



ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ГОЛОЛЕДНОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Минкин А. С. ORCID ID 0009-0008-4990-1463,

Касимов В. А. ORCID ID 0000-0002-2316-2278

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет», Казань, Российская Федерация,
e-mail: cntnur_mn@mail.ru*

Вопрос аварийности в электрических сетях, обусловленной образованием гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных линий электропередачи, требует взвешенного подхода к принятию решений о проведении плавки гололеда, поскольку выполнение этой операции связано с отключением линии и существенными эксплуатационными расходами. Цель работы: предложить метод оценки степени гололедной опасности для воздушных линий электропередачи на основе расчета механического напряжения фазных проводов в пролете. Для достижения поставленной цели выполнены расчеты механического напряжения провода воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ. Варьируемыми параметрами выступали толщина стенки гололедно-изморозевых отложений с учетом их различной плотности, а также перпендикулярная составляющая скорости ветра. Для аппаратного мониторинга состояния линии описан метод локационного зондирования. В результате расчетов установлены зависимости допустимых значений механического напряжения от параметров гололедной и ветровой нагрузок, что позволяет количественно оценивать уровень гололедной опасности для рассматриваемой линии электропередачи. Обосновано, что применение метода локационного зондирования дает возможность обнаруживать и отслеживать динамику развития отложений на проводах, обеспечивая необходимую информационную поддержку для принятия решений. Предложенный подход, основанный на совместном использовании расчетных методов определения механического напряжения и аппаратного локационного контроля, позволяет повысить обоснованность решений о необходимости проведения плавки гололеда, что способствует снижению аварийности и оптимизации затрат сетевых компаний.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, гололедно-изморозевые отложения, ветровые нагрузки, плавка гололеда, механическое напряжение провода, локационный комплекс, толщина стенки гололеда, мониторинг, экономический ущерб

ESTIMATE OF THE LEVEL OF ICE HAZARD FOR OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES

Minkin A. S. ORCID ID 0009-0008-4990-1463,

Kasimov V. A. ORCID ID 0000-0002-2316-2278

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kazan State Power Engineering University», Kazan, Russian Federation,
e-mail: cntnur_mn@mail.ru*

The issue of accidents in electrical networks caused by the formation of ice and frost deposits on overhead power line wires requires a balanced approach to making decisions about melting ice, since performing this operation is associated with the shutdown of the line and significant operating costs. The purpose is to propose a method for assessing the degree of ice hazard for overhead power lines based on calculating the mechanical stress of phase conductors within a span. To achieve this objective, mechanical stress calculations were performed for a 110 kV overhead power line conductor. The variable parameters included the thickness of the ice and frost deposit wall, taking into account their varying density, as well as the perpendicular component of wind speed. A location probing method is described for hardware-based line condition monitoring. The calculations resulted in the dependence of permissible mechanical stress values on ice and wind load parameters, which allows for a quantitative assessment of the ice hazard level for the power line in question. It is demonstrated that the use of the location probing method makes it possible to detect and monitor the dynamics of deposits on wires, providing the necessary information support for decision-making. The proposed approach, based on the combined use of computational methods for determining mechanical stress and hardware-based location monitoring, allows for more informed decisions regarding the need for ice melting, thereby reducing accidents and optimizing grid company costs.

Keywords: overhead power line, ice and frost deposits, wind loads, ice melting, mechanical stress of the wire, location complex, ice wall thickness, monitoring, economic damage

Введение

Надежность любой системы – это её характеристика, которая обеспечивает выполнение своих функций в необходимом объеме и установленного качества. Для электро-

энергетики надежность – это способность обеспечивать потребителей стабильной и качественной электрической энергией. Одним из основных элементов электроэнергетических систем являются линии электро-

передачи (ЛЭП), которые предназначены для передачи электроэнергии от объектов генерации к преобразовательным и распределительным узлам, потребителям, а также для связи смежных энергосистем. В энергосистеме России преобладают воздушные ЛЭП, которые осуществляют передачу электрической энергии по проводам, находящимся на открытом воздухе. Воздушные ЛЭП относятся к наиболее повреждаемым элементам электрических сетей из-за их большой территориальной протяженности и подверженности влиянию природных воздействий, поэтому проектирование линий осуществляется с учетом карт климатического районирования [1-3].

В данной работе рассматривается влияние на надежность ЛЭП одного из самых опасных климатических факторов – образования гололедно-изморозевых отложений при различных значениях поперечной к линии электропередачи скорости ветра. Согласно данным ПАО «Россети Центр» за 2022 год, около 44% аварийных отключений в сетях напряжением 110 кВ и выше были вызваны природными факторами, такими как грозовые разряды, ветровые воздействия и гололедно-изморозевые отложения [4]. При этом наиболее тяжелые и сложные для устранения повреждения связаны именно с образованием гололеда на элементах линий электропередачи. Проведенный анализ многолетней статистики аварий на объектах электроэнергетики [5] показал, что повреждения, обусловленные гололедообразованием на проводах ЛЭП, составляют в среднем $11 \pm 3\%$ от общего числа аварий. Обледенение линий электропередачи приводит к большому экономическому ущербу, так как на устранение последствий аварий требуются значительные временные и материальные ресурсы. Так, в декабре 2001 года в Сочинских электрических сетях вследствие гололедно-ветровых нагрузок произошла крупная авария: было повреждено около 2,5 тыс. км воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–220 кВ, а без электроснабжения остались порядка 320 тыс. потребителей [6]. Аналогично, в 2008 году на острове Сахалин разрушения ВЛ привели к экономическим потерям, превысившим 200 млн рублей [7]. Тенденция увеличения числа случаев, продолжительности и веса отложения мокрого снега обнаружена на большей части России [8]. При этом метеорологические условия образования опасных гололедно-изморозевых отложений отличаются от условий образования отложений небольшого диаметра [9].

Предотвращение гололедных аварий обеспечивает повышение надежности элек-

троснабжения и тем самым исключает экономические потери, к которым они могут привести. Поэтому в случае гололедообразования на проводах необходимо оперативное определение начала процесса гололедообразования и размеров отложений с учетом возможных ветровых нагрузок для своевременного принятия мер по их удалению.

Самым эффективным и распространенным методом удаления гололедно-изморозевых отложений является плавка, когда по закороченным проводам ЛЭП пропускают токи, достаточные для их нагрева [10]. Принятие решения о проведении мероприятий по удалению гололедно-изморозевых отложений производится на основе приблизительной оценки вида отложений, толщины их стенки, наличия ветра. Такая оценка гололедно-ветровой опасности приводит к перестраховке, и, по данным [11], в 85% случаях плавку можно было не производить и тем самым исключить повышенное старение проводов ЛЭП из-за нагрева, недоотпуск электроэнергии потребителям и её перерасход для самой плавки. Следовательно, проведение плавки гололеда целесообразно лишь при наличии реальной опасности возникновения аварийной ситуации. Для этого требуется достоверная информация о процессах формирования и нарастания гололедно-изморозевых отложений, а также о достижении ими критической толщины, а если плавка гололеда производится, то важен контроль за её процессом для управления режимами и продолжительностью [12, с. 84; 13].

Цель исследования – разработка метода численной оценки гололедно-ветровых нагрузок для определения степени опасности для воздушных линий электропередачи на основе расчета механического напряжения фазных проводов в полете.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели выполнены расчеты механического напряжения провода воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ. Варьируемыми параметрами выступали толщина стенки гололедно-изморозевых отложений с учетом их различной плотности, а также перпендикулярная составляющая скорости ветра. Механическое напряжение провода ЛЭП описывается уравнением состояния провода в полете, который имеет вид [12, с. 378; 14]:

$$\sigma - \frac{\gamma_1^2 l^2}{24\beta\sigma^2} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 l^2}{24\beta\sigma_m^2} - \frac{\alpha}{\beta}(t - t_m), \quad (1)$$

где σ – напряжение в проводе при заданной температуре t , даН/мм²; σ_m – известное на-

пряжение в проводе при t_m ; l – длина пролета; γ и γ_m – удельные нагрузки проводов для искомых и известных условий; t и t_m – температура воздуха в искомых и известных условиях, °C; $t = -2^\circ\text{C}$ – расчетная температура; $t_m = 2,8^\circ\text{C}$ – среднегодовая температура (для Казани); α – температурный коэффициент линейного удлинения провода, $1/^\circ\text{C}$; $\beta = 1/E$ – коэффициент упругого удлинения провода; E – модуль упругости.

В качестве примера рассматривается ЛЭП напряжением 110 кВ с длиной пролета 220 м, маркой провода АС–120/19, имеющего максимальное (критическое) механическое напряжение $\sigma_{\text{max}} = 30,43$ даН/мм², при котором достигается паспортное значение усилия разрыва провода, диаметр провода – 15,2 мм, площадь сечения – 136,43 мм², коэффициент линейного удлинения провода – $19,2 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, модуль упругости – 8250 даН/мм² [15]. Суммарная удельная нагрузка провода определяется как:

$$\gamma = [(\gamma_{\text{гол}} + \gamma_0)^2 + \gamma_{\text{вет}}^2]^{-0,5} \quad [16], \quad (2)$$

где для рассматриваемого провода $\gamma_0 = 3,45$ кг/(м мм²), $\gamma_{\text{гол}}$ и $\gamma_{\text{вет}}$ – удельные нагрузки гололеда и ветра при гололеде – $\gamma_{\text{гол}} = P_{\text{гол}}/S$, где $P_{\text{гол}}$ – гололедная нагрузка на провод, S – сечение провода, мм².

Гололедная нагрузка на провода определяется как:

$$P_{\text{гол}} = \rho \cdot 10^{-3} \pi b (d_{\text{п}} + b), \quad (3)$$

где ρ – плотность гололеда, г/см³, b – толщина стенки гололеда, мм; $d_{\text{п}}$ – диаметр провода, мм. Удельная ветровая нагрузка при гололеде – $\gamma_{\text{вет}} = P_{\text{вет}}/S$. Ветровая нагрузка на провод при гололеде определяется как:

$$P_{\text{вет}} = W c_x (d_{\text{п}} + 2b) 10^{-3}, \quad (4)$$

где $W = v^2 / 1,6$ – ветровое давление; v – поперечная к ЛЭП составляющая скорости ветра; $c_x = 1,2$ – усредненный аэродинамический коэффициент при гололеде на проводах.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате решения уравнения состояния провода (1) были определены зависимости механического напряжения в проводе от толщины гололедной оболочки при различных скоростях ветра для воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ. На рисунке 1 показаны зависимости механического напряжения провода от толщины стенки гололеда при различных скоростях ветра для двух различных видов гололедно-изморозевых от-

ложений – гололеда с плотностью 0,9 г/см³ и изморози с плотностью 0,3 г/см³.

На графиках, представленных на рисунке 1, линии 1 и 2 отражают соответственно критическое и допустимое (принятое на уровне 60% от критического) значения механического напряжения провода для данной линии электропередачи. Из анализа видно, что с увеличением скорости ветра угроза целостности провода наступает при меньшей толщине отложений.

На основе значений толщины гололеда и скорости ветра, при которых механическое напряжение достигает допустимого уровня (в рассматриваемом случае 18,3 даН/мм²), были построены графики в виде изолиний допустимых напряжений (рис. 2) для гололедно-изморозевых образований с различной плотностью.

Из рисунка 2 видно, что с увеличением скорости ветра различие в значениях допустимого механического напряжения для гололедно-изморозевого отложения с разными плотностями уменьшается, т. к. ветровая нагрузка начинает превалировать над гололедной. Также из изменений кривых зависимостей рисунка 2 можно заметить, что чем меньше плотность гололедно-изморозевого отложения, тем при меньших скоростях ветра начинается его влияние. Это объясняется тем, что допустимое значение механического напряжения для отложений с меньшей плотностью достигается при больших значениях его стенки, что приводит к увеличению ветровой нагрузки. Так, для гололеда с плотностями 0,9 г/см³, 0,6 г/см³ ветер начинает оказывать заметное влияние при скоростях, больших 5 м/с, а для изморози с плотностью 0,3 г/см³ это заметно уже при скорости ветра 3 м/с. Допустимый 60%-ный уровень механического напряжения для гололеда плотности 0,9, 0,6, 0,3 г/см³ при отсутствии ветра достигается при толщине стенки 17,1, 22,1, 33,8 мм соответственно, что совпадает с минимальными значениями толщины стенки отложений, являющихся опасными, приведенными в [17]. А при значениях скорости ветра, начиная с 10 м/с, допустимый уровень механического напряжения становится одинаковым для всех рассмотренных видов гололедно-изморозевых отложений, при этом допустимая толщина стенки отложений составляет 5 мм.

В уравнении состояния провода (1) параметрами, которые характеризуют конкретную ЛЭП, являются длина пролета и технические характеристики фазного провода, поэтому допустимое значение механического напряжения для различных линий будет отличаться [18].

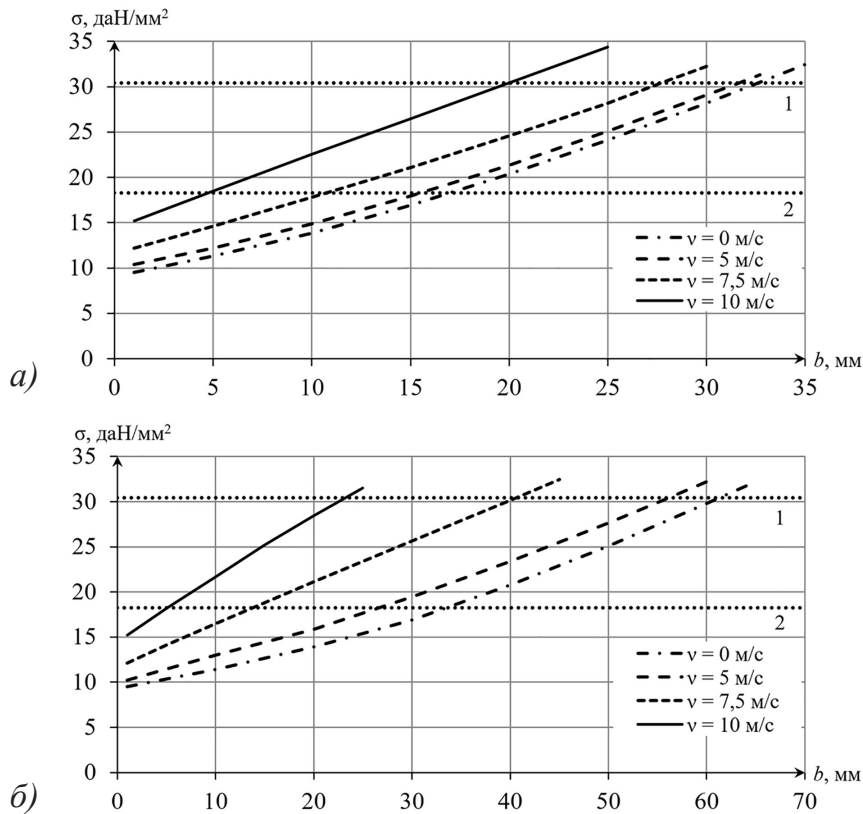


Рис. 1. Зависимости механического напряжения в проводе от толщины гололедно-изморозевых отложений при плотности 0,9 (а) и 0,3 г/см³ (б) для различных скоростей ветра, $v = 0, 5, 7,5$ и 10 м/с, прямые 1 и 2 – соответственно критическое и допустимое значения механического напряжения
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

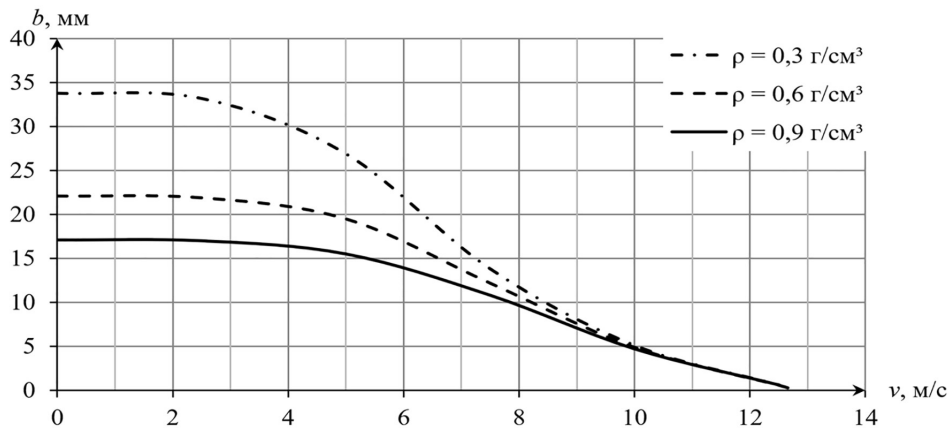


Рис. 2. Зависимость предельно допустимой толщины гололедно-изморозевых отложений (при которой механическое напряжение достигает допустимого уровня) от скорости ветра для различных значений плотности образования, $\rho = 0,3, 0,6$ и $0,9 \text{ г/см}^3$
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Имея точную информацию о толщине стенки и плотности гололеда, скорости и направлении ветра, можно оценить степень опасности для конкретной ЛЭП. Информация о скорости и направлении ветра содержится в метеосводках, и, как показали расче-

ты, ветер со скоростями менее 5 м/с не оказывает заметного влияния на механическое напряжение провода. В этих условиях актуальна информация только о наличии гололеда на проводах ЛЭП и его параметрах, которую можно получить измерениями.

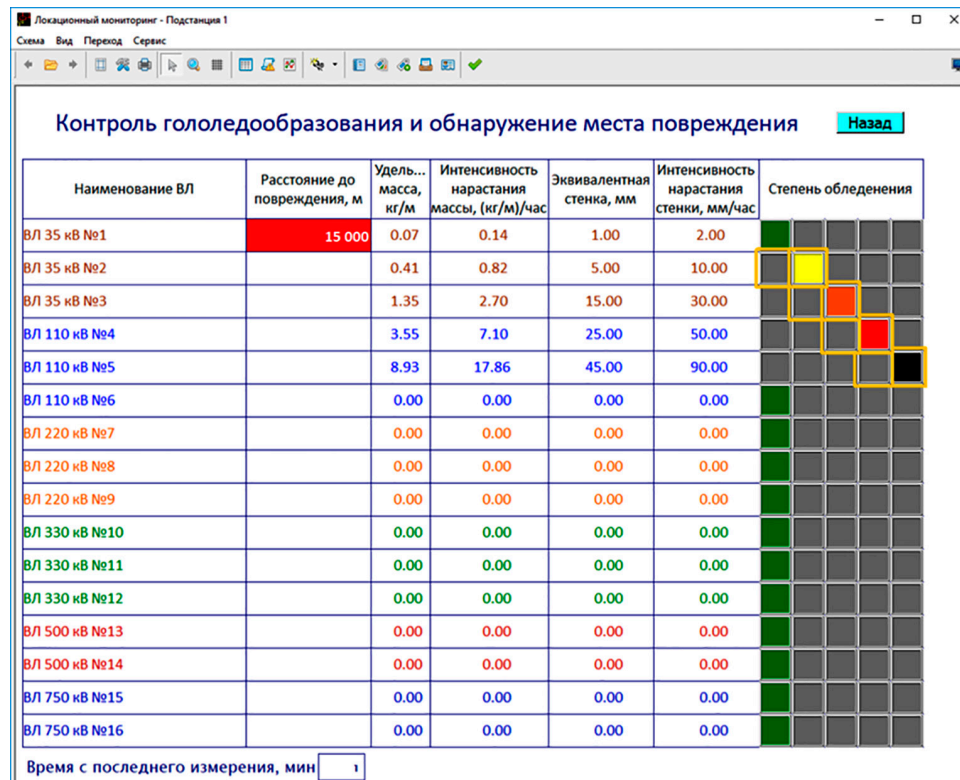


Рис. 3. Визуализация результатов локационного зондирования проводов
Источник: составлено авторами на основе источника [14]

Одним из аппаратных способов мониторинга состояния линий электропередачи, способным непрерывно предоставлять такую информацию, является метод локационного зондирования [19–21]. Его принцип заключается в измерении и последующей программной обработке параметров отражённых импульсных сигналов – их затухания и запаздывания при распространении по фазным проводам ЛЭП, которые определяются характеристиками гололедно-изморозевых отложений. При помощи локационного комплекса можно контролировать все ЛЭП, отходящие от подстанции, на которой он установлен. Кроме того, если производится плавка гололеда, то локационный комплекс позволяет отслеживать этот процесс в реальном времени и давать информацию, когда можно прекратить плавку и восстановить передачу электроэнергии по ней в штатном режиме. Локационные комплексы размещаются на подстанциях и подключаются к существующему высокочастотному тракту ЛЭП без необходимости его модернизации, поскольку он уже используется для организации ВЧ-связи, телемеханики, релейной защиты, автоматики и телефонной связи. Применение локационной технологии позволяет с помощью единого программно-аппаратного решения не только выявлять и отслеживать изменения гололедных отложений

на проводах, но и определять места возникновения повреждений. Место повреждения на ЛЭП определяется по значению времени прихода отраженного сигнала. Одновременно можно определить и характер повреждения. Повреждение может быть в виде обрыва или короткого замыкания фазных проводов. Отраженные локационные импульсы от места обрыва фазного провода и места короткого замыкания имеют разные полярности, положительную и отрицательную соответственно. Точное и быстрое определение места повреждения линии электропередачи сокращает время, затрачиваемое на устранение аварии. Результаты локационного зондирования визуализируются на экранах мониторов диспетчерских пунктов. На рисунке 3 приведен один из способов визуализации [19] в виде таблицы, содержащей параметры гололедного отложения, расчетные значения допустимых значений стенки гололеда, для всех отходящих от подстанции ЛЭП, с цветовой индикацией, показывающей степень опасности. Определенный цвет индикации соответствует состоянию линии: черный – обрыв проводов контролируемой линии; красный – очень сильное обледенение, превышающее допустимое; оранжевый – сильное обледенение, необходима плавка гололеда; желтый – наличие гололеда в допустимых пределах; зеленый – гололед отсутствует.

Заключение

Предложенный подход, основанный на совместном использовании расчетных методов определения механического напряжения и аппаратного локационного контроля, позволяет повысить обоснованность решений о необходимости проведения плавки гололеда, что способствует снижению аварийности и оптимизации затрат сетевых компаний. Показано, что для каждой отходящей от подстанции линии можно в реальном времени определять механическое напряжение провода в зависимости от толщины стенки, плотности гололедно-изморозевых отложений и скорости ветра. Тем самым возможно оценить степень опасности для ЛЭП и своевременно предпринять меры по недопущению аварийной ситуации.

Список литературы

1. Луговой В. А., Тимашова Л. В., Черешнюк С. В. Учет климатических нагрузок на воздушные линии электропередачи // Энергия единой сети. 2014. № 3 (14). С. 30-40. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25821026> (дата обращения: 13.03.2026).
2. Копылов В. Н., Климов О. В. Учет влияния климатических изменений на воздушные линии электропередачи в томской области // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 9 (777). С. 101-114. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-777-9-101-114.
3. Воронкова Е. М., Воронков Д. А., Кожокарь А. М. Основные подходы к учету климатических факторов при проектировании воздушных ЛЭП // Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей 7-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. Курск: ЮЗГУ, 2022. С. 148-151. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48691108> (дата обращения: 13.03.2026).
4. Производственные активы и надежность сети. ПАО «Россети Центр» [Электронный ресурс] URL: <https://ar2022.mrsk-1.ru/strategic-report/production-assets-network-reliability> (дата обращения: 13.03.2026).
5. Ратушняк В. С., Ратушняк В. С., Ильин Е. С., Вахрушева О. Ю. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ // Молодая наука Сибири. 2018. № 1. [Электронный ресурс] URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38579699> (дата обращения: 13.03.2026).
6. Стихия на проводах [Электронный ресурс] URL: https://kislodod.life/keysy/stikhiya_na_provodakh/?fbclid=IwAR0pnVW2UJN1LHZqkbW9keuvOGtNiu0wps6zdz7O-ywtZVO62pMnbgOeZm4 (дата обращения: 13.03.2026).
7. Санакулов А. Х. Проблемы обледенения электрических и контактных сетей // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2016. № 2 (69). С. 34–51. EDN: UFPSLWC.
8. Аржанова Н. М., Коршунова Н. Н. Оценка многолетних изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России // Труды всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. 2021. № 188. С. 18-29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48549662> (дата обращения: 13.03.2026).
9. Леонов И. И., Аржанова Н. М. Метеорологические условия образования гололедно-изморозевых отложений на территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2023. Т. 9. № 1. С. 107-126. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54058922> (дата обращения: 13.03.2026). DOI: 10.21513/2410-8758-2023-1-107-126.
10. Требования по плавке гололеда на проводах и грозозащитных тросах линий электропередачи Приказ Министерства энергетики РФ от 19 декабря 2018 г. № 1185. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201901230029?index=31> (дата обращения: 13.03.2026).
11. Панасенко М. В., Ахмедова О. О. Задачи мониторинга линий электропередачи в условиях метеорологических воздействий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 9–3. С. 460–462. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=7348> (дата обращения: 13.03.2026).
12. Минуллин Р. Г. Локационный мониторинг гололеда и повреждений на линиях электропередачи. Казань: КГЭУ. 2022. 439 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=60922990> (дата обращения: 13.03.2026). ISBN: 978-5-89873-575-3.
13. Мустафин Р. Г., Писковацкий Ю. В., Гранская А. А., Касимов В. А. Автоматизация обследования высоковольтных линий электропередачи для предотвращения аварий и экономических потерь в электрических сетях // Экономика и предпринимательство. 2025. № 7 (180). С. 1428–1435. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82602403> (дата обращения: 13.03.2026). DOI: 10.34925/EIP.2025.180.7.258.
14. Минкин А. С. Зависимость механического напряжения провода высоковольтной линии электропередачи от толщины стенки гололедно-изморозевых отложений с различной плотностью. // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. Материалы VII Международной научно-технической конференции. Чебоксары: ЧГУ. 2023. С. 46–50. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=61788680> (дата обращения: 13.03.2026).
15. Опоры линий электропередачи, провода, тросы и другие изделия на ЛЭП: Провод АС 120/19. [Электронный ресурс] URL: <https://linjaopory.ru/provod-as-120-19-ves-diametr-sechenie-i-drugie-karakteristiki/> (дата обращения: 13.03.2026).
16. Климатические факторы и расчетные нагрузки, действующие на элементы контактных сетей и линий электропередачи [Электронный ресурс] URL: <https://scbist.com/scb/uploaded/kontaktная-set/3.htm> (дата обращения: 13.03.2026).
17. Инструкция по плавке гололеда на ЛЭП 35-110 кВ. [Электронный ресурс] URL: <https://forca.ru/instrukcii/dispetcherskie/instrukciya-po-plavke-gololeda-na-lep-35-110kv.html> (дата обращения: 13.03.2026).
18. Минкин А. С. Влияние длины пролета воздушной ЛЭП и марки фазного провода на допустимые значения стенки гололедных отложений // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. материалы VIII Международной научно-технической конференции. Чебоксары, 2024. С. 385–389. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80450095> (дата обращения: 13.03.2026).
19. Минуллин Р. Г., Абдуллаязов Э. Ю., Ахметова И. Г., Касимов В. А., Мустафин Р. Г., Пиунов А. А. Многофункциональный локационный мониторинг воздушных линий электропередачи как инновационное направление их развития // Электрические станции. 2024. № 12 (1121). С. 13-25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=77999460> (дата обращения: 13.03.2026). DOI: 10.17841/EP.ELST.2024.1121.12.03.
20. Минуллин Р. Г., Касимов В. А., Ахметова И. Г., Минкин А. С. Технология контроля состояния воздушных линий электропередачи локационным методом // В сборнике: Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: Материалы VII Международной научно-технической конференции. Чебоксары, 2023. С. 34-42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61788669> (дата обращения: 13.03.2026).
21. Голенищев-Кутузов А. В., Потапов А. А. Автоматизированная комплексная система мониторинга гололедных образований на воздушных линиях электропередачи с использованием радиочастотной локации // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 11. С. 17–22. URL: <https://top-technologies.ru/article/view?id=40561> (дата обращения: 13.03.2026). DOI: 10.17513/snt.40561.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declares that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.