



# Аварийные риски на электросетях из-за противогололёдов



Владимир ПОПОВ  
Vladimir G. POPOV

Светлана ЧУРЮКИНА  
Svetlana V. CHURIUKINA



Юлия БОЛАНДОВА  
Yulia K. BULANOVA

*Попов Владимир Георгиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и инженерной экологии Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Чурюкина Светлана Валерьевна – старший преподаватель РУТ (МИИТ), Москва, Россия.*

*Боландова Юлия Константиновна – ассистент РУТ (МИИТ), Москва, Россия.*

## Emergency Risks in Power Grids due to De-Icing

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 162)

**В статье доказывается прямая связь между применением хлоридных противогололёдных реагентов и возможностью возникновения нештатных и чрезвычайных ситуаций. Возникновение опасных ситуаций приводит к аварийным рискам на сетях железных дорог. С целью выявления таких рисков при осуществлении пассажирских перевозок и транспортировке грузов произведена идентификация влияния хлоридных реагентов на различные объекты рельсового транспорта. В ходе экспериментов было установлено негативное влияние хлоридных противогололёдных веществ на материалы, из которых изготовлены основные элементы воздушных линий контактной электросети железных дорог и объекты инфраструктуры.**

*Ключевые слова:* железные дороги, аварийные риски, грузоперевозки, пассажирские перевозки, хлоридные противогололёдные реагенты, воздушные линии электрификации, безопасность, чрезвычайные ситуации.

**П**еревозки грузов и пассажиров российским железнодорожным транспортом осуществляются на большие расстояния и круглогодично. Климат страны очень разнообразен, её территория занимает около 1/3 площади Евразии и 1/9 земной суши. Протяжённость наших земель с севера на юг превышает 4000 км, с запада на восток приближается к 10000 км. Из-за огромной площади Россию можно считать страной природных контрастов.

### I.

Проанализировав средние температуры различных районов РФ, можно увидеть, что температура самого тёплого месяца колеблется от +1°C на Крайнем Севере до +25°C на Прикаспийской низменности и +40°C на юго-западе Сибири; самого холодного месяца – от +6°C на Черноморском побережье до -50°C в северо-восточной Сибири [3].

Наиболее характерные факторы, под влиянием которых сформировался климат Российской Федерации [1]:

- удалённость многих районов от моря (по большей части — не менее чем на 400 км, а некоторые места — на 2400 км) обусловило преобладание континентального климата;

- расположение основных земель в северных широтах определило доминирование холодного климата (лишь юг Европейской части России, некоторые участки южной Сибири и Приморье находятся ниже 50° с. ш., при этом более половины территории лежит к северу от 60° с. ш.);

- горные хребты на юге страны препятствуют поступлению тёплых воздушных масс с Индийского океана, а Уральская гряда к тому же не позволяет в полной мере осуществляться воздухообмену. Равнинный характер территории на западе и севере не мешает арктическому и атлантическому влияниям, которые делают климат ещё более холодным.

Все перечисленные факторы приводят к тому, что на значительной части территории Российской Федерации можно выделить лишь два чётко выраженных сезона — зиму и лето; весна и осень являются короткими периодами смены крайне низких температур крайне высокими. Самый холодный месяц — январь (на побережье морей — февраль), самый тёплый — обычно июль.

Россия расположена в четырёх климатических поясах — арктическом, субарктическом, умеренном и субтропическом; наиболее протяжённый из них — умеренный.

Отсюда неизбежный для транспорта вывод: условия климата с гололёдом и снегопадами требуют применения различных антигололёдных средств на дорогах в целях снижения травматизма населения, предотвращения аварийных ситуаций на автомобильных трассах, предупреждения обледенения самолётов и т.д. [1].

При грузоперевозках согласно техническим условиям размещения и крепления грузов на открытом подвижном составе [2] необходимо произвести правильную погрузку грузов, а также их закрепление. Погрузка-выгрузка может быть как механизированной, так и осуществляться вручную. Грузоперевозки производятся круглогодично, в зимний период года тоже. Человеческим ресурсам, задействованным

в сопутствующих операциях, должны быть гарантированы безопасные условия труда. К ним относится и снижение скользкости в холодный и зимний периоды.

Для обеспечения безопасности пассажирских перевозок в те же периоды, о которых идёт речь, также следует вести борьбу с гололёдом.

И эту борьбу ведут широким фронтом. Предприятиями железнодорожного транспорта, подразделениями ОАО «РЖД» применяются, в частности, хлоридные противогололёдные реагенты (ПГР). Выбор именно этих типов реагентов обусловлен относительно низкой ценой, безопасностью (по заверению производителей), удобством применения. До нынешнего времени считалось, что хлоридные ПГР абсолютно безопасны для людей, животных, различных материалов и природной среды. Однако некоторые исследования, в том числе и наши, опровергли эти сведения.

В докторских диссертациях Н. К. Розенталя [3], О. А. Швагиревой [4], а также работах авторов этой статьи [5–11] представлены результаты исследований по негативному влиянию хлоридных ПГР на материалы, объекты техносферы и природную среду. И в данном случае речь пойдёт о разрушениях, которые могут вызвать хлоридные ПГР при воздействии на элементы воздушных линий контактной сети электрифицированных железных дорог, и последствиях таких разрушений, способных привести к авариям.

## II.

Как уже сказано, хлориды способны разрушать такие материалы, как бетон, металлические конструкции, в состав которых входит железо (Fe), изделия из меди (Cu), в первую очередь — медные провода. Из бетона изготавливаются опоры контактной сети воздушных линий (ВЛ), основания для металлических опор, железо помогает создать тросы, опоры, медь является не только основным компонентом электрических проводов, но и входит в состав биметаллических тросов.

Пути попадания на воздушные линии хлоридных ПГР исследованы в работах [6–10]. При анализе и проведении ряда экспериментов авторы пришли к выводу,



**Рис. 1.** Исходные образцы бетона.



**Рис. 2.** Образцы бетона после пяти циклов исследования, выдержанные в трёхкомпонентной модели противогололёдного реагента.



**Рис. 3.** Образцы бетона после 20 циклов исследования, выдержанные в трёхкомпонентной модели.



**Рис. 4.** Образцы бетона после 25 циклов исследования, выдержанные в трёхкомпонентной модели.





**Рис. 5.** Испытуемая железная пластинка после погружения в трёхкомпонентный раствор хлоридного ПГР.



**Рис. 6.** Налёт на поверхности пластинки.

что сыпучие реагенты оказываются на проводах контактной сети посредством конвективного массопереноса.

При разрушении материалов, входящих в состав опор, проводов, тросов и прочего, будут ожидаемо возникать аварийные ситуации, способные привести к человеческим жертвам. Падение опор, например, влечёт за собой не только выход из строя сети электрификации, механические повреждения близлежащих объектов и нанесение травм людям, но и поражение последних электрическим током из-за обрыва проводов.

Разрушение бетонных опор, способное привести к их падению, — это неизбежный исход при применении хлоридных ПГР на объектах, связанных с грузо- и транспортными перевозками. Хлориды являются сильноагрессивной средой по отношению к бетонам. В авторских работах [5–7, 9, 11] сей факт был убедительно доказан. Бетонные конструкции при воздействии хлоридных ПГР в условиях температурных перепадов разрушаются практически полностью. Причём довольно сложно заметить последовательность процесса. Разрушение

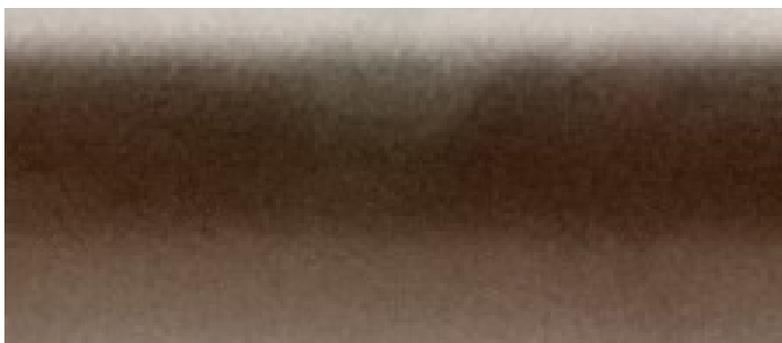
происходит достаточно быстро и, если так можно выразиться, «вдруг». В своих исследованиях авторы не раз замечали, что образцы бетона, подвергавшиеся изучению в хлоридных средах при температурных циклах, длительное время почти не меняли свой внешний вид: наблюдалось лишь небольшое количество серого налёта в сосудах, где испытывались образцы. Затем появлялись небольшие сколы. И лишь в какой-то момент глаз фиксировал окончательно разрушенный образец (рис. 1–4).

Для испытаний использовались двух- и трёхкомпонентные растворы моделей хлоридных ПГР. Двухкомпонентная модель состоит из  $\text{NaCl}$  и  $\text{CaCl}_2$ , трёхкомпонентная — из  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ . Образцы бетона были взяты на одной из подмосковных платформ. Информация о марке бетона отсутствует. Испытания проводились в течение месяца (30 дней). Температурные режимы соответствовали температурам холодного периода года средней полосы России [1], проведены и циклические испытания (поочерёдное воздействие минусовых температур ( $-12^\circ\text{C}$ ), а затем — плюсовых ( $+5^\circ\text{C}$ )). Всего 25 циклов.

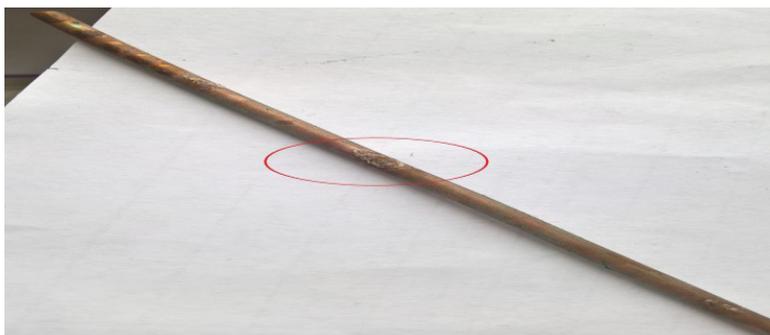




**Рис. 7а.** Вид образца медного провода, обработанного четырёхпроцентным раствором хлоридного ПГР при 200°С в лабораторной печи.



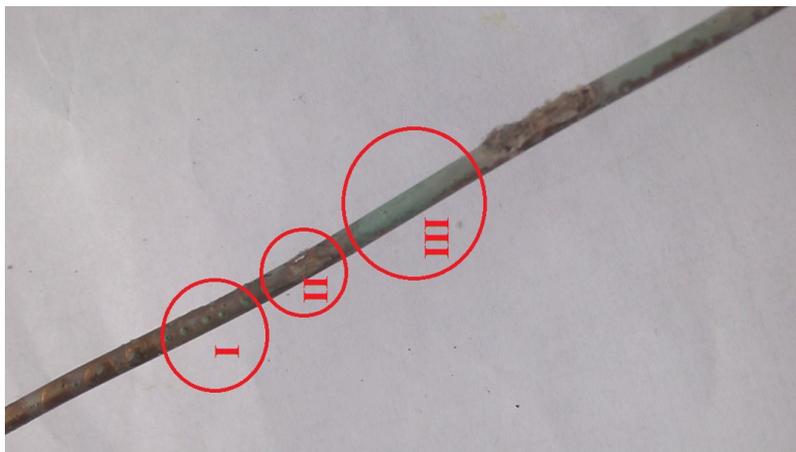
**Рис. 7б.** Фрагмент повреждения образца медного провода.



**Рис. 8а.** Вид образца медного провода, обработанного хлоридным ПГР шестидесятипроцентной концентрации при 200°С.



**Рис. 8б.** Фрагмент повреждения образца медного провода.



**Рис. 9а.** Вид образца медного провода, обработанного хлоридным ПГР тридцатипроцентной концентрации при 200°С. Кружочками указаны места (фрагменты) повреждений.



**Рис. 9б.** Фрагмент I повреждения образца медного провода.

Исследования показывают, что при воздействии хлоридов на бетоны действует эффект Ребиндера. Наибольшее разрушение получили образцы, испытывавшиеся в трёхкомпонентной модели реагента. Этот факт подтверждает предположение, что хлоридные среды являются для бетонов активными и вызывают разрушения именно по типу эффекта Ребиндера.

Такое неожиданное разрушение бетонов порой бывает сложно отследить на практике. Это делает возникающий вариант наиболее опасным и способным вызвать аварийные ситуации.

При определении влияния хлоридных ПГР на металлические конструкции (первые данный эксперимент был проведён в выпускной квалификационной работе Д. И. Дусеева, руководитель – С. В. Чурюкина), в состав которых входит Fe, значи-

тельные пластинки железа погружали в двух- и трёхкомпонентную модель антигололёдных реагентов. Пластины выдерживали в растворах в течение часа. Вынув из растворов, к ним добавили индикатор. После его добавления раствор двухкомпонентной модели реагента окрасился в жёлтый цвет, с лёгким зеленоватым оттенком. Окраска трёхкомпонентной модели была более интенсивной. Поскольку гексацианоферрат является индикатором на ионы  $Fe^{2+}$ , можно говорить о начале коррозии. Железо из нейтрального состояния с нулевой степенью окисления переходит в состояние окисления +2:



Это промежуточное состояние железа, дальше будет степень окисления +3, металл покроется ржавым налётом при воздействии кислорода воздуха. Через некоторое



время наблюдается небольшой налёт на поверхности железных пластинок (рис. 5, 6). В нашем случае наибольшая интенсивность процесса замечена в варианте трёхкомпонентной модели ПГР.

Полученные данные подтверждают: разрушение металлических элементов ВЛ контактной сети электрификации при интенсивной коррозии может привести к аварийным ситуациям в результате повреждения опор и других металлических конструкций.

Авторами статьи проведены исследования влияния хлоридных ПГР на элементы ВЛ контактной сети, изготовленные из меди (провода, биметаллические тросы) в условиях, приближённых к реальным. Воздействие хлоридов на медь происходит при повышенных температурах. Согласно закону Джоуля–Ленца (2) при протекании электрического тока через проводник последний разогревается. Средняя температура нагрева медных проводов, не имеющих изоляции, составляет примерно 200°С [12].

$$Q = I^2 R t, \quad (2)$$

где  $Q$  – количество выделяемой теплоты, Дж;

$I$  – величина протекаемого тока, А;

$R$  – сопротивление проводника, Ом;

$t$  – время работы.

Эксперименты по определению воздействия хлоридов заключались в следующем. На образцы медных проводов были нанесены растворы реагентов разной концентрации: 2, 4, 8, 16, 20, 33 %. Обработанные растворами провода нагревали в лабораторной печи при 200°С в течение трёх минут. Планировалось провести 25 циклов такой обработки, но уже в ходе третьего на поверхности всех образцов в той или иной степени образовались пятна бурого и голубовато-зелёного цвета, что свидетельствует о протекании реакций меди с хлоридами. В результате этих реакций на поверхности проводов появились хлориды меди  $\text{CuCl}_2$  (бурые пятна), а при остывании – дигидраты хлоридов (II)  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (голубовато-зелёные пятна) (рис. 7–9).

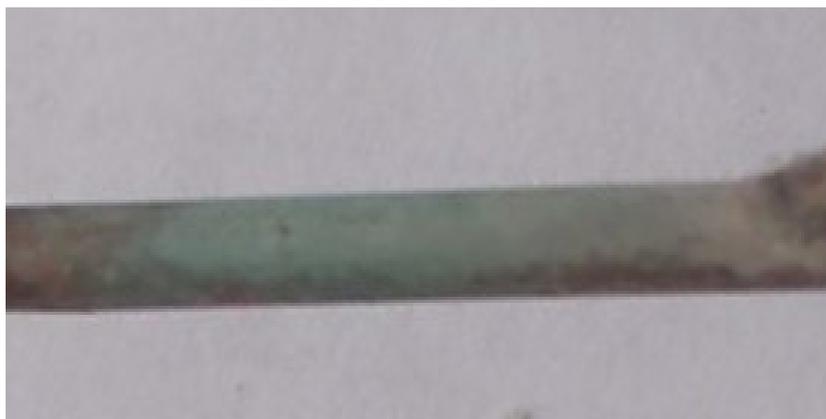


Рис. 8в. Фрагмент II повреждения образца медного провода.



Рис. 9 г. Фрагмент III повреждения образца медного провода.

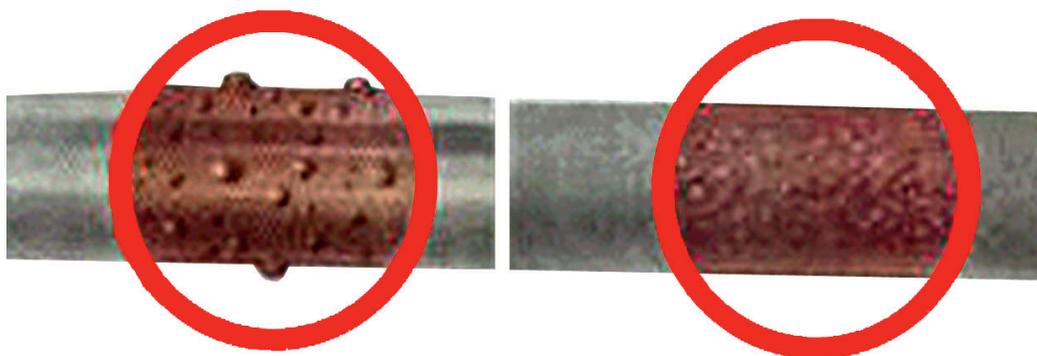


Рис. 10. Основные типы повреждений контактного провода: а) наплывы; б) каверны и корольки [14].

С увеличением концентрации модельных растворов характер повреждений становится более разрушительным, число их также увеличивается.

При характеристике повреждений контактного провода в различных источниках приводят очень схожие иллюстрации [13, 14]. На рис. 10 представлены виды повреждений контактного провода, весьма близкие тем, которые получаются при воздействии хлоридных ПГР на медь в условиях высоких температур.

Такие повреждения приводят к разрыву контактного провода. А разрыв провода, как известно, ведёт к авариям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. География России: Энциклопедический словарь. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. — 800 с.
2. Технические условия размещения и крепления грузов (Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) от 1 июля 2015 г.). [Электронный ресурс]: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru%3FSTRUCTURE\\_ID%3D704%26layer\\_id%3D5104%26id%3D6558](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru%3FSTRUCTURE_ID%3D704%26layer_id%3D5104%26id%3D6558). Доступ 25.04.2018.
3. Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой плотности / Дис... док. техн. наук. — М., 2004. — 432 с.
4. Швагирева О. А. Исследование влияния противогололёдных реагентов на изменение структуры и свойств асфальтового бетона / Дис... канд. техн. наук. — М., 1999. — 163 с.
5. Попов В. Г., Чурюкина С. В. Влияние хлоридных антигололёдных реагентов на бетонные конструкции // Международный научный институт «Educatio»: Материалы международной конференции. — 2016. — IV (22). — С 25–28. [Электронный ресурс]: [http://education.ru/wp-content/uploads/2016/07/Educatio\\_22\\_5-115.pdf](http://education.ru/wp-content/uploads/2016/07/Educatio_22_5-115.pdf). Доступ 30.10.2018.

6. Попов В. Г., Боровков Ю. Н., Чурюкина С. В. Возможное влияние аэрозолей хлоридных антигололёдных реагентов на объекты окружающей среды и техносферы // Единый всероссийский научный вестник. — 2016. — № 5. — С. 93–95.

7. Попов В. Г., Сухов Ф. И., Чурюкина С. В., Дусеев Д. И. Объекты окружающей среды и техносферы, подлежащие постоянному экоаналитическому контролю и мониторингу, при использовании хлоридных антигололёдных реагентов // Актуальные проблемы науки XXI века: Материалы X международной научно-практ. конференции. — Ч. 3. — М.: Cognitio, 2016. — С. 5–11.

8. Попов В. Г., Сухов Ф. И., Чурюкина С. В., Дусеев Д. И. Идентификация механизма трансформации хлоридов щелочных и щелочно-земельных металлов, входящих в состав антигололёдных реагентов, в окружающей среде // Содружество. — 2016. — № 4. — С. 31–34.

9. Попов В. Г., Чурюкина С. В. Негативное воздействие антигололёдных реагентов на объекты железнодорожного транспорта: Материалы доклада к конференции МИИТ от 27 сентября 2016 года.

10. Попов В. Г., Сухов Ф. И., Чурюкина С. В., Дусеев Д. И. Идентификация влияния хлоридных противогололёдных реагентов на контактную сеть воздушных линий электрификации наземного транспорта // Международный научно-исследовательский журнал. — 2017. — № 7. — С. 65–68.

11. Сухов Ф. И., Чурюкина С. В. Негативное влияние хлоридных антигололёдных реагентов на биосферу // Инженерно-экологические изыскания — нормативно-правовая база, современные методы и оборудование: Материалы II научно-практ. конференции. — М., 2017. — С. 65–66.

12. Расчёт температуры проводника при прохождении тока КЗ и проверка кабелей на невозгорание. [Электронный ресурс]: <http://www.likeproject.ru/article.php?cont=long&id=338>. Доступ 25.04.2018.

13. Борц Ю. В., Чекулаев В. Е. Контактная сеть: Иллюстрированное пособие. — М.: Транспорт, 1981. — 223 с.

14. Основные типы повреждений контактного провода. [Электронный ресурс]: [http://www.railway.te.ua/foto\\_extr4.htm](http://www.railway.te.ua/foto_extr4.htm). Доступ 02.04.2018.

Координаты авторов: Попов В. Г. – [vpovov\\_miiit@mail.ru](mailto:vpovov_miiit@mail.ru), Чурюкина С. В. – [churuquinasv@mail.ru](mailto:churuquinasv@mail.ru), Боландова Ю. К. – [ecology-group2017@mail.ru](mailto:ecology-group2017@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 06.09.2018, принята к публикации 30.10.2018.

