



## Предотвращение гололедообразования при токосяеме



Анатолий КАЛИНИЧЕНКО  
Anatoly Ya. KALINICHENKO

Алексей КОВАЛЕВ  
Alexey A. KOVALEV



Андрей КАРДАПОЛОВ  
Andrey A. KARDAPOLOV

*Калиниченко Анатолий Яковлевич* – доктор технических наук, профессор, заместитель директора Научно-инновационного центра Академии электротехнических наук, Москва, Россия.  
*Ковалев Алексей Анатольевич* – кандидат технических наук, доцент Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия.  
*Кардаполов Андрей Андреевич* – ассистент кафедры УрГУПС, Екатеринбург, Россия.

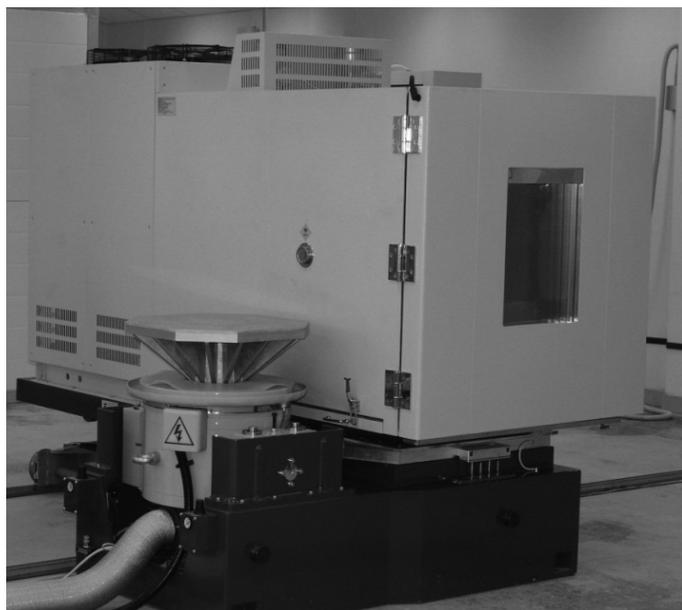
**Суровый климат страны предъявляет жесткие требования ко всем конструкциям эксплуатируемого оборудования на железнодорожном транспорте. К одному из неблагоприятных явлений относится образование гололеда, чреватое увеличением механической нагрузки на элементы конструкций тяговой сети, нарушением электрического контакта между проводом и токоприемником с последующим появлением электрической дуги и перегором контактных проводов. Борьба с гололедом на проводах контактной сети и линий электропередач производится электрическими, химическими и механическими способами. Совершенствованием борьбы с гололедом с переменным успехом занимаются на протяжении всего времени электрификации железных дорог многие ученые. На основе проведенных испытаний авторами предлагается применение специального долговечного покрытия, препятствующего образованию гололеда.**

*Ключевые слова:* железная дорога, городской электрический транспорт, гололед, контактный провод, электростатический метод, алюмосиликат.

**Б**езопасность движения железнодорожных поездов и эксплуатационная надежность тягового электрооборудования определяются во многом состоянием контактной сети, по техническим и экономическим причинам сооружаемой без резервирования. Наибольшее количество отказов происходит чаще всего из-за недостатков в эксплуатационной работе, отклонениях в технических параметрах элементов системы. Однако существенно то, что значительная часть нарушений связана с внешними факторами – условиями эксплуатации и окружающей средой.

Гололед, будучи одним из таких факторов, значительно повышает нагрузку на провода и опоры, особенно в тех случаях, когда он сопровождается сильным ветром. Кроме того, гололед на контактном проводе может создать немалые затруднения в процессе токосяема, вызывая образование электрической дуги в точке соприкосновения «полоз токоприемника – контактный провод», которая при определенных обстоятельствах может приводить и к перегоранию контактного провода.

В наиболее опасном с точки зрения гололедообразования регионе проходит Северо-Кавказская железная дорога. Ана-



**Рис. 1. Климатическая камера типа THV710.**

**Рис. 1. Climate chamber THV710 type.**

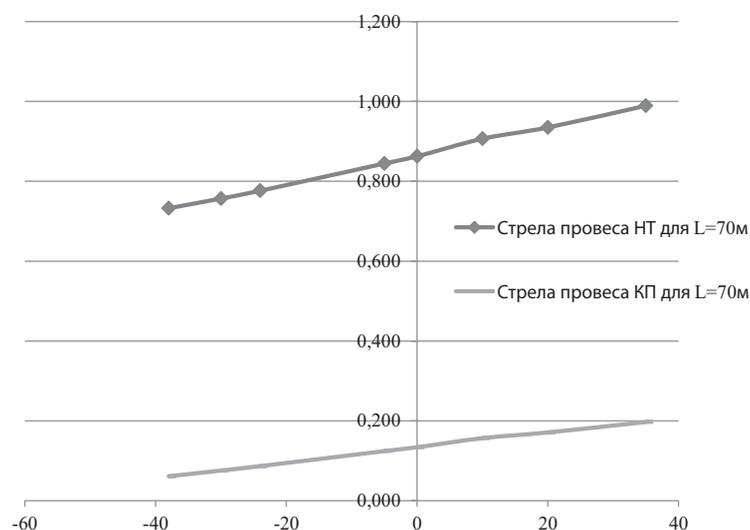
лиз показывает, что 42% электрифицированных железных дорог располагается в опасной зоне. И по сути, около 19 тыс. км — это протяженность контактной сети с наиболее сильным воздействием гололеда.

В ходе исследований проведен анализ публикаций, который показал, что проблема борьбы с гололедом была и остается актуальной. Обращает на себя внимание и тот факт, что предложено большое количество методов профилактики и борьбы с гололедом на проводах, но при этом каждый из них имеет свои недостатки.

К примеру, гололедоочистительное устройство типа НОГ-6 для обработки про-

водов контактной сети с движущимся приспособлением, рассчитанным на механическое удаление гололеда с контактного провода [2]. Недостатком его является низкая производительность, возможность повреждения и деформации проводов в процессе снятия льда. Любое повреждение может привести к задержке поездов и большим экономическим издержкам. Такие же недостатки присущи барабанам с пневмотурбинами [3].

Применяется способ удаления гололеда с проводов путем нанесения на них специальной смазки [4]. Процесс ее нанесения характеризуется большой трудоемкостью, при этом приходится прерывать движение



**Рис. 2. Стрелы провеса проводов контактной подвески.**

**Рис. 2. Slacks of catenary.**





178

Таблица 1/ Table 1

**Технические характеристики покрытия**  
**Technical features of a coating**

Наименование характеристики <i>Feature</i>	Единица измерения <i>Measurement unit</i>	Величина <i>Figure</i>
Теплопроводность при 20°С, не более <i>Thermal conductivity at 20°С, no more than</i>	Вт/м °С <i>W/m °С</i>	0,001
Плотность в сухом виде <i>Density in a dry state</i>	кг/м <sup>3</sup> <i>kg/m<sup>3</sup></i>	380–410
Плотность в жидком виде <i>Density in a liquid state</i>	кг/м <sup>3</sup> <i>kg/m<sup>3</sup></i>	470–590
Коэффициент паропроницаемости <i>Coefficient of permeability</i>	мг/м ч Па <i>mg / m h Pa</i>	0,0014
Удельная теплоемкость <i>Specific heat</i>	кДж/кг °С <i>kJ / kg °С</i>	1,08
Термостойкость при температуре 260°С <i>Thermal stability at 260°С</i>	Отсутствие трещин, вздутий и расслоений <i>No cracks, steam blows and laminations</i>	
Водопоглощение <i>Water absorption</i>	г/см <sup>3</sup> <i>g/cm<sup>3</sup></i>	0,03
Относительное удлинение при разрыве, не менее <i>Percentage elongation, no less than</i>	%	8,0
Относительное удлинение при разрыве после ускоренного старения, 10 лет, не менее <i>Percentage elongation after accelerated aging, 10 years, no less than</i>	%	8,0
Линейное удлинение <i>Linear elongation</i>	%	65
Прочность сцепления при отрыве, не менее: <i>Adhesion strength in isolation, no less than:</i> с металлом/ <i>with metal</i> с бетоном/ <i>with concrete</i> с деревом/ <i>with wood</i>	Мпа <i>mPa</i>	1,53 1,84 1,84
Прочность при растяжении, не менее: <i>Tensile strength, no less than:</i> после нанесения/ <i>after application</i> после ускоренного старения (10) лет/ <i>after accelerated aging, 10 years</i>	Мпа <i>mPa</i>	2,0 3,0
Прочность при ударе <i>Impact strength</i>	Кг*см <i>kg*cm</i>	50
Белизна, % диффузного отражения: <i>Whiteness, % of diffuse reflection:</i> после нанесения/ <i>after application</i> через 10 лет/ <i>after 10 years</i>	%	93,0 90,0
Температура транспортировки и хранения <i>Transport and storage temperature</i>	°С	+1
Температура поверхности при нанесении материала <i>Surface temperature by material's application</i>	°С	от/ <i>from</i> +1 до/ <i>to</i> +150
Температура при эксплуатации <i>Temperature by operation</i>	°С	от/ <i>from</i> – 47 до/ <i>to</i> +260

поездов. Смазку необходимо делать заранее, до образования гололеда, она недолговечна, легко снимается с проводов полозьями токоприемников, поэтому в течение всего гололедного сезона нуждается в периодическом обновлении.

Обобщая отмеченные факты, можно выделить следующие общие недостатки методов:

- опасность пережигания контактных проводов;
- высокий расход электроэнергии;
- низкая производительность;
- неполное удаление гололеда;
- опасность повреждения и деформации контактных проводов;
- нарушение графика движения поездов.

### ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В 2012 году по заказу академии электротехнических наук в Уральском государственном университете путей сообщения в научной лаборатории «Системы автоматизированного проектирования контактной сети» были проведены испытания свойств специализированного защитного покрытия, имеющего в своей основе алюмосиликат. Цель исследования – определить возможности применения покрытия

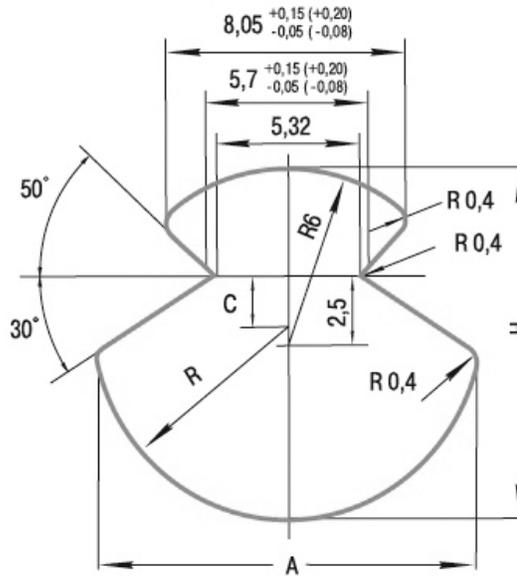


Рис. 3. Размеры контактного провода МФ-100.  
Pic.3. Dimensions of trolley line MF-100.

для защиты проводов контактной сети и линий электропередач [5, 6]. Эксперимент проводился с использованием климатической камеры типа THV710 (рис. 1).

В качестве объекта испытаний были взяты по два образца длиной 1 м провода марки МФ-100, использующихся как кон-

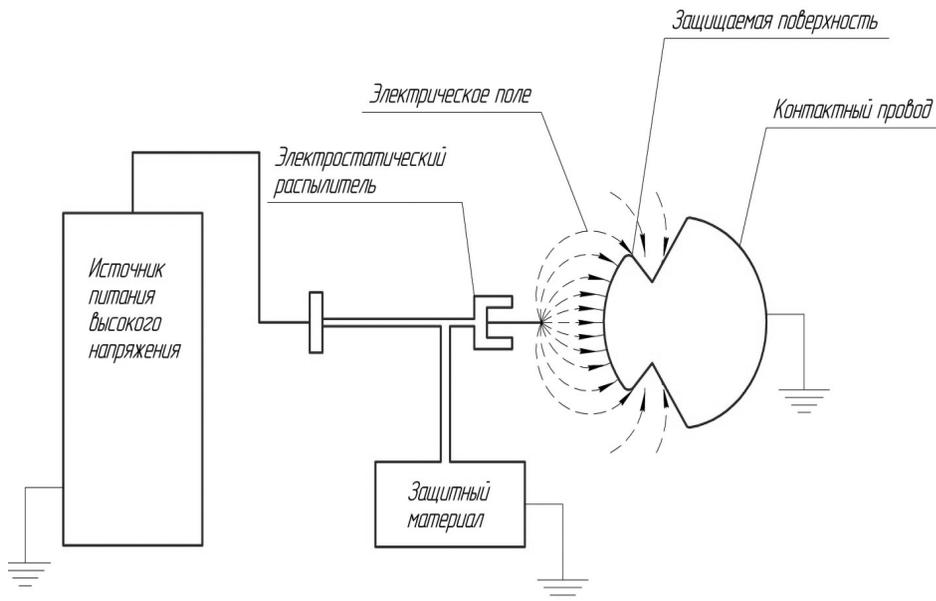


Рис. 4. Схема установки нанесения защитного покрытия с применением электростатического метода.

Pic. 4. Installation diagram for protective coating using electrostatic method.





тактные (КП) и по два образца проводов марки ПБСМ-70, А-95 и А-120, которые применяются и на контактной сети (в виде несущих тросов), и на ЛЭП. Они обрабатывались исследуемым материалом (таблица 1). «Покраска» проводов марки МФ-100 осуществлялась лишь сверху, где не происходит токосъем, поскольку алюмосиликат обладает диэлектрическими свойствами. Вес каждого образца был заранее определен.

В камере *ТНУ710* при повышенной влажности проводили многократное понижение и повышение температуры от  $+80$  до  $-70^{\circ}\text{C}$ . В конце эксперимента все провода вновь были взвешены.

В результате при лабораторных испытаниях определено, что нанесенное покрытие:

- предотвратило образование гололеда на проводах контактной сети и ЛЭП;
- сохранило свойства высокой прочности и эластичности.

На проводах, не обработанных материалом, наблюдалось наличие изморози и наледи.

В общем виде нагрузка от веса гололеда на один метр длины провода или троса при цилиндрической форме его отложения определяется по формуле:

$$g_{zi} = 27,7 \cdot b_z \cdot (d_i + b_z) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $b_z$  – толщина стенки гололеда, м;  $d_i$  – диаметр провода, м.

Расчетное значение толщины стенки гололеда:

$$b_{zi} = k_z \cdot b^n, \quad (2)$$

где  $k_z$  – коэффициент, учитывающий действительный диаметр провода, высоту его подвешивания и рекомендации по учету местных условий;  $b^n$  – толщина гололедного слоя, м.

Так как с использованием специального покрытия образование гололеда будет предотвращено, то при расчетах толщиной стенки гололеда можно будет пренебречь, как и весом гололеда на струнах.

Стрелы провеса проводов контактной подвески для режима «гололед+ветер» показаны на рис. 2.

В случае отсутствия гололеда значение стрелы при понижении температуры будет изменяться незначительно.

## ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА

В продолжение эксперимента в марте 2013 года исследуемый материал был испытан в реальных условиях на станции «Осенцы» Кунгурской дистанции электрооборудования. Длина участка испытаний составила 2200 метров (пути № 6, № 7 парка приема). Температура окружающей среды: днем  $+6^{\circ}\text{C} \dots +8^{\circ}\text{C}$ , ночью  $-3^{\circ}\text{C} \dots -5^{\circ}\text{C}$ .

Выбор станции связан с тем, что на протяжении предшествующих пяти лет имели место проблемы гололедообразования в зимнее время, ибо на ней проводятся мероприятия по «отпарке» вагонов.

Для предотвращения нарушений графика движения поездов обработку контактных проводов вели в запланированное «технологическое окно» по 6, 7 пути парка приема, в течение 2 часов параллельно с цеховой диагностикой контактной подвески.

Нанесение предлагаемого покрытия на контактный провод выполнялось с автоматрисы типа АДМ, со скоростью 5 км/ч, периодическими остановками, снятием напряжения и заземлением.

Предлагаемое покрытие наносится только на верхнюю часть КП, поэтому исходя из геометрических расчетов вычтем из полного периметра контактного провода длину дуги нижней части (рис. 3).

где  $R$  – радиус дуги;  $n$  – центральный угол дуги в градусах.

При периметре поперечного сечения контактного провода  $P = 39,155 \cdot 10^{-3}$  м периметр покрываемой поверхности составит  $18,74 \cdot 10^{-3}$ .

Развернутая длина станции «Осенцы» – 15 км, и согласно этому площадь покрываемой поверхности контактного провода будет равна

$$S = P \cdot L = 281,17 \text{ м}^2.$$

Следующим этапом определяется объем расходуемого материала при толщине покрытия 1 мм:

$$V = S \cdot h = 0,281 \text{ м}^3.$$

Отсюда получаем, что для покрытия поверхности контактного провода длиной 15 км при толщине материала 1 мм потребуется 281 литр материала.

Несмотря на кажущийся большой расход материала, стоит отметить, что подобные мероприятия достаточно будет

проводить 1 раз в 15 лет, поскольку одним из его свойств является долговечность.

Использование метода защиты системы токосъема с сохранением заданного графика движения поездов позволит избежать:

- расходов на электроэнергию (плавка гололеда);
- затрат на восстановительные работы.

## МЕТОДИКА НАНЕСЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Для автоматизации процесса нанесения покрытия предлагается применить метод электростатического распыления [7].

На рис. 4 представлены основные компоненты требуемого оборудования, которые включают:

- распылительный пистолет или распылитель;
- частицы распыленного вещества (покрытия), попадающие из пистолета на рабочую поверхность;
- ионизационную иглу, расположенную внутри потока вещества или вблизи него;
- рабочую (покрываемую) поверхность;

Как показано на рис. 4, электрическое поле, создаваемое между ионизирующей иглой и заземленным объектом, помогает заряженным частицам двигаться к заземленной рабочей поверхности. Сила электростатического поля способствует тому, что больший процент заряженных частиц распыляемого вещества достигает объекта, нежели пролетает мимо или сметается потоком окружающего воздуха. Другими словами, эффективность переноса вещества в процессе распыления улучшается с помощью электростатического эффекта, так как электрическое поле направляет большее количество частиц к рабочей поверхности.

Эффект электростатики можно использовать в любом распылительном процессе для улучшения переноса вещества, то есть добиться нанесения защитного покрытия на любую конструкцию контактной сети. Однако добавление электростатики не делает процесс распыления эффективным на 100%.

Наиболее рационально проводить работу по нанесению предлагаемого покрытия

в весенне-летний период, при температуре окружающей среды от 0 до 25<sup>0</sup>С, когда происходит наилучшая сцепляемость защитного покрытия и поверхности конструкции.

Предлагаемый материал пригоден не только для проводов контактной сети и ЛЭП, но и других конструкций, подверженных влиянию внешней среды, в том числе и на объектах городского электрического транспорта.

## ВЫВОДЫ

Основываясь на результатах проведенного исследования, можно заключить, что предложенный метод защиты проводов контактной сети от гололедообразования кардинально меняет существующие подходы к борьбе с этим явлением, позволяет сохранять график движения поездов, существенно сокращает поломки конструкций контактной сети в период гололеда и повышает эксплуатационную надежность системы с нанесенным покрытием на 10–15 лет, облегчает необходимый контроль за состоянием электроснабжения, снижает риски аварийных ситуаций на объектах электротранспорта.

Учитывая климатические особенности регионов России, целесообразно направить усилия на разработку кадастра гололедообразования на железнодорожных конструкциях, влияющего на их несущую способность, определить первоочередные участки, требующие применения ограничивающих материалов. Это даст возможность заранее адаптировать свойства используемых защитных средств под регион эксплуатации, а также определить оптимальную толщину слоя алюмосиликата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марквардт К. Г. Контактная сеть. – М.: Транспорт, 1994. – 335 с.
2. Ковалев А. А., Кардаполов А. А., Несмелов Ф. С. Разработка технологии борьбы с гололедообразованием на контактных проводах промышленного железнодорожного транспорта // Промышленная энергетика. – 2011. – № 10. – С. 26–31.
3. Калининченко А. Я., Розенберг Е. Н. Применение современных микроэлектронных информационно-управляющих систем на транспорте в сочетании с высокими технологиями – главные механизмы повышения безопасности // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2004. – № 1. – С. 45–47.
4. Ковалев А. А., Кардаполов А. А. Применение высокотехнологичного покрытия для защиты системы токосъема в условиях воздействия внешней среды // Инновационный транспорт. – 2012. – № 2. – С. 8–12. ●

