



(24)-0409-1

## АНАЛИЗ ГОЛОЛЁДНЫХ АВАРИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 35–110 КВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДОНБАССА

Евгений Васильевич Горохов<sup>1</sup>, Ярослав Викторович Назим<sup>2</sup>,  
Александр Владимирович Чиркин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия

<sup>1</sup>mk@donnasa.ru, <sup>2</sup>ya.v.nazim@donnasa.ru, <sup>3</sup>a.v.chirkin@donnasa.ru

**Аннотация.** При эксплуатации воздушных линий электропередачи возможны опасные воздействия на элементы ВЛ, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации и приводящие к повреждениям и авариям. Статья посвящена анализу аварий в электрических сетях 35–110 кВ энергосистемы Донбасса, произошедших в результате гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи. Приведены примеры технологических нарушений (аварий), приведшие к наиболее серьезным последствиям из-за повреждений опор ВЛ при гололедно-изморозевых отложениях на проводах в осенне-зимний период 2023–2024 года. Исследовано распределение технологических нарушений на линейных объектах энергосистемы при гололедно-ветровых воздействиях, а также распределение видов технологических нарушений, связанных с повреждениями опор. Предложены основные составляющие комплексной системы мероприятий для предотвращения гололедных аварий и повышение надежности электрических сетей.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи (ВЛ), провод, гололедно-изморозевые отложения, технологическое нарушение (авария)

**Для цитирования:** Горохов Е. В., Назим Я. В., Чиркин А. В. Анализ гололедных аварий в электрических сетях 35–110 кВ энергосистемы Донбасса // *Металлические конструкции*. 2024. Том 30, № 3. С. 111–120. doi: 10.71536/mc.2024.v30n3.1. edn: rtoosp.

Original article

## ANALYSIS OF ICY ACCIDENTS IN ELECTRICAL 35–110 KV NETWORKS OF THE DONBASS POWER SYSTEM

Yevgenii V. Gorokhov<sup>1</sup>, Yaroslav V. Nazim<sup>2</sup>, Aleksandr V. Chirkin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia

<sup>1</sup>mk@donnasa.ru, <sup>2</sup>ya.v.nazim@donnasa.ru, <sup>3</sup>a.v.chirkin@donnasa.ru

**Abstract.** During the operation of overhead power transmission lines, dangerous effects on overhead line elements are possible that are not provided for by the conditions of normal operation and lead to damage and accidents. The article is devoted to the analysis of accidents in the electric networks of 35–110 kV of the Donbass power system, which occurred as a result of ice formation on the conductors of overhead power transmission lines. Examples of technological violations (accidents) that led to the most serious consequences due to damage to overhead line supports during icy-frost deposits on conductors in the autumn-winter period of 2023–2024 are given. The distribution of technological violations on transmission lines objects of the power system under icy-wind effects, as well as the distribution of types of technological violations associated with damage to supports, has been studied. The main components of a comprehensive system of measures to prevent icy accidents and improve the reliability of electrical networks are proposed.



**Keywords:** overhead power transmission lines (OPTL), conductor, icy-frost deposits, technological disruption (accident)

**For citation:** Gorokhov Ye. V., Nazim Ya. V., Chirkin A. V. Analysis of icy accidents in electrical 35–110 kV networks of the donbass power system. *Metal Constructions*. 2024;30(3):111–120. (in Russ.). doi: 10.71536/mc.2024.v30n3.1. edn: rtoosp.

## Введение

Воздушные линии электропередачи (ВЛ), предназначенные для передачи и распределения электрической энергии по проводам, находящимся на открытом воздухе, являются наиболее аварийным компонентом энергосистемы, поскольку имеют большую протяженность, проходят по открытой местности, подвержены атмосферным и иным воздействиям. При эксплуатации воздушных линий электропередачи возможны опасные воздействия на элементы ВЛ, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации и приводящие к повреждениям и авариям.

Донецкая Народная Республика является крупным промышленным регионом, занимающим важную роль в экономике юга России. В регионе расположено большое количество крупных промышленных предприятий угольной, металлургической, химической, машиностроительной промышленности, для безаварийной работы которых необходимо обеспечение надежного функционирования системы их электропитания.

Как известно, из-за боевых действий энергетической инфраструктуре Донецкой Народной Республики был нанесён серьёзный урон, для восстановления которого прикладываются значительные усилия на федеральном и региональном уровне [1; 2]. В данном исследовании не проводится анализ повреждаемости ВЛ в результате боевых действий, авторами проведен анализ аварий ВЛ в режимах эксплуатации в соответствии с действующими нормами и регламентами [3; 4].

В статье представлены результаты научных исследований, выполненных в рамках реализации научно-технической программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Оценка технического состояния воздушных линий электропередачи, открытых распределительных устройств и опор под оборудование на подстанциях Донбасса на основе диагностики и мониторинга

ресурса и действительной работы конструкций» (Пер. № НИОКТР 123122800065-8).

## Анализ исследований и публикаций

Из мировой практики проектирования и эксплуатации электрических сетей известно, что в значительной степени аварийность ВЛ обусловлена недостаточным учетом всех климатических факторов в зоне прохождения трасс ВЛ [18–21]. Статистика аварийных ситуаций свидетельствует, что более половины отказов элементов ВЛ вызвано действием сверхрасчетных гололёдно-ветровых нагрузок на провода, грозозащитные тросы и несущие конструкции опор [5; 6].

Кроме того, надежность функционирования ВЛ в ряде случаев снижается из-за эксплуатации с превышением расчетного срока службы и изношенности компонентов ВЛ [7]. К примеру, основные ВЛ высокого класса напряжений в Донбассе возводились в 60–70-е годы прошлого столетия и уже исчерпали свой ресурс. Техническое перевооружение и реконструкция действующих сетей энергосистемы Донбасса последние 30 лет практически не проводились. Как результат, сегодня большинство линий электропередачи в Донбассе эксплуатируются в непригодном для нормальной эксплуатации состоянии, что приводит к частым авариям в энергосистеме.

## Описание объекта исследований

Объектом исследования в данной работе являются воздушные линии электропередачи класса напряжения 35–110 кВ энергосистемы Донецкой Народной Республики.

## Цель работы

На основе отчетов о технологических нарушениях, произошедших за осенне-зимний период

2023–2024 года, выполнен анализ аварийности ВЛ при гололёдно-ветровых воздействиях в электрических сетях Донбасса.

### Основная часть

В условиях изношенности компонентов ВЛ гололёдные аварии в электрических сетях энергосистемы относятся к наиболее тяжелым, дезорганизующим электроснабжение региона [8; 9]. Примером тому являются и недавние масштабные аварии в энергосистеме Донецкой Народной Республики, произошедшие в осенне-зимний период 2023–2024 года. Только по информации, предоставленной службой противоаварийной работы и технического надзора ГУП ДНР «Региональная энергопоставляющая компания» в период с декабря 2023 года по февраль 2024 года произошло 160 технологических нарушений (аварий) на ВЛ 35–110 кВ, в том числе: 26-ТЕ «Центральные электрические сети»; 71-ТЕ «Харьцызские электрические сети»; 46-ТЕ «Кировские электрические сети»; 17-ТЕ «Приазовские электрические сети». При этом, наибольший масштаб аварий пришелся на период

с 11.12.2023 по 16.12.2023, когда только на ВЛ 110 кВ произошло 50 аварий, в 11 случаях из которых произошли разрушения несущих конструкций опор ВЛ.

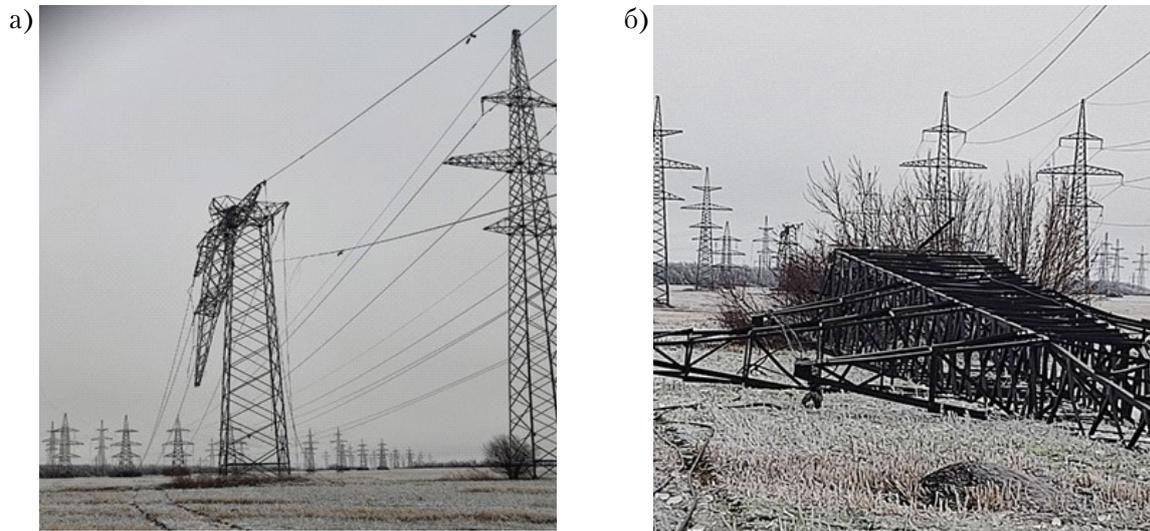
В результате анализа актов расследования технологических нарушений было установлено, что в результате погодных условий в большинстве случаев (59 %) происходили повреждения проводов и тросов ВЛ, в частности: обрывы проводов – 29 %, обрывы грозозащитных тросов (ГЗТ) – 17 %, обрывы шлейфов – 5 %, иные повреждения провода или ГЗТ (распушивание, провис) – 8 %; а в 14 % случаев происходили повреждения несущих конструкций опор ВЛ, относящиеся к авариям 1-й категории, в случае которых восстановление электроснабжения связано со значительными материальными и временными ресурсами.

Распределение технологических нарушений на линейных объектах энергосистемы при гололёдно-ветровых воздействиях показано на рисунке 1.

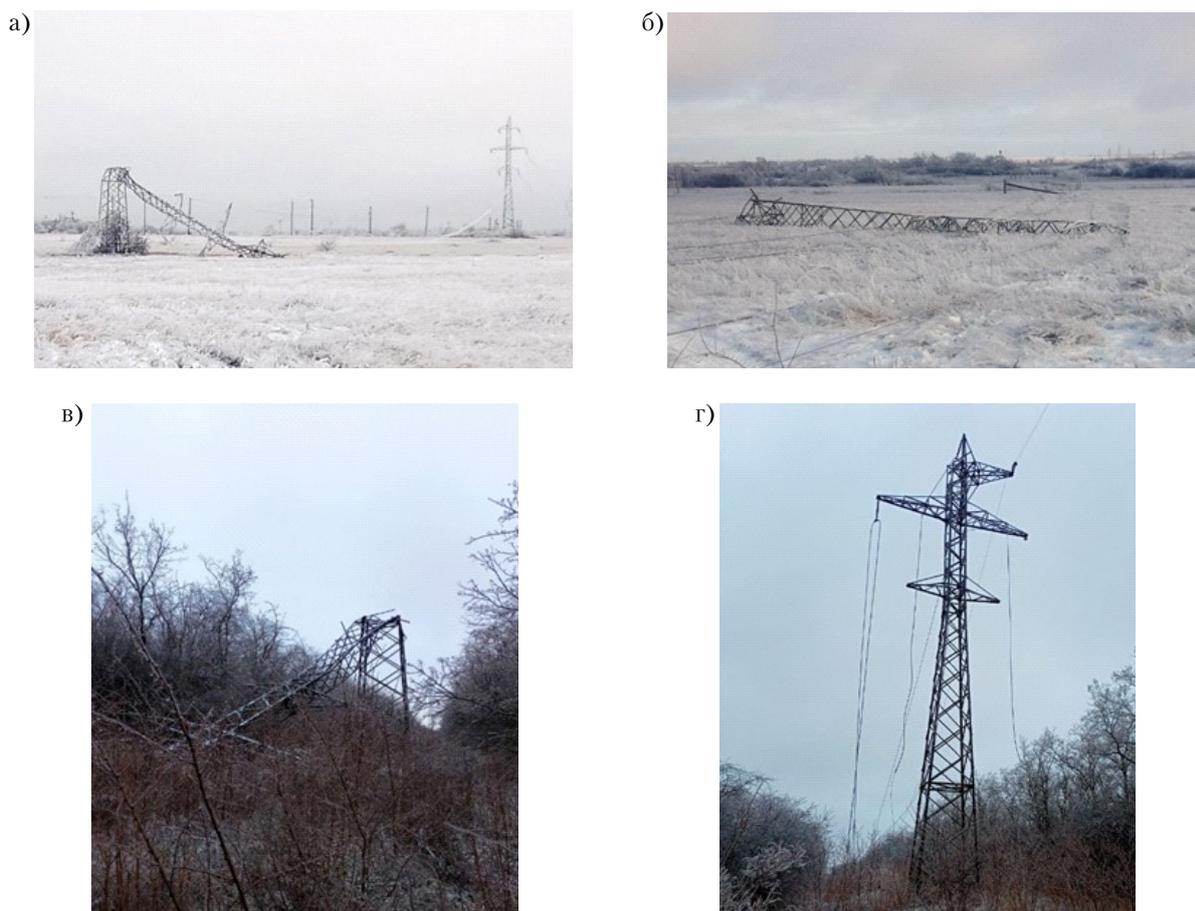
На рисунках 2–4 приведены примеры аварий 1-й категории, приведшие к наиболее серьезным последствиям из-за повреждений опор ВЛ при



**Рисунок 1.** Диаграмма распределения видов технологических нарушений на ВЛ 35–110 кВ при гололёдно-ветровых воздействиях.



**Рисунок 2.** Повреждения промежуточных опор типа ПЗ30-2: а, б) каскадное разрушение опор №№ 40-48 на ВЛ 110 кВ Заря – Мирная.



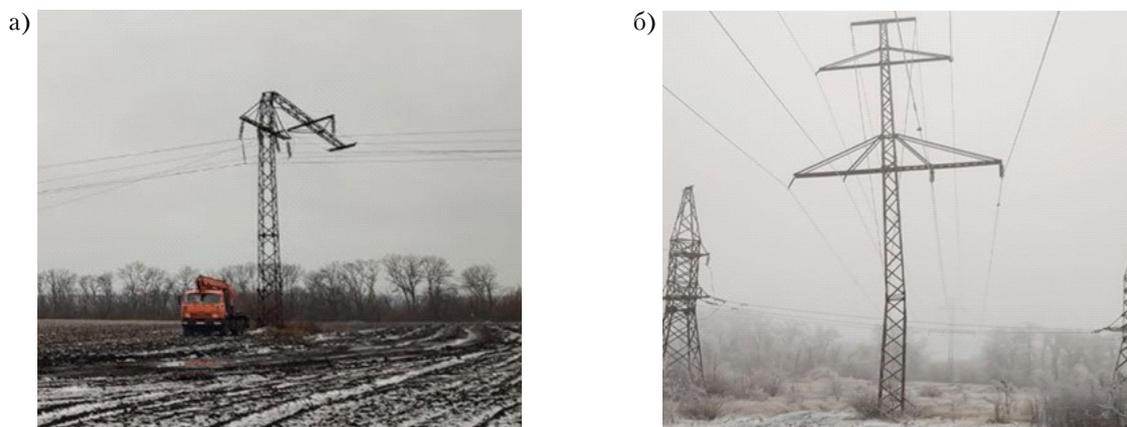
**Рисунок 3.** Повреждения промежуточных опор типа П110-6: а, б) каскадное разрушение опор №№ 101-110 ВЛ 110 кВ Дебальцево – Дебальцево тяговая и №№ 14-23 ВЛ 110 кВ Восточная – Дебальцево тяговая; в, г) повреждения опор №№ 39-40 ВЛ 110 кВ Заводская – Ленинская.

гололёдно-изморозевых отложениях (ГИО) в осенне-зимний период 2023–2024 года.

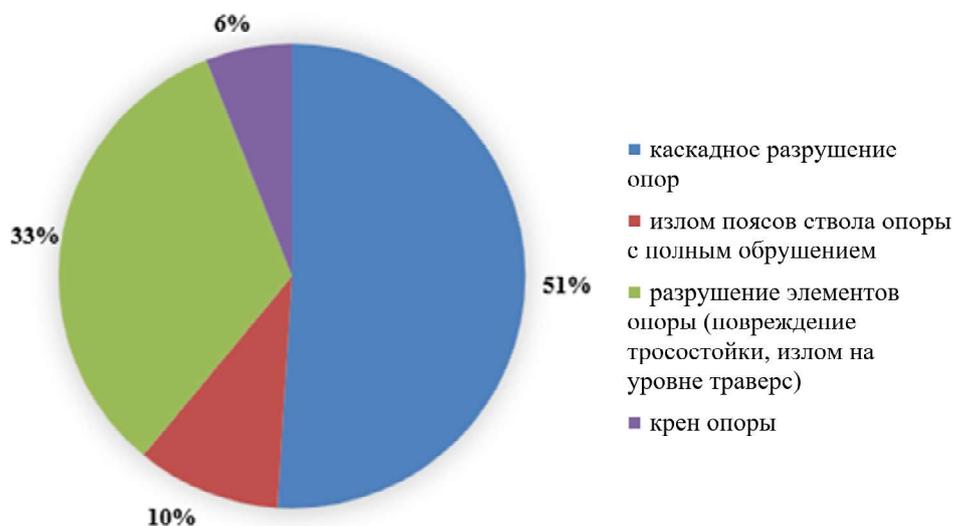
Анализ актов расследования технологических нарушений при повреждениях несущих конструкций опор позволил установить (рис. 5), что в более половины случаев (51 %) происходили каскадные разрушения опор, в 33 % – разрушение элементов опоры (повреждение тросостойки, излом ствола опоры на уровне траверс) и в 10 % – излом поясов ствола опоры с полным обрушением. Все указанные виды технологических нарушений устранимы только заменой конструкций опор на поврежденном участке ВЛ и заменой токоведущих проводов и ГЗТ.

Данные аварии были обусловлены воздействием погодных условий – температура ниже 0 °С, порывистый ветер 5–12 м/с, осадки в виде замерзающего дождя и мокрого снега, что способствовало интенсивному образованию гололёдно-изморозевых отложений на проводах (рис. 6).

Помимо образования гололёда на проводах на некоторых ВЛ в этот период возникла также интенсивная пляска проводов при гололёдно-ветровых воздействиях, приводящая к динамическим нагрузкам на узлы подвеса и опоры, а также в отдельных случаях сопровождающаяся схлестыванием проводов.



**Рисунок 4.** Повреждения промежуточных опор «дунайского» типа: а, б) повреждения опор № 4–6 на ВЛ 110 кВ СБТЭС – Еленовка тяговая № 1 и 2 с отпайкой на ПС-110 Стыла.



**Рисунок 5.** Диаграмма распределения видов технологических нарушений, связанных с повреждениями опор.

Также по данным актов расследования технологических нарушений было установлено, что гололёд образовывался не только на проводах, но и на отдельных воздушных линиях электропередачи покрывал все конструктивные элементы опоры, а также изоляторы и линейную арматуру.

Не менее масштабные аварии произошли в осенне-зимний период 2023–2024 года и на воздушных линиях электропередачи класса напряжений 220–500 кВ Донбасского ПМЭС – Филиала ПАО «РОССЕТИ», технологические нарушения которых не учтены в приведенном в статье анализе. Энергетики из-за непогоды столкнулись с колоссальным фронтом работ по восстановлению энергоснабжения Донецкой и Луганской народных республик. В работе по восстановлению энергетической инфраструктуры Донбасса участвовали как местные энергетики, так и специалисты из всех регионов России.

### Выводы

Повышению надежности ВЛ в условиях воздействия атмосферных нагрузок постоянно уделяется внимание исследователями [10–16], но в случае энергосистемы Донбасса основной причиной повреждаемости ВЛ является прежде всего износ оборудования, климатические воздействия лишь инициируют повреждаемость компонентов ВЛ. Предотвращение гололёдных аварий и

существенное повышение надежности ВЛ возможно применением комплексной системы мероприятий, из всех составляющих которой можно выделить следующие:

- плановые мероприятия по техническому обслуживанию, включая осмотры ВЛ на предмет эксплуатационных повреждений, своевременные мероприятия по текущему ремонту, своевременная расчистка просек на ВЛ от древесно-кустарниковой растительности;
- использование при восстановительных работах на ВЛ изоляционных межфазных расщепов и гасителей пляски проводов, уменьшение длины пролетов, использование новых типов опор, в т. ч. многогранных;
- капитальный ремонт и реконструкция существующих ВЛ, исчерпавших свой эксплуатационный ресурс, с использованием при проектировании новых разработок в сфере климатического обеспечения;
- проектирование новых ВЛ, способных выдерживать экстремальные гололёдно-ветровые нагрузки и пляску проводов за счет увеличения запасов несущей способности опор при проектировании, повышения изоляционных расстояний между проводами;
- использование проводов нового поколения с улучшенными аэродинамическими характеристиками и в меньшей степени подверженных образованию гололёда;



**Рисунок 6.** Гололёдные отложения на проводах ВЛ при технологических нарушениях в период 11–16.12.2023: а) толщина стенки льда до 40 мм на ВЛ 110 кВ СБТЭС – Еленовка тяговая № 1 и 2 (условия образования:  $t = -2$  °С, ветер – 6–12 м/с, осадки – заморающий дождь); б) толщина стенки льда до 50 мм ВЛ 110 кВ Дмитриевка – Волноваха тяговая (условия образования:  $t = -1$  °С, ветер – 5–10 м/с, осадки – мокрый снег).

- внедрение современных автоматизированных систем раннего обнаружения гололёда на воздушных линиях электропередачи;
- внедрение схем плавки гололёда на проводах и ГЗТ.

При осуществлении комплексного подхода к решению проблемы обеспечения надежности электроснабжения необходим также пересмотр

существующих отраслевых нормативно-технических документов с учетом анализа их эффективности, отечественного и международного опыта. Комплексные решения позволят достигнуть снижения аварийности ВЛ, обеспечения надежного, бесперебойного и качественного электроснабжения потребителей Донецкой Народной Республики.

### Список источников

1. Российская Федерация. Постановление. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Восстановление и социально-экономическое развитие Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской области и Херсонской области»: Постановление Правительства Российской Федерации № 2255 от 22 декабря 2023 г. – Текст: электронный // Правительство Российской Федерации: официальный сайт. – 2023. – URL: <http://government.ru/docs/all/151710/> (дата обращения: 16.04.2024).
2. Донецкая Народная Республика. Постановление. Об утверждении подпрограммы «Восстановление распределительных сетей Донецкой Народной Республики»: Постановление Правительства Донецкой Народной Республики № 77-2 от 14 сентября 2023 г. – Текст: электронный // Правительство Донецкой Народной Республики: официальный сайт. – 2023. – URL: <https://pravdnr.ru/npa/postanovlenie-pravitelstva-doneczkoj-narodnoj-respubliki-ot-14-sentyabrya-2023-g-%E2%84%96-77-2-ob-utverzhenii-podprogrammy-vosstanovlenie-raspre-delitelnyh-setej-doneczkoj-narodnoj-respu/> (дата обращения: 16.04.2024).
3. Российская Федерация. Законы. Приказ. Об утверждении глав правил устройства электроустановок (вместе с «Правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. Раздел 2. Передача электроэнергии. Главы 2.4, 2.5»): Приказ Минэнерго России: утверждён 20.05.2003 № 187. – Текст: электронный. – Москва: [s. n.]. – 2003. – 227 с. – URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minenergo-Rossii-ot-20.05.2003-N-187/> (дата обращения: 16.04.2024).
4. ГОСТ Р ИСО 12494-2016. Основы проектирования строительных конструкций. Определение гололедных нагрузок = Fundamentals of the design of building structures. Determination of icy loads: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулиро-

### References

1. Russian Federation. Resolution. On approval of the state program of the Russian Federation «Restoration and socio-economic development of the Donetsk People's Republic, Lugansk People's Republic, Zaporizhia region and Kherson region»: Resolution of the Government of the Russian Federation No. 2255 of December 22, 2023. – Text: electronic // Government of the Russian Federation: official site. – 2023. – URL: <http://government.ru/docs/all/151710/> (date of access: 16.04.2024). (in Russian)
2. Donetsk People's Republic. Resolution. On approval of the subprogram «Restoration of distribution networks of the Donetsk People's Republic»: Resolution of the Government of the Donetsk People's Republic No. 77-2 of September 14, 2023. – Text: electronic // Government of the Donetsk People's Republic: official site. – 2023. – URL: <https://pravdnr.ru/npa/postanovlenie-pravitelstva-doneczkoj-narodnoj-respubliki-ot-14-sentyabrya-2023-g-%E2%84%96-77-2-ob-utverzhenii-podprogrammy-vosstanovlenie-raspre-delitelnyh-setej-doneczkoj-narodnoj-respu/> (date of access: 16.04.2024). (in Russian)
3. Russian Federation. Laws. Order. On approval of chapters of the rules for the installation of electrical installations (together with the «Rules for the installation of electrical installations (PUE). Seventh edition. Section 2. Transmission of electric power. Chapters 2.4, 2.5»): Order of the Ministry of Energy of Russia: approved on 20.05.2003 № 187. – Text: electronic. – Moscow: [s. n.]. – 2003. – 227 p. – URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minenergo-Rossii-ot-20.05.2003-N-187/> (date of access: 16.04.2024).
4. GOST R ISO 12494-2016. Fundamentals of the design of building structures. Determination of icy loads: national standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology № 1815-st of November

- ванию и метрологии от 28 ноября 2016 г. № 1815-ст : введен впервые : дата введения 2017-05-01 / подготовлен Акционерным обществом «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство»), Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций им. В. А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко). – Москва : Стандартинформ, 2016. – 49 с. – Текст : непосредственный.
5. Аэродинамика электросетевых конструкций / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим ; под общей редакцией Е. В. Горохова и М. И. Казакевича. – Донецк : [б. и.], 2000. – 336 с. – Текст : непосредственный.
  6. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим ; под общей редакцией Е. В. Горохова. – Донецк : [б. и.], 2005. – 348 с. – Текст : непосредственный.
  7. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций / Е. В. Горохов, С. Н. Шаповалов, Е. И. Удод ; под общей редакцией Е. В. Горохова. – Киев : Техника, 1997. – 284 с. – ISBN 966-575-001-1. – Текст : непосредственный.
  8. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.]. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 75–92. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2010-2/01\\_gorohov\\_bakaev\\_nazim\\_morgaj\\_popov.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2010-2/01_gorohov_bakaev_nazim_morgaj_popov.pdf) (дата обращения: 18.04.2024). – ISSN 1993-3517.
  9. Анализ аварийности в электрических сетях 6–110 кВ Кузбасской энергосистемы / С. А. Захаров, Д. С. Кудряшов, В. А. Бродт [и др.]. – Текст : непосредственный // «Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения»: материалы II Всероссийской молодежной научно-практической конференции, 21–22 декабря 2017 г., Кемерово / Под редакцией С. Г. Костюк [и др.]. – Кемерово : КГТУ им. Т. Ф. Горбачева, 2017. – С. 404-1–404-5.
  10. Назим, Я. В. Внедрение новых разработок нормативной документации в сфере климатического обеспечения электросетей в практические расчеты / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – Випуск 2009-5(79) Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – С. 22–25.
  11. Назим, Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на воздушные линии электропередачи на примере крымской ЭС / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2010. – Том 16, № 1. – С. 61–74. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2010-1/06\\_nazim\\_leschenko\\_kostin.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2010-1/06_nazim_leschenko_kostin.pdf) (дата обращения: 18.04.2024). – ISSN 1993-3517.
  - 28, 2016 : introduced for the first time : date of introduction 2017-05-01 / prepared by the Joint-Stock Company «Scientific Research Center «Stroitelstvo» (JSC «SIC «Stroitelstvo») – Central Research Institute of Building Structures named after V. A. Kucherenko (TSNIISK named after V. A. Kucherenko). – Moscow : Standartinform, 2016. – 49 p. – Text : direct. (in Russian)
  5. Gorokhov, E. V.; Kazakevich, M. I.; Shapovalov, S. N.; Nazim, Ya. V. Aerodynamics of electric grid structures ; under the general editorship of E. V. Gorokhov and M. I. Kazakevich. – Donetsk : [s. n.], 2000. – 336 p. – Text : direct. (in Russian)
  6. Gorokhov, E. V.; Kazakevich, M. I.; Turbin, S. V.; Nazim, Ya. V. Wind and ice impacts on overhead power transmission lines ; under the general editorship of E. V. Gorokhov. – Donetsk : [s. n.], 2005. – 348 p. – Text : direct. (in Russian)
  7. Gorokhov, E. V.; Shapovalov, S. N.; Udod, E. I. Improving the reliability and durability of electric grid structures ; under the general editorship of E. V. Gorokhov. – Kiev : Technika, 1997. – 284 p. – ISBN 966-575-001-1. – Text : direct. (in Russian)
  8. Gorokhov, E. V.; Bakayev, S. N.; Nazim, Ya. V. [et al.]. Failure cause and consequence analysis at the high voltage (330 kV) line sections of the dzhankoy local electrical power station of the NEC «UKRENERGO». – Text : electronic. – In: *Metal Constructions*. – 2010. – Volume 16, № 2. – P. 75–92. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2010-2/01\\_gorohov\\_bakaev\\_nazim\\_morgaj\\_popov.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2010-2/01_gorohov_bakaev_nazim_morgaj_popov.pdf) (date of access: 18.04.2024). – ISSN 1993-3517. (in Russian)
  9. Zakharov, S. A.; Kudryashov, D. S.; Brodt, V. A. [et al.] Accident analysis in 6–110 kV electric networks of the Kuzbass power system. – Text : direct. – In: *Environmental problems of industrially developed and resource-producing regions : solutions*: proceedings of the II All-Russian Youth Scientific and Practical Conference, December 21–22, 2017, Kemerovo / under the general editorship of S. G. Kostyuk [et al.]. – Kemerovo : KGTU named after T. F. Gorbachev, 2017. – P. 404-1–404-5. (in Russian)
  10. Nazim, Ya. V.; Leshchenko, A. A.; Kostin V. V. Introduction of new developments in regulatory documentation in the sphere of climatic support of electric networks in practical calculations. – Text : direct. – In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. – 2009. – Volume 2009-5(79) Proceedings of the VIII International Scientific Conference of young scientists, postgraduates and students. – P. 22–25. (in Russian)
  11. Nazim, Ya. V.; Leshchenko, A. A.; Kostin, V. V. A comparative analysis of the approaches to the determination of climatic loads on the high-voltage lines illustrated by the crimean power plant. – Text : electronic. – In: *Metal Constructions*. – 2010. – Volume 16, № 1. – P. 61–74. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2010-1/06\\_nazim\\_leschenko\\_kostin.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2010-1/06_nazim_leschenko_kostin.pdf) (date of access:

12. Пути повышения надежности вл с учетом координации прочности элементов в районах с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.]. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2010. – Том 6, № 2. – С. 113–130. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2010-2/06\\_gorohov\\_nazim\\_vasylev\\_leschenko\\_garanzha\\_smirnova.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2010-2/06_gorohov_nazim_vasylev_leschenko_garanzha_smirnova.pdf) (дата обращения: 16.04.2024). – ISSN 1993-3495.
13. Дьяков, А. Ф. Предотвращение и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях энергосистем / А. Ф. Дьяков, А. С. Засыпкин, И. И. Левченко. – Пятигорск : РП «Южэнерготехнадзор», 2000. – 284 с. – Текст : непосредственный.
14. Каверина, Р. С. Повышение надежности ВЛ при воздействии гололеда / Р. С. Каверина. – Новосибирск : ИАЦ «Энергия», 2010. – С. 84–93. – Текст : непосредственный.
15. Яковлев, Л. В. Комплекс работ и предложений по повышению надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации / Л. В. Яковлев, Р. С. Каверина, Л. А. Дубинич. – Текст : непосредственный // «Линии электропередачи-2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс»: материалы третьей Российской научно-практической конференции, 3–5 июня 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2008. – С. 28–49.
16. Шевченко, Н. Ю. Методика выбора технических мероприятий по повышению надежности ВЛЭП в экстремальных метеоусловиях // Н. Ю. Шевченко, Ю. В. Лебедева, А. Г. Сошинов. – Текст : непосредственный // Известия ВолгГТУ. – 2009. – № 2. – С. 77–79.
17. Шевченко, Н. Ю. Повышение эффективности работы воздушных линий электропередачи, работающих в экстремальных метеоусловиях / Н. Ю. Шевченко, Ю. В. Лебедева, Г. Г. Угаров. – Текст : непосредственный // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 119–123.
18. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission lines : International standard : This International Standard was approved by CEN on October 2021. – Geneva : Switzerland : [s. n.]. – 2002. – 186 p. – Текст : непосредственный.
19. Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads: IEC/TS 61774. – Geneva, Switzerland. – TR 2. Ed. 1. – 2000. – 91 p. – Текст : непосредственный.
20. Cigré WG B2.16. TB 291 Guidelines for meteorological icing models, statistical methods and topographical effects, Cigré, April 2006, Paris, France. – 116 p. – Текст : электронный. – URL: <https://www.e-cigre.org/publications/detail/291-guidelines-for-meteorological-icing-models-statistical-methods-and-topographical-effects.html> (дата обращения: 18.04.2024).
21. Cigré WG B2.28. TB 645 Meteorological data for assessing climatic loads on overhead lines, Cigré, 16.04.2024). – ISSN 1993-3517. (in Russian)
22. Gorokhov, Ye. V.; Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. M. [et al.]. Ways of increasing overhead power transmission line reliability regarding the coordination of component strength in the areas with a higher ice and wind loads. – Text : electronic. – In: *Modern Industrial and Civil Construction*. – 2010. – Volume 6, № 2. – P. 113–130. – URL: [https://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2010-2/06\\_gorohov\\_nazim\\_vasylev\\_leschenko\\_garanzha\\_smirnova.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2010-2/06_gorohov_nazim_vasylev_leschenko_garanzha_smirnova.pdf) (date of access: 16.04.2024). – ISSN 1993-3495. (in Russian)
23. Dyakov, A. F.; Zasyppkin, A. S.; Levchenko, I. I. Prevention and elimination of icy accidents in electric networks of power systems – Pyatigorsk : RP «Yuzhenergotekhnadzor», 2000. – 284 p. – Text : direct. (in Russian)
24. Kaverina, R. S. Improving overhead line reliability under the influence of ice. – Novosibirsk : IAC Energia, 2010. – P. 84–93. – Text : direct. (in Russian)
25. Yakovlev, L. V.; Kaverina, R. S.; Dubinich, L. A. A set of works and proposals to improve overhead line reliability at the design and operation stage – Text : direct. – In: «Power transmission lines-2008: design, construction, operational experience and scientific and technical progress»: Proceedings of the Third Russian Scientific and Practical Conference, June 3–5, 2008, Novosibirsk. – Novosibirsk : Novosibirsk State Technical University, 2008. – P. 28–49. (in Russian)
26. Shevchenko, N. Y.; Lebedeva, Yu. V.; Soshinov, A. G. Methodology for choosing technical measures to improve the reliability of overhead power lines in extreme weather conditions. – Text : direct. – In: *Izvestiya VolgSTU*. – 2009. – № 2. – P. 77–79. (in Russian)
27. Shevchenko, N. Y.; Lebedeva, Y. V.; Ugarov, G. G. Improving the efficiency of overhead power transmission lines operating in extreme weather conditions. – Text : direct. – In: *Bulletin of the Saratov State Technical University*. – 2011. – № 1. – P. 119–123. (in Russian)
28. IEC 60826. Design criteria of overhead transmission line : International standard : This International Standard was approved by CEN on October 2021. – Geneva : Switzerland : [s. n.]. – 2002. – 186 p. – Text : direct. (in Russian)
29. Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads: IEC/TS 61774. – Geneva, Switzerland. – TR 2. Ed. 1. – 2000. – 91 p. – Text : direct.
30. Cigré WG B2.16. TB 291 Guidelines for meteorological icing models, statistical methods and topographical effects, Cigré, April 2006, Paris, France. – 116 p. – Text : electronic. – URL: <https://www.e-cigre.org/publications/detail/291-guidelines-for-meteorological-icing-models-statistical-methods-and-topographical-effects.html> (date of access: 18.04.2024).
31. Cigré WG B2.28. TB 645 Meteorological data for assessing climatic loads on overhead lines, Cigré, January 2016, Paris, France. – 40 p. – Text : electronic. – URL: <https://www.e-cigre.org/publications/detail/645-meteorological-data-for-assessing-climatic-loads-on-overhead-lines.html> (date of access: 18.04.2024).

January 2016, Paris, France. – 40 p. – Текст: электронный. – URL: <https://www.e-cigre.org/publications/detail/645-meteorological-data-for-assessing-climatic-loads-on-overhead-lines.html> (дата обращения: 18.04.2024).

### Информация об авторах

**Горохов Евгений Васильевич** – доктор технических наук, профессор, президент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Заведующий кафедрой металлических конструкций и сооружений. Иностраный член Российской Академии архитектуры и строительных наук, академик Академии Высшей школы и Академии строительства Украины, Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

**Назим Ярослав Викторович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Член Международной ассоциации по большим системам энергетики (CIGRE). Научные интересы: надежность и долговечность электросетевых конструкций, ветровые и гололедные нагрузки на воздушные линии электропередачи.

**Чиркин Александр Владимирович** – ассистент кафедры специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: управление в технических системах, обработка информации, математическое моделирование, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

### Information about the authors

**Gorokhov Yevgenii V.** – D. Sc. (Eng.), Professor; President of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. The Head of the Metal Structures and Constructions Department. Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, academician of the Academy of Higher Education and the Academy of Civil Engineering of Ukraine, Member of the International Committee of study of wind effects on buildings and structures. Scientific interests: operational reliability of building metal structures, climatic loads on building structures.

**Nazim Yaroslav V.** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head Department of specialized information systems and technologies, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Member of the International Council on Large Electric Systems (CIGRE). Scientific interests: reliability and longevity of power supply structures, wind and ice loads on overhead power transmission lines.

**Chirkin Aleksandr V.** – assistant Department of specialized information systems and technologies, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: management in technical systems, information processing, mathematical modeling, automation and control of technological processes and productions.

*Статья поступила в редакцию 23.08.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 23.09.2024.*

*The article was submitted 23.08.2024; approved after reviewing 19.09.2024; accepted for publication 23.09.2024.*