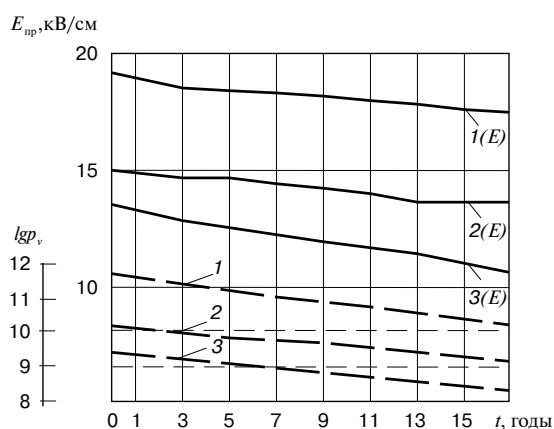


Рис. 8. Зависимость электрической прочности E_{np} и удельного объемного сопротивления $lg p_v$ стеклопластиковых стержней от длительности их эксплуатации в контактной сети: 1, 1(E) — стержни на эпоксиоднополиэфирном связующем, E — электрическая прочность; 2, 2(E) — стержни на полиэфирном связующем; 3, 3(E) — бруски из материала АГ-4С

Fig. 8. Dependence of the dielectric strength E_{np} and the specific volume resistance $lg p_v$ of fiberglass rods on the duration of their operation in the contact network: 1, 1(E) — rods on an epoxy-polyester binder, E — dielectric strength; 2, 2(E) — rods on a polyester binder; 3, 3(E) — bars made of AG-4S material

Разрядные характеристики брусков из материала АГ-4С с течением времени практически не изменяются, что говорит о том, что кремнийорганическое покрытие с вазелином эффективно для этого материала.

Важной характеристикой стеклопластика является его электрическая прочность E_{np} [кВ/см], т. е. пробивное напряжение U_{np} по отношению к толщине его образцов δ

$$E_{np} = U_{np} / \delta. \quad (6)$$

Проведены исследования изменения электрической прочности и удельного объемного сопротивления стеклопластиковых стержней в зависимости от длительности эксплуатации в контактной сети. Данные исследования проведены на образцах, вырезанных из демонтированных изолирующих элементов, при напряжениях промышленной частоты с помощью электродов «цилиндр — плоскость» (рис. 8).

Электрическая прочность стеклопластиковых стержней и брусков из материала АГ-4С в первые пять лет эксплуатации изменяется не очень значительно. Если сравнивать эти зависимости, то можно отметить существующую аналогию между ними, т. е. наличие периодов снижения и стабилизации опытных данных.

Полученная зависимость изменения электрической прочности однонаправленного стеклопластика при воздействии на него механических нагрузок показывает, что надежная работа полимерных изоляторов и изолирующих элементов в устройствах контактной сети будет обеспечена, если механические напряжения в них не будут превышать $0,5\sigma_B$ (σ_B — кратковременный предел прочности стеклопластикового стержня, МПа).

Эксплуатационные характеристики полимерных изоляторов контактной сети, испытанных в РУТ (МИИТ), показали, что вероятность их безотказной работы высока — не ниже, чем у изолирующих элементов (предельное значение — $1,1 \cdot 10^{-7}$). Однако на линиях, где скорость движения поездов достигает 200 км/ч и выше, рекомендуется применять вдвоенные изоляторы.

Полимерные изоляторы, которые в настоящее время используются в устройствах контактной сети России, представлены в [5, 6, 19]. Конструктивные особенности, основные характеристики, особенности эксплуатации современных изоляторов разных типов (подвесные, натяжные, консольные, фиксаторные, опорные) представлены в [6]. В частности, отмечается, что защитная поверхность полимерных изоляторов, как правило, выполняется развитой. Такое конструктивное решение позволяет сохранить строительные габаритные размеры изолирующих конструкций при сохранении удельной длины тока утечки. Для обеспечения необходимой длины пути тока утечки и трекинговостойкости натяжные полимерные стержневые изоляторы могут быть изготовлены как с гладким защитным чехлом, так и с ребристым. Изоляторы с гладким защитным чехлом имеют минимальные поперечные размеры, но большую строительную длину,

ребристые изоляторы, наоборот — минимальную строительную длину, но большие поперечные размеры. Диаметр стеклопластикового стержня натяжных изоляторов выбирают исходя из значения нормированной разрушающей силы [6].

Основным требованием, предъявляемым к полимерным консольным изоляторам, предназначенным для установки в подкосы изолирующих консолей, с механической точки зрения является то, что разрушающая механическая нагрузка при растяжении должна быть не менее 70 кН, при изгибе в плоскости ушка — не менее 5 кН, а разрушающий изгибающий момент — не менее 2,5 кН·м. Для изготовления консольных стержневых изоляторов рекомендуется использовать стеклопластиковые стержни диаметром не менее 35 мм. Конструктивное исполнение защитной оболочки консольных изоляторов идентично защитной оболочке подвесных [5].

Полимерные стержневые фиксаторные изоляторы по конструктивному исполнению изолирующей части аналогичны полимерным консольным. Отличие заключается лишь в том, что используются специальные оконцеватели. Оконцеватели изготавливают из стали, они посажены на стеклопластиковый стержень клееобжимным способом [7].

Полимерные опорные изоляторы контактной сети преимущественно удобны для секционных разъединителей и разрядников. С механической точки зрения основным требованием, предъявляемым к полимерным опорным изоляторам, является то, что разрушающая нагрузка при растяжении (сжатии) должна быть не менее 70 кН, при изгибе — 8 кН, а разрушающий изгибающий момент — не менее 4 кН·м. По конструктивному исполнению изолирующей части эти изоляторы аналогичны полимерным консольным [6].

Заключение. Изложены результаты длительных экспериментальных исследований и эксплуатационных испытаний существующих полимерных изоляторов контактной сети и изолирующих брусков из материала АГ-4С. Получено, что наличие в конструкции изолятора фторопластовых трубок в сочетании с кремнийорганическим вазелином практически решает проблему защиты стеклопластиковых стержней от климатических воздействий и, как следствие, от более интенсивного снижения электрофизических характеристик во времени. Вероятность безотказной работы полимерных изоляторов не ниже, чем у изолирующих элементов контактной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Контактная сеть и воздушные линии: нормативно-техническая документация по эксплуатации контактной сети и высоковольтным линиям / ОАО «РЖД», Департамент электрификации и электроснабжения. М.: Трансиздат, 2014. 568 с.

2. Применение полимерных изоляторов в устройствах контактной сети электрифицированных железных дорог / Ю. И. Горошко [и др.]. М.: Транспорт, 1987. 48 с.

3. Лукьянов А. М., Соломатов В. Н., Яшин Ю. Н. Долговечность полимерных изоляторов контактной сети // Вестник ВНИИЖТ. 1991. № 4. С. 36–39.

4. Лукьянов А. М. Расчет конструкций контактной сети из полимерных материалов // Вестник ВНИИЖТ. 1989. № 2. С. 28–30.

5. Лукьянов А. М., Чепелев Ю. И., Бардин А. Н. Разрабатываем полимерные консоли // Мир транспорта. 2016. Т. 14. № 3. С. 60–71.

6. Лукьянов А. М., Чепелев Ю. Г. Полимерные изоляторы для устройств контактной сети // Мир транспорта. 2016. Т. 14. № 5. С. 56–64.

7. Лукьянов А. М., Чепелев Ю. Г., Лукьянова А. А. Надежность и долговечность полимерных изоляторов контактной сети // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 2. С. 110–117. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-2-110-117>.

8. Лукьянов А. М. Исследование напряженно-деформированного состояния клеевого соединения полимерных натяжных изоляторов // Вестник ВНИИЖТ. 1989. № 5. С. 16–18.

9. Лукьянов А. М., Кручинин Е. В. Математическая модель разрушения соединения «оконцеватель—стеклопластиковый стержень» полимерных изоляторов // Вестник ВНИИЖТ. 1992. № 4. С. 45–47.

10. Janick J. Elektrischer Zugbetrieb // Der Eisenbahningenieur. 2015. No. 1. S. 17–20.

11. Kők nyesi M., Kunz D. Oberleitung Sicit SX — Zulassung und Betriebserfahrung in Ungarn // Elektrische Bahnen. 2013. Vol. 111. No. 6–7. S. 440–444.

12. Потапов В. Д., Лукьянов А. М. Оптимизация параметров клеевого соединения // Проблемы прочности. 1988. № 4. С. 85–89.

13. Устройство для крепления стеклопластикового стержня изолятора контактной сети: пат. 2005635 Рос. Федерация: МПК В 60 М 1/16 / А. М. Лукьянов, В. Б. Осин; патентообладатель Московский ин-т инженеров железнодорожного транспорта. № 4820061/11; заявл. 26.04.1990; опубл. 15.01.1994, Бюл. № 1.

14. Вологин В. А., Соломатов В. Н., Яшин Ю. Н. Полимерные изоляторы с защитными ребрами из кремнийорганических эластомеров // Вестник ВНИИЖТ. 1984. № 2. С. 30–33.

15. Харченко А. Ф. Техника высоких напряжений. Изоляция устройств электроснабжения железных дорог: учеб. пособие. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. 190 с.

16. Электрические изоляторы / А. С. Костюков [и др.]; под ред. А. С. Костюкова. М.: Энергоатомиздат, 2004. 296 с.

17. Tiedao xuebao / Chen Shaokuan [et al.] // Journal China Railway Soe. 2013. Vol. 35. No. 12. P. 37–42.

18. Hofbauer G. Wienerwaldtunnel — Montage der Oberleitung // Elektrische Bahnen. 2013. Vol. 111. No. 6–7. S. 425–429.

19. Группа компаний «Контактная сеть»: каталог. СПб., 2019. 42 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛУКЬЯНОВ Анатолий Михайлович,
д-р техн. наук, профессор

ЛУКЬЯНОВА Анна Александровна,
инженер, ассистент, кафедра «Теоретическая механика»,
ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 30.12.2019 г., принята к публикации 25.08.2020 г.

Для цитирования: Лукьянов А. М., Лукьянова А. А. Об элементах конструкции полимерных изоляторов контактной сети // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 5. С. 310–316. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-310-316>.

About structural elements of polymer insulators of the contact network

A. M. LUK'YANOV, A. A. LUK'YANOVA

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGAOU VO "RUT" (MIIT)), Moscow, 127994, Russia

Abstract. The high load on electrified lines makes tougher the requirements for the reliability and maintainability of power supply devices. Insulators are a critical element of the overhead contact network, and great attention is paid to improving their characteristics — electrical and mechanical strength. Advantages of polymer insulators in comparison with traditional ones made of porcelain and glass are generally recognized: manufacturability, low weight, compactness, ease of installation and transportation, high mechanical strength and shock resistance.

The article presents the results of comprehensive studies of the electrophysical characteristics of fiberglass rods and bars made of AG-4S carried out by the University of Railway Engineers (MIIT), which were used in the developed polymer structures of the contact network. Recommendations are given on the maintenance of fiberglass rods and bars from AG-4S and their engineering support. The issues of the mechanical strength of polymer insulators of the overhead contact network are covered quite fully, therefore, this article offers the basic principles for calculating their electrical strength. The main requirements for modern polymer insulators and design features are briefly presented for each type: suspended, tension, cantilever, fixing and supporting.

Keywords: railway transport; contact network; polymer insulators; types of structures; reliability; maintenance

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-310-316>

REFERENCES

1. *Catenary and overhead lines: regulatory and technical documentation for the operation of overhead and high-voltage lines*. JSC "RZD", Department of Electrification and Power Supply. Moscow, Transizdat Publ., 2014, 568 p.
2. Goroshkov Yu. I., Il'in V. N., Luk'yanov A. M., Chepelev Yu. G. *Use of polymer insulators in the devices of the contact network of electrified railways*. Moscow, Transport Publ., 1987, 48 p.
3. Luk'yanov A. M., Solomatov V. N., Yashin Yu. N. *Dolgovechnost' polimernykh izolyatorov kontaktnoy seti* [Durability of polymer insulators of the contact network]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1991, no. 4, pp. 36–39.
4. Luk'yanov A. M. *Raschet konstruktsiy kontaktnoy seti iz polimernykh materialov* [Calculation of the structures of the contact network from polymeric materials]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1989, no. 2, pp. 28–30.
5. Luk'yanov A. M., Chepelev Yu. I., Bardin A. N. *Razrabatyvaem polimernye konsoli* [Developing polymer consoles]. World of Transport and Transportation Journal, 2016, Vol. 14, no. 3, pp. 60–71.
6. Luk'yanov A. M., Chepelev Yu. G. *Polimernye izolyatory dlya ustroystv kontaktnoy seti* [Polymer insulators for overhead contact network devices]. World of Transport and Transportation Journal, 2016, Vol. 14, no. 5, pp. 56–64.
7. Luk'yanov A. M., Chepelev Yu. G., Luk'yanova A. A. *Nadezhnost' i dolgovechnost' polimernykh izolyatorov kontaktnoy seti*

[Reliability and durability of polymer insulators of the contact network]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 2, pp. 110–117. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-2-110-117>.

8. Luk'yanov A. M. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kleeovogo soedineniya polimernykh natyazhnykh izolyatorov* [Investigation of the stress-strain state of the adhesive connection of polymeric tension insulators]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1989, no. 5, pp. 16–18.

9. Luk'yanov A. M., Kruchinin E. V. *Mathematical model of the destruction of the connection "end terminal—fiberglass rod" of polymer insulators*. Vestnik of the Railway Research Institute, 1992, no. 4, pp. 45–47.

10. Janick J. *Elektrischer Zugbetrieb*. Der Eisenbahningenieur, 2015, no. 1, pp. 17–20.

11. Kökényesi M., Kunz D. *Oberleitung Sica SX—Zulassung und Betriebserfahrung in Ungarn*. Elektrische Bahnen, 2013, Vol. 111, no. 6–7, pp. 440–444.

12. Potapov V. D., Luk'yanov A. M. *Optimization of the parameters of the adhesive connection*. Strength of Materials, 1988, no. 4, pp. 85–89.

13. Luk'yanov A. M., Osin V. B. *Device for fastening a fiberglass rod of an insulator of a contact network*. Patent no. 2005635, publ. January 15, 1994, Bull. no. 1 (in Russ.).

14. Vologin V. A., Solomatov V. N., Yashin Yu. N. *Polymer insulators with protective ribs made of organosilicon elastomers*. Vestnik of the Railway Research Institute, 1984, no. 2, pp. 30–33.

15. Kharchenko A. F. *Technique of high voltages. Isolation of railway power supply devices*. Reference book. Moscow, FGBOU "Educational and methodological center for education in railway transport" Publ., 2013, 190 p.

16. Kostyukov A. S., Minakov N. V., Knyazev V. A. *Electrical insulators*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2004, 296 p.

17. Chen Shaokuan, Wang Xiu-dan, Bai Yun, Liu Hai-dong, Mao Bao-huo. *Tiedao xuebao*. Journal China Railway Soe, 2013, Vol. 35, no. 12, pp. 37–42.

18. Hofbauer G. *Wienerwaldtunnel—Montage der Oberleitung*. Elektrische Bahnen, 2013, Vol. 111, no. 6–7, pp. 425–429.

19. *Group of companies "Contact network"*. Catalogue. St. Petersburg, 2019, 42 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Anatoliy M. LUK'YANOV,
Dr. Sci. (Eng.), Professor

Anna A. LUK'YANOVA,
Engineer, Assistant, Department "Theoretical mechanics",
FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Received 30.12.2019

Accepted 25.08.2020

■ E-mail: mikeskywalker@mail.ru (A. A. Luk'yanova)

For citation: Luk'yanov A. M., Luk'yanova A. A. About structural elements of polymer insulators of the contact network // VNIIZHT Scientific Journal. 2020. 79 (5): 310–316 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-310-316>.