

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Постановлением Правительства РФ от 11.07.2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации» Единая энергетическая система России была признана общенациональным достоянием и гарантией энергетической безопасности государства. Общая протяженность линий электропередачи в России более 2,5 млн. км, в том числе 447 000 км – напряжением свыше 110 кВ. Именно они объединяют регионы страны в единую национальную энергетическую сеть и являются одним из элементов гарантии целостности государства.

Передача электроэнергии от электростанции к потребителям – одна из важнейших задач энергетики. Электроэнергия передается преимущественно по воздушным линиям электропередачи (ЛЭП). Необходимость передачи ее на расстояние обусловлена тем, что электроэнергия вырабатывается крупными электростанциями с мощными агрегатами, а потребляется сравнительно маломощными электроприемниками, распределенными на значительной территории. Часто такие электростанции оказываются существенно удаленными от основных центров потребления электроэнергии. От эффективности передачи электроэнергии на расстояние зависит работа единых электроэнергетических систем, охватывающих обширные территории. Качество электроэнергии определяется надежной и устойчивой работой электропередачи.

Эксплуатационная длина контактной сети (КС) электрифицированных Российских железных дорог составляет 43 тыс. км. Контактные провода в системе питания электроподвижного состава являются важнейшим элементом, от которого зависит надежность всей конструкции подвески, а так же бесперебойность питания ЭПС.

Значительное число ЛЭП и КС в России находятся в третьем, четвертом и особом районах по гололеду, подверженных в зимнее время и в межсезонье образованию сверхрасчетных гололедных отложений (рис. 1),

практически 1 раз в 2–4 года. Масса гололеда на каждый погонный метр провода достигает 4–6 кг и более и превышает расчетные значения в 1,5–2 и более раз.

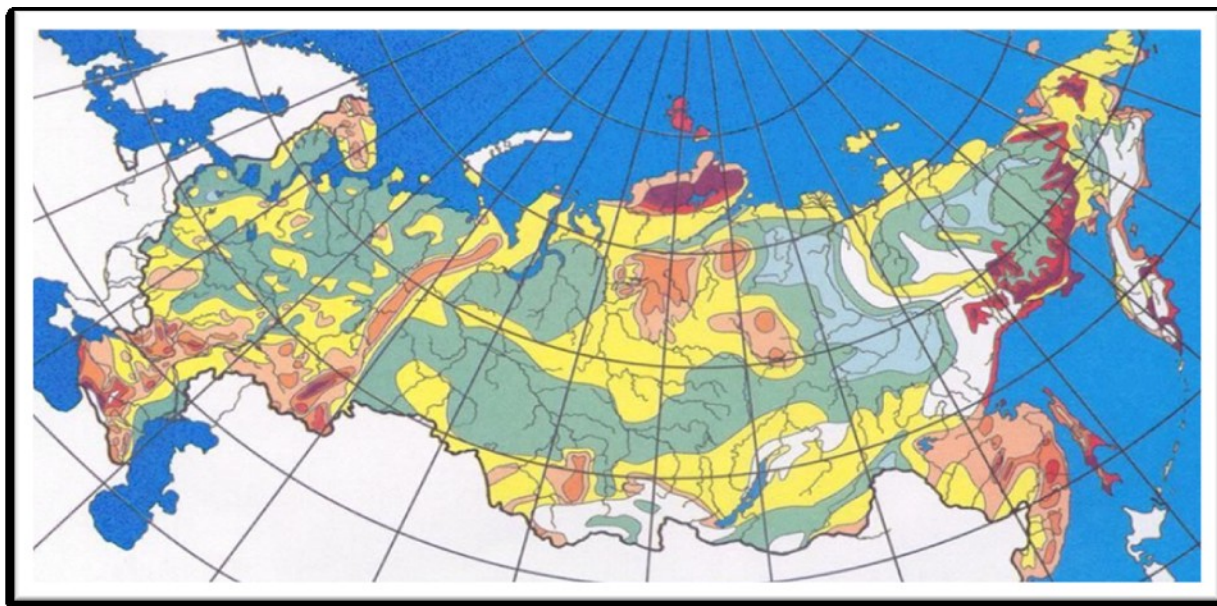


Рис.1. Карта гололедных районов России

Атмосферный лед может образовываться на проводах вследствие двух различных процессов – сублимации пара и кристаллизации воды. Сублимация пара – это непосредственный переход водяного пара в твердое состояние (иней, кристаллическая изморозь). Кристаллизация воды – это замерзание находящейся в воздухе воды в виде переохлажденных капель дождя, мороси, тумана при осаждении их на провода и другие предметы (другие виды гололедно-изморозевых отложений).

Гололедные отложения на проводах подразделяются на следующие виды: гололед, зернистая и кристаллическая изморозь, замерзшие отложения мокрого снега, сложные отложения (смеси).

Гололед – сплошной твердый осадок в виде стекловидного или матового льда, образующийся на морозе вследствие намерзания переохлажденных капель дождя, мороси или тумана [1]. Может иметь цилиндрическую, овалообразную, футлярообразную, гребнеобразную и волнистую формы. Плотность гололеда $600-900 \text{ кг/м}^3$ ($0,6-0,9 \text{ г/см}^3$).

Зернистая (плотная) изморозь (рис. 2)– снеговидный осадок льда рыхлого зернистого строения, обычно матово-белого цвета[1]. Отлагается

преимущественно с наветренной стороны, имеет бугристую поверхность, которая может также быть иглообразной, веерообразной и пластинчатой. Образуется из-за намерзания переохлажденных капель мороси или тумана. Плотность $100-400 \text{ кг/м}^3$ ($0,1-0,4 \text{ г/см}^3$).



Рис. 2. Изображение зернистой изморози образованной на проводах ЛЭП

Кристаллическая изморозь (инеевидный осадок) – белый осадок из кристаллов льда нежной тонкой структуры. Возникает преимущественно при безоблачном небе или тонких облаках, низкой температуре, затишьи или слабом ветре при наличии в воздухе дымки, реже – тумана. Легко осыпается при ветре и встряхивании[1]. Плотность $10-50 \text{ кг/м}^3$ ($0,01-0,05 \text{ г/см}^3$).

Замерзшее отложение мокрого снега – слой льда, образовавшийся в результате замерзания налипшего мокрого снега. Может иметь равномерную структуру и походить на гололед или неравномерную структуру от прозрачного льда у провода до кристаллического снега в верхнем слое. Плотность $200-600 \text{ кг/м}^3$ ($0,2-0,6 \text{ г/см}^3$).

Сложные отложения (смеси) – образуются в результате последовательного наслоения друг на друга различных видов льда. Наиболее

частым сочетанием видов обледенения является гололед и зернистая изморозь. Плотность 250-500 кг/м³ (0,25-0,5 г/см³).

Классификация обледенения проводов по группам приведена в таблице 1.

Таблица 1. Классификация обледенения проводов

Группа	Характер обледенения	Вид отложения
I	Обледенение при сублимации водяного пара	Кристаллическая изморозь Иней
II	Обледенение при осаждении и замерзании переохлажденной воды	Зернистая изморозь Гололед
III	Обледенение при осаждении и замерзании мокрого снега	Отложение мокрого снега Замерзшее отложение мокрого снега
IV	Сложные отложения льда	Зернистая изморозь на гололеде Гололед на зернистой изморози Чередующиеся слои гололеда и изморози

Стоит отметить и тот факт, что на проводах, находящихся под напряжением, величина образовавшегося льда почти на 30 % больше, чем на проводах обесточенных [2].

Интенсивное гололедообразование на проводах ведет к возможности их обрыва и разрегулировке, а так же пагубно влияет на состояние опорных и поддерживающих конструкций [3, 4].

Борьба с гололедом на проводах КС и ЛЭПв настоящее время производится электрическими, химическими и механическими способами. Опыт эксплуатации показывает, что на тех дорогах, где применяются профилактические меры по борьбе с гололедом, такие как: нанесение антигололедных материалов, плановый подогрев проводов и плавка гололеда, вероятность обрыва и выхода из строя устройств подвески значительным образом снижается [5].

Специалисты научно-исследовательской лаборатории «Системы автоматизированного проектирования контактной сети» (НИЛ САПР КС), при Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС), предлагают применять специальное покрытие для защиты проводов ЛЭП и контактной сети от воздействия внешней среды. Покрытие представляет собой композиционный материал, состоящий из полых

алюмосиликатных или керамических микросфер, латексно-акриловой смеси и неорганических пигментов.

В наибольшей степени, материал зарекомендовал себя как антикоррозионный, антиконденсатный и антиобледенительный. Его принято применять для нестандартного оборудования с температурой поверхности до $+180^{\circ}\text{C}$. (Температура деструкции покрытия $+260^{\circ}\text{C}$).

На базе «Испытательного центра технических средств железнодорожного транспорта» УрГУПС, с использованием климатической камеры типа THV710, был проведен ряд испытаний направленных на исследования свойств покрытия.

Образцы для испытаний – два провода марки МФ-100, использующихся, как контактные провода (КП) электрических железных дорог и три провода марки ПБСМ-70, А-95 и А-120, которые применяются и на КС (виде несущих тросов) и на воздушных ЛЭП. Длина образцов составила 1 м. Все провода на 50 % покрывались антигололедным материалом, кроме одного контактного провода, который оставался эталонным.

После нанесения покрытие разделялось на два слоя (рис. 3) на основу и внешний слой, усыпанный всплывшими тонкостенными полыми микросферами диаметром $\sim 100\text{мкм}$, которые во множестве выступают над поверхностью полимерной основы (примерно 100 миллионов микросфер на 1 м). Этот поверхностный слой и защищает поверхность от образования конденсата и гололеда. Теплостойкость поверхностного слоя микросфер крайне мала $\sim 0,084\text{Дж/см}^3$ ($\sim 0,02\text{кал/см}^3$). Утолщается (до $\sim 100\text{мкм}$) зона кондуктивного теплообмена с окружающей средой.

Этот слой также существенно блокирует и радиационную составляющую теплоотдачи. При малейшем дуновении ветра, поверхность выступающих микросфер за счет конвективной теплоотдачи быстро охлаждается, и радиационная составляющая теплоотдачи ($\sim T_4$) резко падает. В результате эффективный коэффициент теплоотдачи, представляющий собой сумму конвективной и радиационной теплоотдачи значительно (в разы) уменьшается.

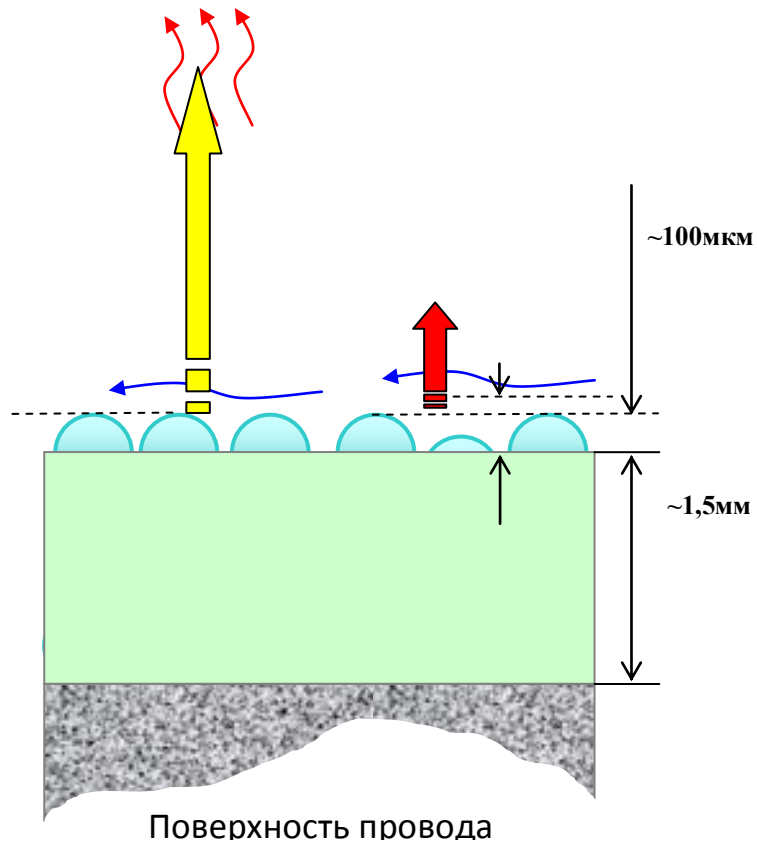


Рис. 3. Схематическое изображение покрытия

После нанесения покрытия, провода подвешивались в пространстве камеры (рис. 4а).

а)

б)



Рис. 4. Вид образцов в климатической камере: а - начало испытаний; б - окончание испытаний

Стоит отметить, что на контактный провод покрытие наносилось только на верхнюю часть, т.к. материал обладает диэлектрическими свойствами и при попадании в пространство между ползком токоприемника и контактным проводом может вызвать сбой в процессе токосяема (образование электрической дуги, пережог провода).

Опыт начался с запуска камеры THV710, первоначальные показатели температуры и влажности были приближены к нормальным условиям (температура 20 °С, влажность ≤85 %).

Далее для прогрева камеры температуру поднимали до 30°С, влажность, оставляя на прежнем уровне. В процессе наблюдений за поведением материала можно отметить небольшое увеличение объема нанесенного слоя, цвет стал более насыщенным, из серовато-белого стал чистым ярко-белым.

Следующим этапом произвели повышение влажности воздуха до максимально возможной в данной камере 99 % и начали резкое понижение температуры воздуха до -5 °С. Данная температура поддерживалась в течение 73 минут, этого время хватило для образования небольшого слоя льда на поверхности образцов. Гололедообразования видны невооруженным глазом (рис. 4), форма гололеда овальная, ввиду отсутствия ветра в камере. Толщина его варьируется от 1 до 2 мм по всей поверхности контактных проводов и чуть больше на несущих тросах. В местах нанесения покрытия толщина слоя гололеда меньше, чем на участках без него, однако стоит, отметить, что при очистке гололеда от провода механическим воздействием, в местах, где было нанесено покрытие, удаление гололеда происходило намного легче, чем от проводов без покрытия.

Результаты испытаний: приведены в таблице 2 и 3 соответственно.

Таблица 2. Результаты измерений до испытаний в климатической камере

Наименование показателя	Значение показателя	
	С покрытием	Без покрытия
1	2	3
1. Внешний вид покрытия	Равномерное матовое покрытие белого цвета	–
2. Средняя толщина покрытия, мкм	950	0
3. Продолжительность сушки, ч.	24	0

Наименование показателя	Значение показателя	
	С покрытием	Без покрытия
1	2	3
4. Адгезия к металлу (метод решетчатых надрезов), балл, не выше	1	–
5. Масса образцов, Н	9,15	9,15
6. Прочность при ударе по ГОСТ 4765	50	–

Таблица 3. Результаты измерений после испытаний в климатической камере

Наименование показателя	Значение показателя	
	С покрытием	Без покрытия
1	2	3
1. Внешний вид образцов	Без изменения	
2. Толщина гололеда, мкм	1500	2100
3. Распределение гололеда	Неравномерное, в местах с нанесенным покрытием количество гололеда значительно меньше, чем без покрытия	Равномерное
4. Прочность гололеда	Легко скалывается с образцов	Расположен по всей площади образцов, более тяжело подвергается механической очистке
5. Масса образцов, Н	9,3	9,8
6. Прочность покрытия	Без изменения	

По результатам испытаний, теория о возможности применения покрытия для защиты проводов ЛЭП от воздействий внешней среды подтвердилась.

Уже получено согласие на проведение следующего этапа испытаний на реальных участках: Южно-Уральской и Западно-Сибирской железных дорогах ОАО «РЖД».. В летний период, планируется нанести материал, а уже в осенне-зимний период ждать результата.

Дополнительно специалисты НИЛ «САПР КС» решают задачу по возможности автоматизации процесса нанесения материала на раскатанные провода контактной сети, а так же разрабатывают технологию, позволяющую «пропитку» проводов, находящихся в бухте.

Предлагается использовать покрытие для еще решения еще одной проблемы – защиты устройств системы токосъема от коррозии. Обработке могут подвергаться опорные и поддерживающие конструкции.

В рамках развития скоростных и высокоскоростных магистралей, применение такого вида материала может сократить затраты на обслуживание устройств системы токосъема, повысить ее надежность.

Литература

1. Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». Департамент Электрификации и электроснабжения. Методические указания по борьбе с гололедом и автоколебаниями на контактной сети, линиях ДПР, автоблокировки и продольного электроснабжения. – М.: Транспорт, 2004.

2. *Порцелан А. А., Павлов И. В., Неганов А. А.* Борьба с гололедом на электрифицированных железных дорогах. – М.: Транспорт, 1970. – 152 с.

3. *Галкин А.Г., Ковалев А.А.* Обслуживание опор контактной сети // Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2008. – № 1 (16). – С. 60-64.

4. *Ковалев А.А., Несмелов Ф.С., Лобанова Г.С.* Разработка метода расчета наклона опоры контактной сети на основе учета деформационных характеристик грунта // Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2010. – № 1 (24). – С. 69-71

5. *Ефимов А.В., Галкин А.Г., Бунзя А.В., Кондрышов М.В.* Исследование способа удаления гололеда с двойных контактных проводов импульсно-резонансным методом на модели. Деп. в ВИНТИ.- Екатеринбург, 03.08.2004, №1347-В2004.