

**В.С. Ратушняк<sup>1</sup>, В.С. Ратушняк<sup>1</sup>, Е.С. Ильин<sup>1</sup>, О.Ю. Вахрушева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, Российская федерация

## **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ-ЗА ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ ЛЭП НА ТЕРРИТОРИИ РФ**

**Аннотация.** Статья посвящена статистическому анализу гололедных аварий на ЛЭП в осенне-зимний период. Статистические данные показывают рост опасных гидрометеорологических явлений, наносящих социальные и экономические потери, в том числе в энергетическом хозяйстве в части эксплуатации ЛЭП. В связи с этим встает вопрос недостаточности применяемых электросетевыми компаниями методов борьбы с гололедом при увеличивающейся протяженности ЛЭП и актуальности разработки эффективного способа предупреждения и борьбы с гололедом на проводах.

**Ключевые слова:** ЛЭП, ОЗП, гололедно-изморозевые отложения, статистика аварий

**V.S. Ratushnyak<sup>1</sup>, V.S. Ratushnyak<sup>1</sup>, E.S. Ilyin<sup>1</sup>, O.Y. Vachrusheva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch of the Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Irkutsk state transport University", Krasnoyarsk, the Russian Federation

## **STATISTICAL ANALYSIS OF EMERGENCY ELECTRIC POWER SHUTDOWNS BECAUSE OF SURGERY GENERATION ON WIRES OF POWER LINES IN THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**Abstract.** The article is devoted to the statistical analysis of ice accidents on power transmission lines during the autumn-winter period. Statistical data show the growth of dangerous hydrometeorological phenomena, causing social and economic losses, including in the energy sector in the field of operation of transmission lines. In this connection, the question arises of the inadequacy of methods used by electric grid companies to combat ice during the increasing length of power lines and the urgency of developing an effective method for preventing and controlling ice on the wires.

**Keywords:** power line, autumn-winter period, ice-frost deposits, accident statistics

### **Введение**

Для передачи электроэнергии на большие расстояния и распределения ее по потребителям широко применяют воздушные линии электропередачи (ЛЭП), одним из основных элементов которых являются провода. В период ОЗП при определенных метеорологических условиях, таких как высокая влажность, ветер, резкие перепады температуры воздуха, на проводах образуются отложения в форме льда и снега. Даже небольшое обледенение может значительно увеличить механические нагрузки на все элементы воздушных линий: так, при ледяной муфте толщиной 10 мм масса двупековой ЛЭП из 6 проводов 200-метровой длины возрастает с 565,2 кг до 1,5 тонн. При муфте 30 мм – до 5 тонн, при муфте 40 мм – до 8 тонн.

В результате значительного увеличения массы проводов и воздействующих на них динамических и статических нагрузок происходят опасные и нежелательные явления, особенно при сильном ветре. К их числу относятся обрыв токопроводящих проводов и грозозащитных тросов под тяжестью снега и льда, недопустимо близкое сближение проводов и их сильное раскачивание (так называемая «пляска»), ухудшение защитных свойств изоляторов, разрушение опор.

В связи с увеличением протяженности ЛЭП за счет введения в эксплуатацию новых участков [3], в том числе в гололедоопасных районах, возрастает риск учащения случаев аварийных отключений энергопотребителей в период ОЗП. Количество аварийных

отключений в основном зависит от погодных условий в течение осенне-зимнего периода и готовности электросетевого предприятия к прохождению ОЗП.

#### **Значимость и доля гололедных аварий**

Общая протяженность линий электропередачи в России составляет порядка 3 млн. км [2], из которых значительная часть находится в третьем, четвертом и особом районах по гололеду, подверженных в зимнее время и в межсезонье образованию сверхрасчетных гололедных отложений.

Последние статистические данные, полученные из Министерства энергетики [1,5-6], подтверждают высокую значимость гололедных явлений для уровня массовых нарушений электроснабжения: так, доля аварий по причине гололеда от общего количества аварий в течение последних 5 лет колеблется около  $11 \pm 3\%$  (табл 1).

**Таблица 1. Аварийность на объектах энергетики, в том числе по причине гололедообразования**

ОЗП	Количество аварийных отключений по причине гололедообразования, шт.	Общее количество аварий, шт	Доля аварий по причине гололеда от общего количества аварий, %
2013-2014	420	4841	8,68
2014-2015	481	3983	12,08
2015-2016	310	3755	8,26
2016-2017	269	3439	7,82
2017-2018	503	3404	14,78

Риск учащения случаев аварийных отключений энергопотребителей в период ОЗП связан с одной стороны с увеличением протяженности ЛЭП за счет введения в эксплуатацию новых участков [3], в том числе в гололедоопасных районах. С другой стороны, с практикуемыми методами борьбы с обледенением, среди которых отмечены [1,5-6] только два метода: тепловой и механический. В подавляющем большинстве случаев применяется тепловой способ, т.е. плавка гололеда (табл. 2).

**Таблица 2. Аварии по причине гололедообразования и методы борьбы с обледенением**

ОЗП	Количество аварийных отключений по причине гололедообразования, шт.	Количество плавок гололеда, шт	Механическое удаление гололеда, шт.
2013-2014	420	538	56
2014-2015	481 (+15%)	919	47
2015-2016	310 (-36%)	398	78
2016-2017	269 (-13%)	655	66
2017-2018	503 (+87%)	692	95

Кроме факторов готовности электросетевых объектов к ОЗП следует отметить влияние природно-климатического фактора, влияющего на динамику образования гололедно-изморозевых отложений на ЛЭП. Так, в период ОЗП 2014-2015 гг произошел прирост общего количества аварий по причине гололеда на 15% несмотря на проведенное количество плавок, вдвое превысившее предыдущий ОЗП, что говорит о не благоприятности погодных условий в этот период. В период ОЗП 2017-2018 гг произошел скачок количества аварийных отключений по причине наледообразования – на 87% в сравнении с предыдущим ОЗП (табл. 2).

### Статистика опасных гидрометеорологических явлений

По данным Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) [4], в период с 1991 по 2015 гг. сохранялась тенденция роста количества опасных гидрометеорологических явлений (ОГЯ) и неблагоприятных условий погоды (НУП), нанесших социальные и экономические потери за последние 25 лет (рис. 1). При этом наблюдается прирост случаев ОГЯ и НУП, в среднем на 15 в год. Такая динамика связана с увеличением экономической активности и количества хозяйствующих потребляющих объектов.

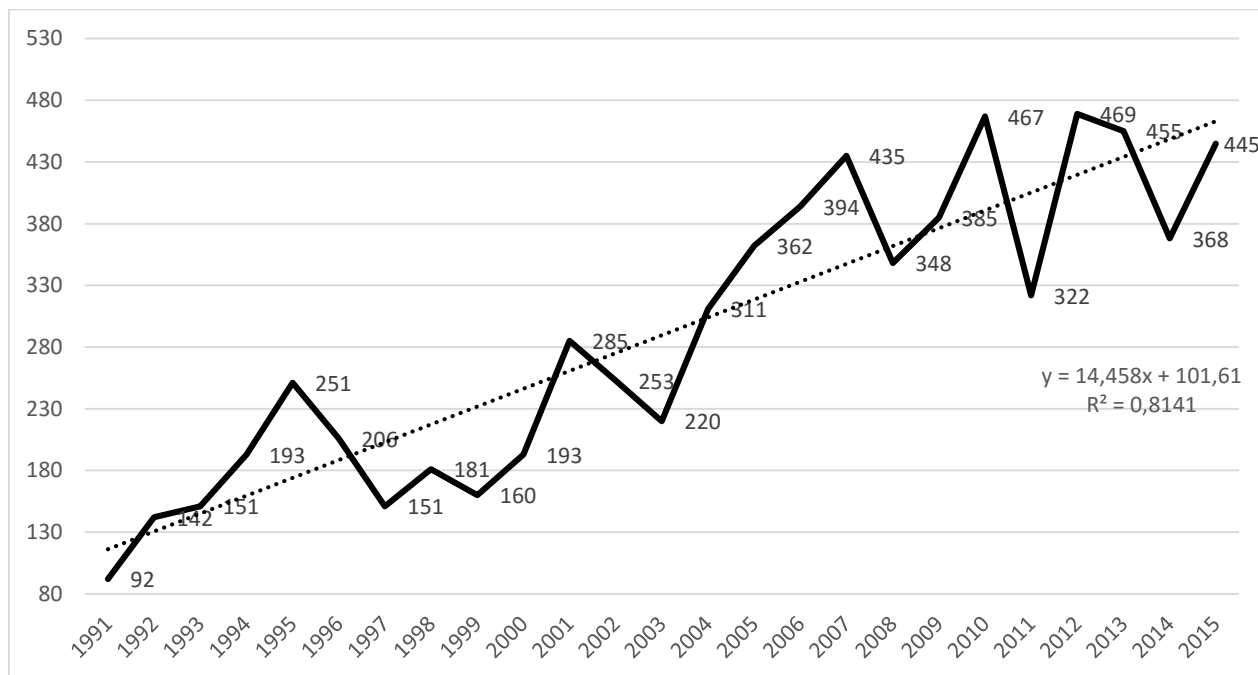
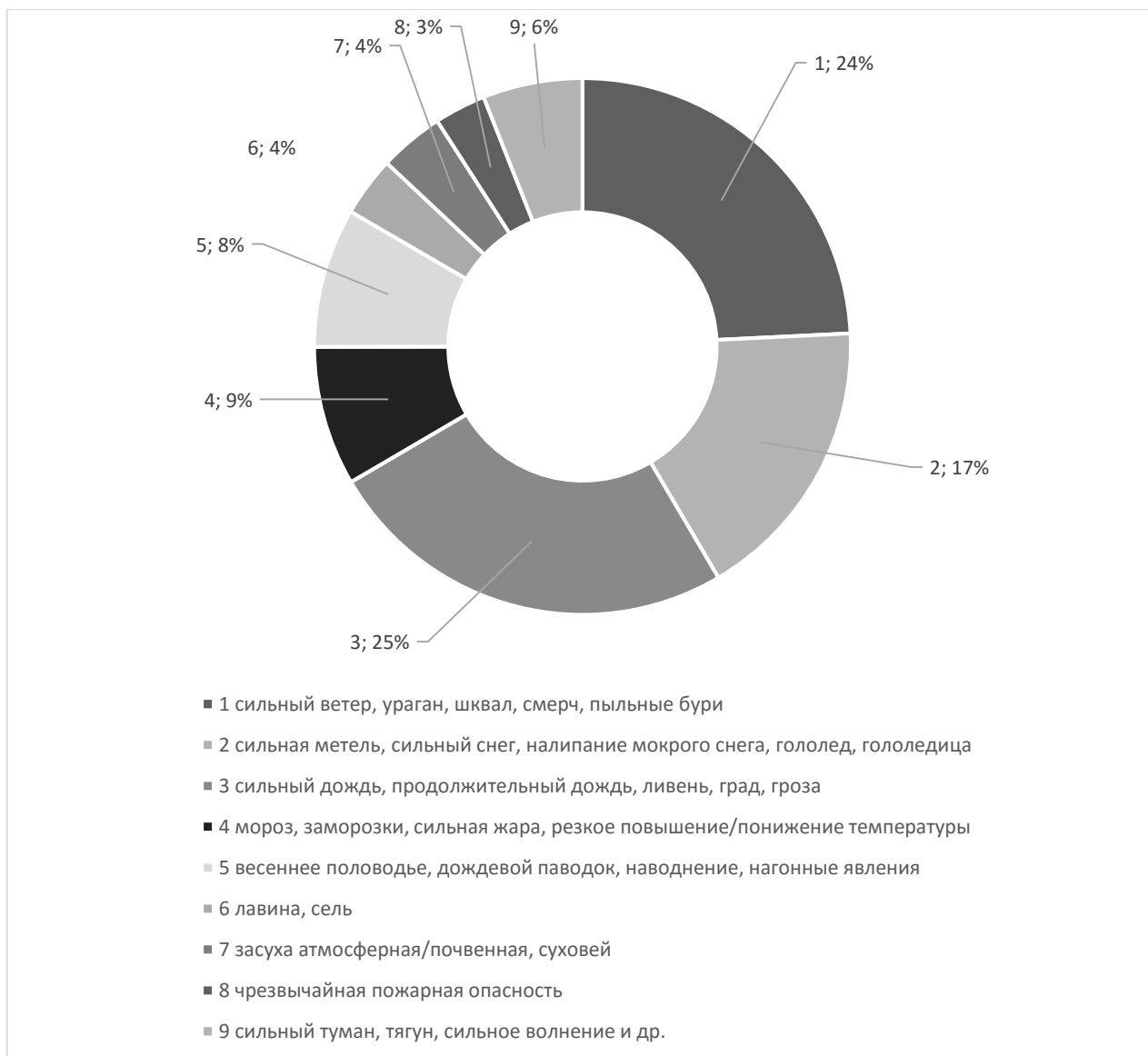


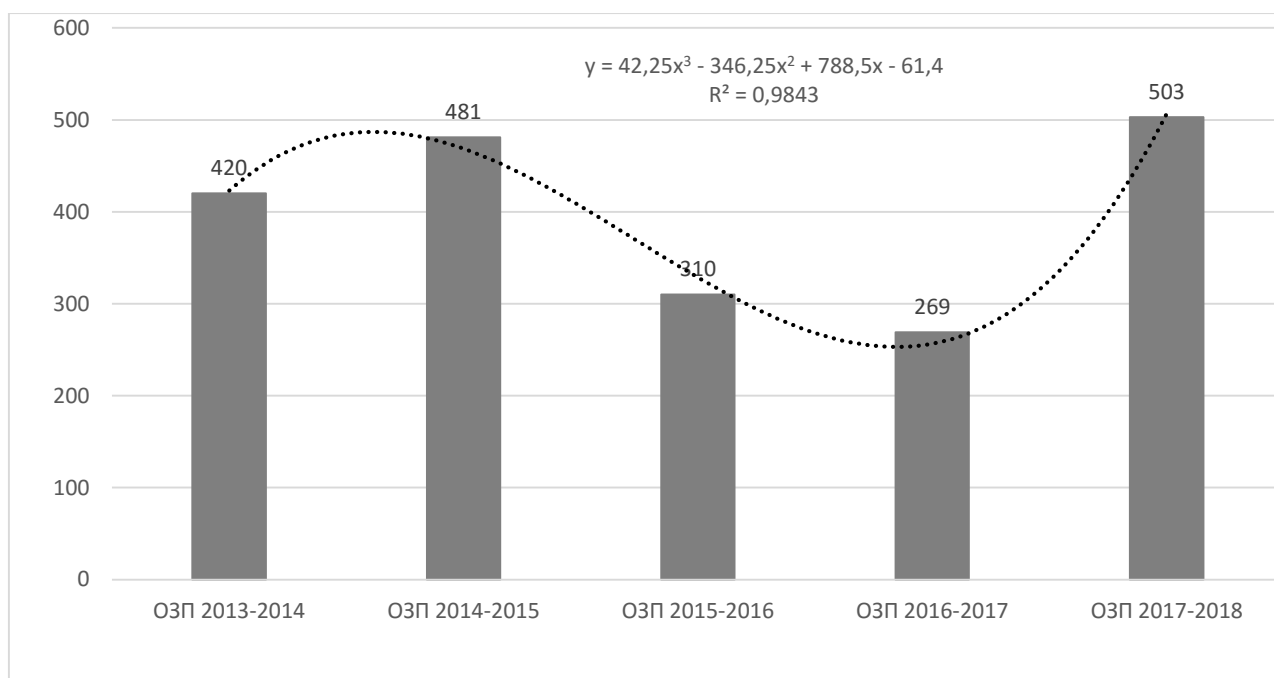
Рис. 1 Распределение суммарного числа случаев ОГЯ и НУП по годам, нанесшие социальные и экономические потери

В процессе анализа факторов ОГЯ, нанесших социальные и экономические потери, построена диаграмма распределения по видам явлений (рис. 2).



**Рис. 2 Доля числа случаев ОГЯ (по видам опасных явлений)**

Из диаграммы видно, что почти 20% всех ОГЯ за 1991-2015 гг. приходится на вторую группу из 9 явлений – сильная метель, сильный снег, налипание мокрого снега, гололед, гололедица. Таким образом, угроза аварий по причине гололедных явлений занимает третье место среди всех опасных гидрометеорологических явлений. Высокая значимость этого природного фактора подтверждается статистикой аварийных отключений [1, 5] из-за гололедообразования на территории РФ (рис. 3).



**Рис. 3** Количество аварийных отключений из-за гололедообразования на территории РФ, шт

Составлен прогноз на период ОЗП 2018-2019, согласно которому с вероятностью 90% ожидается от 1196 до 1465 аварийных отключений из-за гололедообразования на территории РФ. Для трендового прогнозирования использована полиномиальная функция 3 степени. Достоверность построенной математической модели высокая, так как значение  $R^2$  составляет 0,98.

#### **Заключение**

Прогрессирующая статистика гололедных отключений указывает на недостаточность применяемых электросетевыми компаниями методов борьбы с гололедом при увеличивающейся протяженности ЛЭП и ставит актуальный вопрос о разработке эффективного метода борьбы с гололедом на проводах ЛЭП.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Всероссийское совещание «Об итогах прохождения осенне-зимнего периода 2017-2018 годов.» [Электронный ресурс] : Министерство энергетики Российской Федерации: [сайт]. [2018]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/7822> (дата обращения: 09.09.2018)
2. Добрусин Л.А. Повышение энергоэффективности электросетевого комплекса России // Энергосбережение. 2013. №7. С.54-61
3. Инвестиционная деятельность [Электронный ресурс] : годовой отчет 2016 ПАО «ФСК ЕЭС»: [сайт]. [2016]. URL: [http://report2016.fsk-ees.ru/strategic\\_report/investing\\_activities/](http://report2016.fsk-ees.ru/strategic_report/investing_activities/) (дата обращения: 09.09.2018)
4. Коршунова Н. Н. Стихийные гидрометеорологические явления на территории России в 2015 году [Электронный ресурс] // ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». [сайт]. [2015]. - URL: <http://meteo.ru/component/content/article/118-chrezvychnye-situatsii-v-rossii/620-chrezvychnye-situatsii-v-rossii-2015> (дата обращения: 09.09.2018)
5. Подготовка к осенне-зимнему периоду 2016–2017, прохождение и основные итоги ОЗП 2015–2016 / Под ред. заместителя Министра энергетики Российской Федерации А. В. Черезова. 2016. — 216 с.
6. Режимно-балансовая ситуация в ЕЭС России в ОЗП 2014-2015 г. [Электронный ресурс] : Министерство энергетики Российской Федерации: [сайт]. [2018]. URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/2274/2634> (дата обращения: 09.09.2018)

## REFERENCES

1. Vserossiyskoye soveshchaniye «Ob itogakh prokhozhdeniya osenne-zimnego perioda 2017-2018 godov.» [All-Russian meeting "On the results of the autumn-winter period 2017-2018."]. *Ministerstvo energetiki Rossiyskoy Federatsii* [Ministry of Energy of the Russian Federation], 2018, URL: <https://minenergo.gov.ru/node/7822>
2. Dobrusin L.A. Povysheniye energoeffektivnosti elektrosetevogo kompleksa Rossii [Increasing the energy efficiency of the power grid in Russia]. *Energoberezeniye* [Energy saving], 2013, No. 7, pp.54-61
3. Investitsionnaya deyatelnost [Investment activities]. *Godovoy otchet 2016 PAO «FSK EES»* [Annual report 2016 of PJSC "FGC UES"], 2016, URL: [http://report2016.fsk-ees.ru/strategic\\_report/investing\\_activities/](http://report2016.fsk-ees.ru/strategic_report/investing_activities/)
4. Korshunova N. N. Stikhiynnye gidrometeorologicheskiye yavleniya na territorii Rossii v 2015 godu [Elemental hydrometeorological phenomena on the territory of Russia in 2015]. *FGBU «VNIIGMI-MTsD» [RIHMI—WDC]*, 2015, URL: <http://meteo.ru/component/content/article/118-chrezvychajnye-situatsii-v-rossii/620-chrezvychajnye-situatsii-v-rossii-2015>
5. Podgotovka k osenne-zimnemu periodu 2016–2017, prokhozhdeniye i osnovnyye itogi OZP 2015–2016 [Preparation for the autumn-winter period 2016-2017, the passage and main results of autumn and winter period 2015-2016]. *Pod red. zamestitelya Ministra energetiki Rossiyskoy Federatsii A. V. Cherezova* [Edited by Deputy Minister of Energy of the Russian Federation A. V. Cherezov], 2016, 216 p.
6. Rezhimno-balansovaya situatsiya v EES Rossii v OZP 2014-2015 g. [The regime-balance situation in the UES of Russia in autumn and winter period 2014-2015.]. *Ministerstvo energetiki Rossiyskoy Federatsii* [Ministry of Energy of the Russian Federation], 2018, URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/2274/2634>

## Информация об авторах

*Ратушняк Валентина Сергеевна* – аспирант, преподаватель, Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: [ratushnyak\\_vas@krsk.irkups.ru](mailto:ratushnyak_vas@krsk.irkups.ru)

*Ратушняк Виктор Сергеевич* – к.т.н., доцент кафедры «Системы обеспечения движения поездов», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: [ratushnyak\\_vs@krsk.irkups.ru](mailto:ratushnyak_vs@krsk.irkups.ru)

*Ильин Евгений Сергеевич* – к.т.н., доцент кафедры «Системы обеспечения движения поездов», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: [iluin\\_es@krsk.irkups.ru](mailto:iluin_es@krsk.irkups.ru)

*Вахрушева Оксана Юрьевна* – аспирант, преподаватель, Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: [vakhrusheva\\_ou@krsk.irkups.ru](mailto:vakhrusheva_ou@krsk.irkups.ru)

## Authors

*Valentina Sergeevna Ratushnyak* – graduate student, teacher, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch of the Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Irkutsk state transport University", Krasnoyarsk, e-mail: [ratushnyak\\_vas@krsk.irkups.ru](mailto:ratushnyak_vas@krsk.irkups.ru)

*Viktor Sergeyevich Ratushnyak* – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Trains provision systems, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch of the Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Irkutsk state transport University", Krasnoyarsk, e-mail: [ratushnyak\\_vs@krsk.irkups.ru](mailto:ratushnyak_vs@krsk.irkups.ru)

*Yevgeniy Sergeyevich Ilyin* – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Trains provision systems, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch of

the Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Irkutsk state transport University", Krasnoyarsk, e-mail: ratushnyak\_vs@krsk.irkups.ru

Oksana Yuryevna Vachrusheva – graduate student, teacher, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, branch of the Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Irkutsk state transport University", Krasnoyarsk, e-mail: vakhrusheva\_oy@krsk.irkups.ru

#### **Для цитирования**

Ратушняк В.С. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ [Электронный ресурс] / В.С. Ратушняк, В.С. Ратушняк, Е.С. Ильин, О.Ю. Вахрушева // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2018. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/11-2018>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 13.09.2018)

#### **For citation**

Ratushnyak V.S., Ratushnyak V.S., Ilyin E.S., Vachrusheva O.Y. Statisticheskiy analiz avariynykh otklyucheniy elektroenergii iz-za gololedoobrazovaniya na provodakh LEP na territorii RF [Statistical analysis of emergency electric power shutdowns because of surgery generation on wires of power lines in the territory of the Russian Federation]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 1. [Accessed 13/09/18]