

## Мониторинг гололедно-изморозевых образований на контактной сети переменного тока

*В. Г. Лысенко, О. В. Кубкина*

*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. При этом особую значимость приобретают системы мониторинга контактной сети, как элемента системы электроснабжения, не имеющего резерва. На значительном числе участков РЖД провода и тросы контактной сети подвержены гололедно-изморозевым образованиям и, как следствие, серьезным эксплуатационным рискам и издержкам. Минимизация ущерба от образования гололеда и мероприятий по его ликвидации возможна при обнаружении на начальном этапе. В статье приводится оценка возможности применения для целей раннего обнаружения гололедно-изморозевых образований систем, действие которых основано на изменении веса проводов.

**Ключевые слова:** гололедно-изморозевые образования, раннее обнаружение, контактная сеть, несущий трос, контактный провод.

Одним из способов мониторинга гололедно-изморозевых образований на проводах контактной подвески, в настоящее время, является применение систем, контролирующих изменение веса проводов контактной подвески при отложении гололеда [1]. В качестве датчиков при этом используются устройства контроля натяжения проводов и устройства контроля перемещения анкерных грузов. С целью оценки применимости указанных методов для раннего обнаружения гололедно-изморозевых образований с учетом конструктивных особенностей контактной подвески рассчитаем режимные нагрузки. Рассмотрим базовые зависимости, используемые при расчетах [2].

$$g = g_n \cdot \rho_l,$$

где  $g$  – погонная нагрузка Н/м [5];  $g_n$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_l$  – линейная плотность провода, кг/м.

$$g = 9,81 \cdot \rho_l.$$

Применение в конструкции контактной сети (КС) несущего троса (НТ) и контактного провода (КП) определяет необходимость учета погонной нагрузки от веса однопроволочного провода [3]:

$$g = 9,81 \cdot 10^{-6} \cdot S \cdot \rho,$$

где  $S$  – расчетная площадь сечения провода,  $\text{мм}^2$ ;  $\rho$  – плотность материала провода,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

А также погонной нагрузки от веса многопроволочного провода [4]:

$$g = 10,06 \cdot 10^{-6} \cdot S \cdot \rho.$$

Тогда погонная нагрузка от веса комбинированного провода определяется, как:

$$g = 10,05 \cdot 10^{-6} \cdot (S_1 \cdot \rho_1 + S_2 \cdot \rho_2).$$

Вертикальная нагрузка веса проводов КС определяется как [5]:

$$g_0 = g_T + n_K \cdot (g_K + g_C),$$

где  $g_T$  – нагрузка от силы тяжести НТ,  $\text{Н}/\text{м}$ ;  $n_K$  – число КП;  $g_K$  – нагрузка от силы тяжести КП,  $\text{Н}/\text{м}$ ;  $g_C$  – нагрузка от веса зажимов и струн КП,  $\text{Н}/\text{м}$ . Принимается равной 1  $\text{Н}/\text{м}$  при одном КП [6].

Нормативная гололедная нагрузка на провод:

$$g_r = \pi \cdot \rho_r \cdot g_n \cdot b_p \cdot (d + b_p) \cdot 10^{-6},$$

где  $\rho_r = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$  – плотность льда;  $b_p$  – расчетная толщина стенки гололеда,  $\text{мм}$ .

$$g_r = 27,7 \cdot b_p \cdot (d + b_p) \cdot 10^{-3}.$$

Результаты расчета зависят от высоты подвеса провода над уровнем земли и от его диаметра. Учет указанных параметров осуществляется с

помощью соответствующих справочных поправочных коэффициентов  $K_d$  и  $K_b$ .

Тогда, расчетная толщина стенки гололеда на НТ:

$$b_p = K_d \cdot K_b \cdot b_n.$$

С учетом специфики эксплуатации, при производстве расчетов,  $b_p$  для КП принимается в 2 раза меньше, чем для НТ [7].

Нагрузка на КП от гололедно-изморозевых образований определяется как:

$$g_{гк} = 13,85 \cdot b_p \cdot (d_k + 0,5 \cdot b_p) \cdot 10^{-3},$$

где  $d_k$  – диаметр КП, мм.

Нагрузка на НТ от гололедно-изморозевых образований определяется как:

$$g_{гт} = 22,16 \cdot b_p \cdot (d_t + b_p) \cdot 10^{-3},$$

где  $d_t$  – диаметр НТ, мм.

Отнесенная к длине пролета нагрузка от гололедно-изморозевых образований на струнах КС:

$$g_{гс} = \rho \cdot \pi \cdot 0,13 \cdot b_n \cdot (1,15 \cdot b_n + d_c) \cdot 10^{-6},$$

$$g_{гс} = 0,367 \cdot b_n \cdot (1,15 \cdot b_n + d_c) \cdot 10^{-3},$$

где  $d_c$  – диаметр струны, мм.

Тогда полная нагрузка от гололедно-изморозевых образований на КП, НТ и струнах КП равна:

$$g_{г} = g_{гт} + n_k \cdot g_{гк} + g_{гс}.$$

Полная вертикальная нагрузка на один метр длины НТ, покрытого гололедно-изморозевыми образованиями:

$$q = g_{г} + g_0.$$

При изначально беспровесном положении КП перемещение НТ на прямых участках, в пределах анкерного участка, при образовании гололеда, приближенно определяется как:

$$H_{\text{пр}} = 2 \cdot \sqrt{\left( \frac{(q + g_0 \cdot \frac{\varphi \cdot K}{T}) \cdot l^2}{8 \cdot (T + \varphi \cdot K)} \right)^2 + \left( \frac{l}{2} \right)^2} - \sqrt{\left( \frac{g_0 \cdot l^2}{8 \cdot T} \right)^2 + \left( \frac{l}{2} \right)^2},$$

где  $T$  – натяжение НТ, Н;  $K$  – натяжение КП, Н;  $\varphi$  – конструктивный коэффициент цепной подвески;  $l$  – длина пролета анкерного участка, м.

С целью снижения веса анкерочных грузов применяются блочные (полиспастного типа) узлы анкеровки [8]. Наиболее распространены двух и трехблочные системы. Наличие блочной анкеровки увеличивает вертикальные перемещения анкерных грузов [9].

При производстве расчетов были приняты следующие допущения [10]:

- нагрузка от гололедно-изморозевых образований равномерна в пределах анкерного участка;
- длина пролетов постоянна в пределах анкерного участка;
- длина анкерного участка  $L_{\text{ay}} = 1600$  м.

Перемещения анкерных грузов определялись в соответствии со следующими выражениями:

- для двухблочных анкерочных узлов:

$$H_{\text{гр}} = 2 \cdot H_{\text{пр}} \cdot \frac{L_{\text{ay}}}{2 \cdot l},$$

- для трехблочных анкерочных узлов:

$$H_{\text{гр}} = 4 \cdot H_{\text{пр}} \cdot \frac{L_{\text{ay}}}{2 \cdot l}.$$

С учетом максимальных значений вертикального смещения при образовании гололеда и, как следствие, более достоверного выявления

гололедно-изморозевых образований на ранней стадии, расчеты производились для анкерных грузов НТ компенсированной подвески М-120+МФ-100 при двухблочном и трехблочном анкерочных узлах, для различных длин пролетов. Толщина стенки гололеда, при условии раннего обнаружения, принималась равной от одного до пяти мм. Результаты расчетов представлены на рис.1 и рис.2.

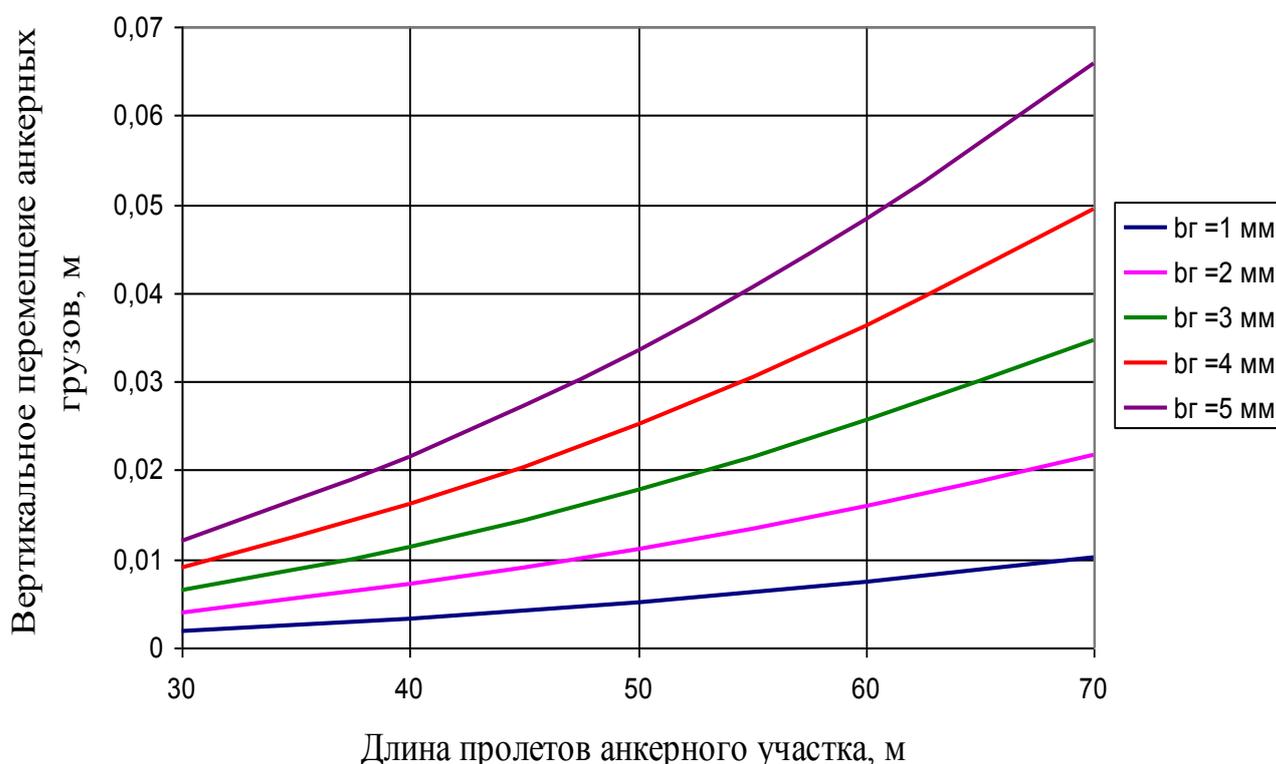


Рис.1 – Перемещения анкерных грузов несущего троса компенсированной подвески М-120+МФ-100 при двухблочных компенсаторах

Полученные результаты подтверждают теоретическую возможность применения систем, контролирующих изменение веса проводов контактной подвески с целью раннего обнаружения гололедно-изморозевых образований.

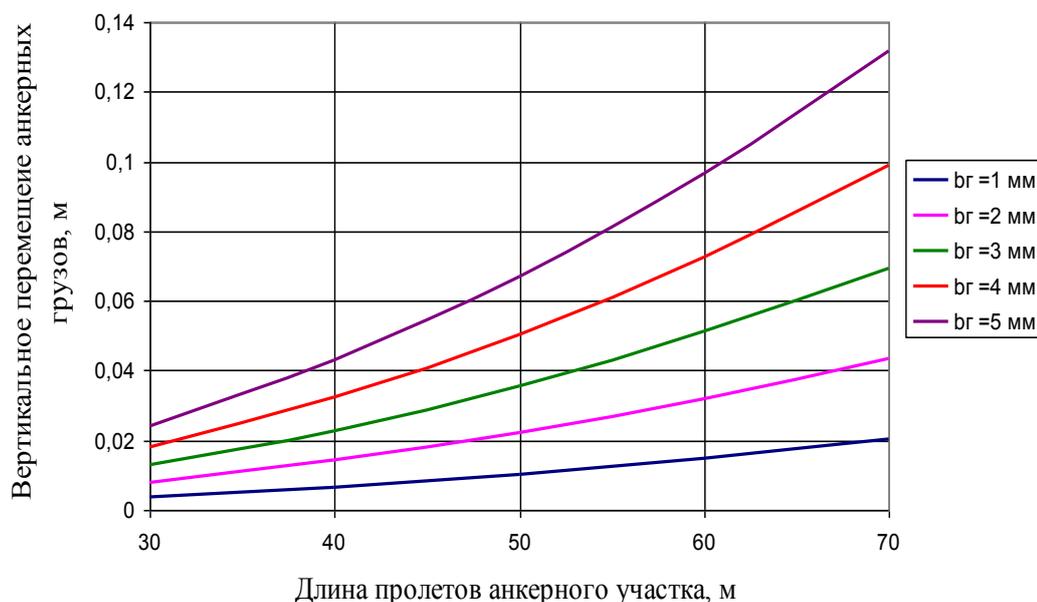


Рис.2 – Перемещения анкерных грузов несущего троса компенсированной подвески М-120+МФ-100 при трехблочных компенсаторах

Необходимо иметь в виду, что при адаптации системы мониторинга на конкретном анкерном участке необходимо учитывать весь комплекс конструктивных и эксплуатационных особенностей. Кроме того, необходимость учета возмущающих воздействий окружающей среды, оказывающих непосредственное влияние на эффективность мониторинга, требует разработки сложных, объектноориентированных математических моделей.

Наиболее очевидными факторами, ощутимо усложняющими практическое применение рассматриваемых систем, представляются:

- необходимость учета воздействия ветровых нагрузок и изменений температуры окружающей среды в режиме реального времени;
- необходимость обеспечения работоспособного состояния компенсаторов, в том числе и при образовании гололеда;



- необходимость учета неоднородности контактной подвески на протяжении анкерного участка;
- необходимость учета неравномерности образования гололеда вдоль анкерного участка;
- необходимость учета воздействия токоприемника электроподвижного состава на контактную сеть.

### 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. Кондрашов И. А., Семенов Ю. Г. Геометрия нагрева контактного провода подвижной электрической дугой // Инженерный вестник Дона. 2020. №7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2020/6542](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2020/6542)
3. Беляев И.А., Вологин В.А. Взаимодействие токоприёмников и контактной сети. – М.: Транспорт, 1983. 192. с
4. Панасенко М.В., Брыкин Д.А. Обзор используемых устройств обнаружения отложений для систем мониторинга воздушных линий электропередачи // Воздушные линии. 2012. №3. С.79-82.
5. Songhai Fan, Xingliang Jiang, Caixin Sun, Zhijin Zhang, Lichun Shu. Temperature characteristic of DC ice-melting conductor // Cold Regions Science and Technology. 2011. № 65. pp. 29-38.
6. Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J.M., García Puertas D., Bañri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines // ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering, and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications. 2011. pp. 149-153.

7. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередач // 1979. 438 с.
8. Кесельман, Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. М.: Транспорт, 1992. 350. с
9. Фрайфельд А.В., Брод Г.Н. Проектирование контактной сети. 3-е изд. М.: Транспорт, 1991. 335 с.
10. Марквардт К.Г. Контактная сеть: учебник для вузов ж.-д. трансп. 4-е изд. М.: Транспорт, 1994. 335 с.

### References

1. Trubicin M. A., Lukashevich O. G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582).
2. Kondrashov I. A., Semenov YU. G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №7 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2020/6542](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2020/6542)
3. Beljaev I.A., Vologin V.A. Vzaimodejstvie tokoprijomnikov i kontaktnoj seti [Interaction of pantographs and overhead contact system]. М.: Transport, 1983. 192 p.
4. Panasenko M.V., Brykin D.A. Vozdushnye linii. 2012. №3 pp.79-82.
5. Songhai Fan, Xingliang Jiang, Caixin Sun, Zhijin Zhang, Lichun Shu. Temperature characteristic of DC ice-melting conductor. Cold Regions Science and Technology, 2011. № 65. pp. 29-38.
6. Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J.M., García Puertas D., Bañri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines. ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering, and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications, 2011. pp. 149-153.



7. Krjukov K.P., Novgorodcev B.P. Konstrukcii i mehanicheskij raschet linij jelektrperedach [Construction and mechanical calculation of power lines]. M.: Transport, 1979. 438 p.
8. Kesel'man, L.M. Osnovy mehaniki vozdushnyh linij jelektrperedachi [. Mechanics foundation of overhead power transmission line]. 1992. 350 p.
9. Frajfel'd A.V., Brod G.N. Proektirovanie kontaktnoj seti [Projecting of overhead contact system]. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1991. 335p. ISBN 5-277-00796-2.
10. Kontaktnaja set: uchebnyj dlja vuzov zh.-d. transp. [Overhead contact system: textbook for railway transport institutes of higher education]. M.: Transport, 1994. 335p.