

## Перспективы автоматизации электрических методов борьбы с гололедом

*О.В. Кубкина, В.Г. Лысенко*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

**Аннотация:** В настоящее время для Российских железных дорог (РЖД) характерно увеличение веса поездов, расширение парка участков со скоростным движением электроподвижного состава. Все это приводит к усложнению режимов работы системы электроснабжения, повышению ответственности и возможных ущербов от простоя поездов. Особую значимость приобретают системы мониторинга контактной сети, как элемента системы электроснабжения не имеющего резерва. Значительное число участков РЖД подвержено образованию гололеда и, как следствие, возможным серьезным эксплуатационным рискам и издержкам. Одним из направлений минимизация ущерба от образования гололеда и мероприятий по его ликвидации, по мнению авторов, является автоматизация. В статье приводится оценка возможности и направлений автоматизации борьбы с гололедом на основе систем обнаружения гололеда на ранних стадиях образования.

**Ключевые слова:** система электроснабжения, правильность функционирования, автоматизация, система обнаружения гололеда, мониторинг контактной сети.

Проблема гололеда на проводах и конструкциях контактной подвески тяговой сети остается актуальной [1, 2]. Неэффективность мероприятий по предупреждению образования гололеда и борьбе с гололедом приводит к значительным повреждениям и, как следствие, потерям, связанным с задержками поездов. Представляется целесообразным рассмотреть возможности повышения эффективности борьбы с гололедом, основанные на автоматизации указанных процессов.

Анализ существующих способов борьбы [3-5] показывает перспективность автоматизации применительно к электрическим методам. Известны и широко применяются два электрических метода борьбы с гололедом на проводах контактной сети – это профилактический подогрев и плавка гололеда [6]. В основе обоих методов лежит выделение тепла при прохождении электрического тока по проводу [7]. Ток, нагревающий провод при профилактическом подогреве, формируется за счет разности напряжений на шинах смежных подстанций, питающих одну межподстанционную зону.

---

Значение тока профилактического подогрева невелико и этот способ эффективен только на ранней стадии гололедообразования, характеризующейся формированием изморози, или гололеда с незначительной толщиной стенки. Профилактический подогрев не влияет на движение поездов и не представляет опасности в части возникновения аварийных режимов. Нагрев проводов при плавке гололеда осуществляется практически током искусственного удаленного короткого замыкания. Применение плавки сопровождается неизбежным перерывом в движении поездов и рисками трансформации искусственного короткого замыкания в реальную аварию.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующий вывод о том, что базовым, при оценке перспектив автоматизации процесса борьбы с гололедом, является вопрос о возможности его обнаружения на ранней стадии.

В настоящее время известны следующие методы обнаружения гололеда на контактной подвеске тяговой сети:

- визуальный, реализуемый машинистом электровоза или дежурным дистанции контактной сети;
- метод, основанный на контроле изменения веса проводов при гололедообразовании [8];
- метод, основанный на контроле радиочастотного излучения при прохождении электроподвижного состава по участку контактной сети, покрытой гололедом;
- метод, основанный на применении датчика гололеда.

Детальное рассмотрение перечисленных методов показывает, что все они, за исключением последнего, по технологическим и техническим причинам не обеспечивают эффективного обнаружения гололеда на ранней стадии. В качестве источника первичной информации о наличии или

---

отсутствии гололеда предлагается использовать датчик с емкостным чувствительным органом (ЧО). Принцип действия датчика основан на свойствах конденсатора, в поле которого находится контролируемый элемент подвески. Изменение диэлектрической проницаемости воздушного промежутка между обкладками, обусловленное появлением в нем гололеда, приводит к изменению емкости конденсатора [9]. Очевидно, что в этом случае чувствительность контроля ( $K$ ) определяется величиной изменения емкости при образовании гололеда с определенной толщиной стенки, что, в свою очередь, определяет способность системы к обнаружению гололеда на ранних стадиях.

$$K = \frac{C_g - C_b}{C_b} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $C_b$  – значение емкости конденсатора при отсутствии гололеда;  $C_g$  – значение емкости конденсатора при гололеде.

Теоретически возможны различные варианты ориентации обкладок чувствительного органа в пространстве относительно объекта, на котором контролируется гололедообразование. Для контроля гололедообразования на контактном проводе, за исключением мест анкеровки на отходящих линиях и других конструктивных элементах контактной подвески, применим только вариант ЧО с планарным конденсатором. Такой способ является наиболее критичным с точки зрения обеспечения требуемой точности контроля. Данный вариант рассматривался при производстве расчетов.

Оценка применимости рассматриваемого способа контроля возможна после установления зависимости изменения емкости конденсатора от: геометрических параметров конденсатора; физико-химических свойств гололеда; физических параметров конденсатора ЧО; геометрических параметров системы «контролируемый объект – датчик». Интерес представляют результаты расчетов, проведенные для различных значений

---

толщины стенки гололеда. Результаты расчетов емкости чувствительного органа датчика для различных значений: толщины стенки гололеда ( $b_T$ ); угла между обкладками конденсатора ( $\alpha$ ); расстояния между обкладками ЧО и проводом ( $L$ ); площади обкладок ЧО ( $S = a \cdot l$ , где  $a$  – ширина,  $l$  – длина обкладок; напряжения ( $U$ ); диэлектрической проницаемости льда ( $\epsilon_l$ ) представлены на рисунках 1,2, 3, 4.

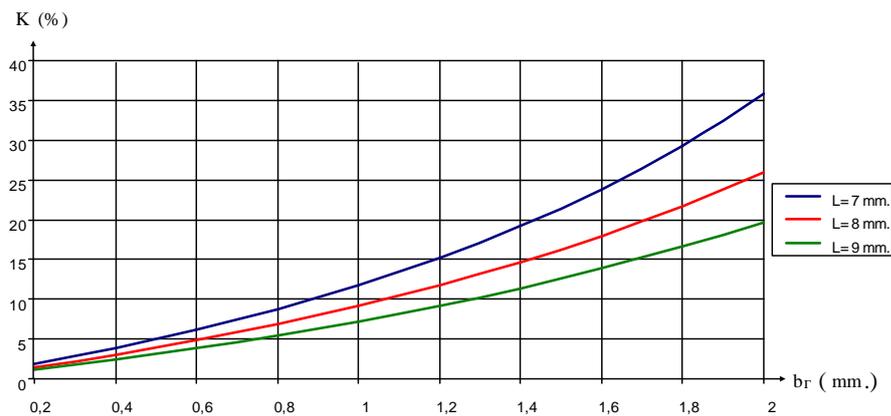


Рис. 1 – Зависимость изменения коэффициента чувствительности от толщины стенки гололеда при различных значениях расстояния между ЧО и контактным проводом ( $L$ ) ( $l=12$  мм,  $a=2$  мм,  $\alpha=3,14$  рад,  $\epsilon_l=90$ ,  $U=10$  В)

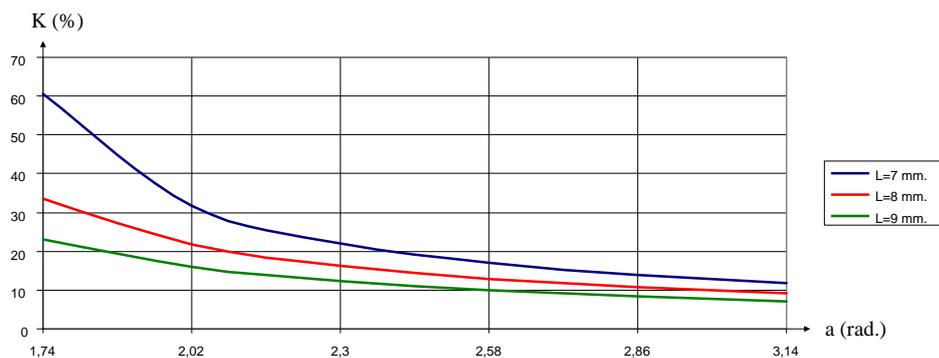


Рис. 2. – Зависимость изменения коэффициента чувствительности от угла между обкладками, при различных значениях расстояния между ЧО и контактным проводом ( $L$ ) ( $l=12$  мм,  $a=2$  мм,  $\epsilon_l=80$ ,  $U=10$  В,  $b_T=1$  мм)

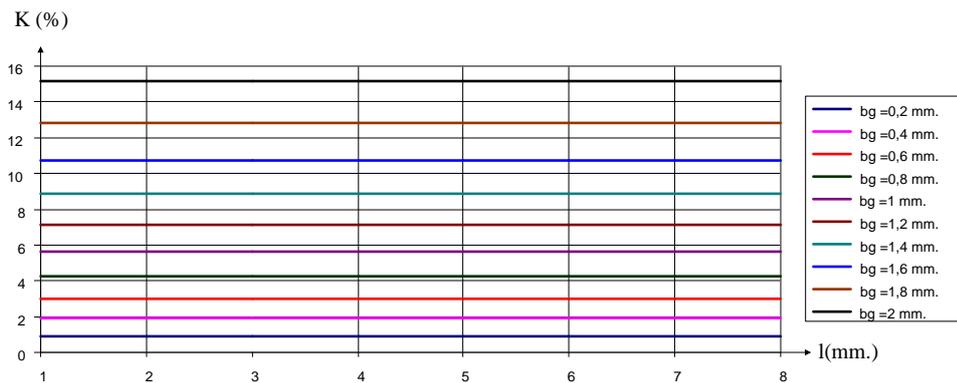


Рис. 3. – Зависимость изменения коэффициента чувствительности от ширины обкладок ЧО при различных значениях толщины стенки гололеда ( $l=12$  мм,  $\alpha=3,14$  рад,  $\varepsilon_n=80$ ,  $U=10$  В,  $L=10$  мм)

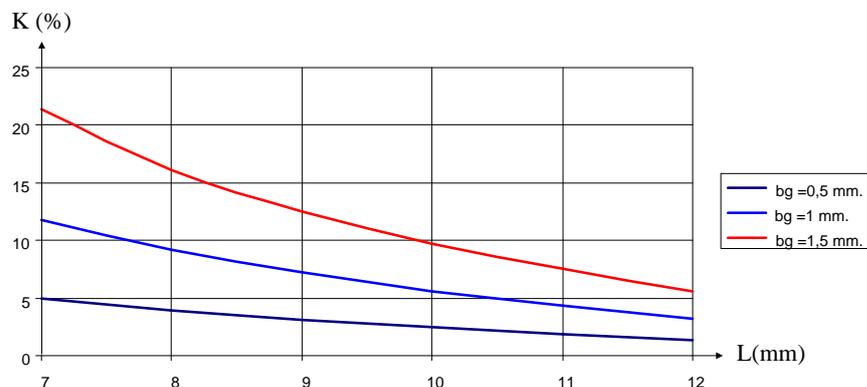


Рис. 4. – Зависимость изменения коэффициента чувствительности от расстояния между проводом и обкладками ЧО при различных значениях толщины стенки гололеда ( $b_r$ ) ( $l=12$  мм,  $a=2$  мм,  $\alpha=3,14$  рад,  $\varepsilon_n=80$ ,  $U=10$  В)

Полученные результаты доказывают теоретическую возможность обнаружения гололеда на ранних стадиях.

Ключевым вопросом для оценки возможности практического применения датчика гололеда является необходимость определения координат его установки. Рассмотрение реальных мест возникновения гололеда на различных участках железных дорог позволило предположить, наряду с климатическими, наличие других воздействий, влияющих на гололедообразование. Все очевидные воздействия окружающей среды были сгруппированы как статические, условно статические и динамические. При

этом в группу условно статических воздействий отнесены воздействия в той или иной степени зависящие от статических. К статическим воздействиям отнесены: профиль пути, рельеф местности, наличие искусственных сооружений, географические характеристики местности (реки, болота, леса и др.). К условно статическим: интенсивности движения, ветровые нагрузки, характер загрязненности окружающей среды, влажность. К динамическим: температура окружающей среды, атмосферное давление, динамика температурных колебаний.

Существование статических и условно статических влияющих воздействий позволяет предположить, в свою очередь, возможность выявления участков с преимущественным и наиболее частым образованием гололеда. Анализ зарегистрированных фактов образования гололеда подтвердил данное предположение [10].

Наличие датчиков с заданной чувствительностью, методов определения мест их установки, позволяют признать возможность обнаружения гололеда на ранних стадиях.

### Литература

1. Трубицин М. А., Лукашевич О. Г. Проблема гололеда на проводах воздушных линий системы электроснабжения железнодорожного транспорта // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582)
2. Golub G.M. Reliability control of failure-free operation of power supply system of railroad and its components by methods of intellectualization and informatization // Metallurgical and mining industry. 2017. №5. pp. 8-13
3. Кочунов Ю.А., Волгин Е.С. Основные направления и методы совершенствования поддерживающих конструкций контактной сети железных дорог // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17. № 1. С. 84–95.

4. Вагапов Г.В. Диагностика гололеда на грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 104–112.

5. Zharkov Y.I., Semenov Y.G., Kolosov D.V. and Otýпка J. The principals of operation of the automated current collection diagnostic system for electrified railways // 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2015, pp. 760–763.

6. Кабашов В.Ю., Андрианова Л.П. Повышение эксплуатационной надежности воздушных линий 10 (6) кВ при воздействии неблагоприятных климатических факторов // Международный технико–экономический журнал. 2019. № 3. С. 48–54.

7. Figurnov E.P., Kharchevnikov V.I. Experiments on Heating Uninsulated Wires of Overhead Transmission Lines. Power Technol Eng 51, 2017, pp. 119–124 URL: doi.org/10.1007/s10749-017-0796-x.

8. Лысенко В. Г., Кубкина О. В. Мониторинг гололедно–изморозевых образований на контактной сети переменного тока // Инженерный вестник Дона, 2021, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966

9. Брехов К.А. Напряженность электростатического поля в планарном конденсаторе на основе тонкой сегнетоэлектрической пленки BASTIO // Нано– и микросистемная техника. 2018. Т. 20. № 9. С. 555–561.

10. Доманский В.В., Доманская Г.А., Васенко В.А. Информационные технологии режимов работы тягового электроснабжения и питающих их систем // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2021, №3 (79). С. 154–165.

### References

1. Trubicin M. A., Lukashevich O. G., Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582

---

2. V. Styskala, D. V. Kolosov, Y. I. Zharkov and Y. G. Semenov. The operation principles and implementation of automated system for arc disturbances control for AC and DC electrified railway lines. 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2015, pp. 606–609.

3. Kochunov Ju.A., Volgin E.S., *Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija*. 2020. T. 17. № 1. pp. 84–95.

4. Vagapov G.V., *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki*. 2019. T. 21. № 4. pp. 104–112.

5. Y. I. Zharkov, Y. G. Semenov, D. V. Kolosov and J. Otýpka. The principals of operation of the automated current collection diagnostic system for electrified railways. 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2015, pp. 760–763.

6. Kabashov V.Ju., Andrianova L.P., *Mezhdunarodnyj tehniko–jekonomicheskij zhurnal*. 2019. № 3. pp. 48–54.

7. Figurnov E.P., Kharchevnikov V.I. Experiments on Heating Uninsulated Wires of Overhead Transmission Lines. *Power Technol Eng* 51, 2017, pp. 119–124  
URL: [doi.org/10.1007/s10749-017-0796-x](https://doi.org/10.1007/s10749-017-0796-x).

8. Lysenko V. G., Kubkina O. V., *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2021. № 5.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966)

9. Brehov K.A., *Nano– i mikrosistemnaja tehnika*. 2018. T. 20. № 9. pp. 555–561.

10. Domanskiy V.V., Domanskaya G.A., Vasenko V.A., *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2021. №3 (79). pp. 154–165.