

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.315.1: 621.316.9

### Конструкция воздушной линии электропередачи напряжением 110–500 кВ и анализ повреждаемости отдельных элементов на территории Ростовской области

В.Э. Левчук<sup>1,2</sup>, Е.А. Заикина<sup>2</sup>, Д.А. Данилин<sup>2</sup>, А.А. Парпулова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал ПАО «Россети» – Ростовское ПМЭС, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>2</sup> Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

#### Аннотация

В представленном исследовании обобщаются результаты анализа эксплуатации воздушных линий напряжением 110–500 кВ на территории Ростовской области за период с 2011 по 2021 годы. В рамках работы подробно рассматриваются причины возникновения повреждений, основанные на статистических данных, что позволяет выявить закономерности и факторы, способствующие этим повреждениям. Полученные результаты сравниваются с аналогичными исследованиями, выполненными другими авторами, что добавляет обоснованности выводам и позволяет лучше понять общие тенденции. Акцентируется внимание на преобладающем варианте конструкции современных опор и описываются меры, принимаемые для снижения числа повреждений воздушных линий. В отдельном разделе представлена статистика повреждений различных элементов конструкции линий, что позволяет глубже разобраться в их уязвимостях. В результате проведенного анализа были выявлены как основные, так и специфические причины повреждений воздушных линий в Ростовской области. Предложена дополнительная классификация повреждений по причинам их возникновения, а также классификация по механизму их возникновения.

**Ключевые слова:** воздушная линия, линия электропередачи, повреждение воздушной линии, причина повреждения, конструкция воздушной линии, классификация повреждений

**Для цитирования.** Левчук В.Э., Заикина Е.А., Данилин Д.А., Парпулова А.А. Конструкция воздушной линии электропередачи напряжением 110–500 кВ и анализ повреждаемости отдельных элементов на территории Ростовской области. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(1):49–57.

### Design of the 110–500 kV Overhead Power Line and Analysis of Damage Occurrence in Its Structural Components in the Rostov Region

Vladimir E. Levchuk<sup>1,2</sup>, Ekaterina A. Zaikina<sup>2</sup>, Dmitrii A. Danilin<sup>2</sup>, Anastasiya A. Parpulova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Branch of PJSC “Rosseti”, Rostov Main Power Networks Company, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>2</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

#### Abstract

The present research summarizes the results of the analysis of the 110–500 kV overhead power lines operation in the Rostov region for the period from 2011 to 2021. In the paper, the causes of damage are studied in detail based on the statistical data, which enables to identify the regularities and factors inducing these damages. The results obtained have been compared to the similar studies carried out by other authors, which adds to validity of the conclusions and allows for better understanding the general trends. Attention has been focused on the modern power transmission towers of prevailing design, and measures taken to reduce the number of damages in the overhead power lines have been described. A special section provides statistics on damage of various components of the line structure enabling deeper understanding their vulnerabilities. Upon the conducted analysis, both the main and specific causes of overhead power line damages in the Rostov Region have been identified. Additional classification of damages by the causes of occurrence, as well as a by the mechanism of occurrence, has been proposed.

**Keywords:** overhead line, power line, overhead power line damage, cause of damage, overhead power line design, classification of damages

**For Citation.** Levchuk VE, Zaikina EA, Danilin DA, Parpulova AA. Design of the 110–500 kV Overhead Power Line and Analysis of Damage Occurrence in Its Structural Components in the Rostov Region. *Young Researcher of Don.* 2025;10(1):49–57.

**Введение.** Воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) играют важную роль в российском электросетевом комплексе, общая длина которых в магистральных сетях превышает 130 тысяч километров, согласно данным из источника [1]. Эти элементы электрических сетей, обладая большой протяженностью, постоянно подвержены негативному воздействию внешней среды, что может привести к повреждению конструкции ВЛЭП. Повреждения, в свою очередь, могут вызвать перебои в электроснабжении потребителей и нарушить работу электроэнергетической системы. Учитывая это, особенно важно изучать причины повреждений ВЛЭП для того, чтобы исключить возможные факторы разрушения конструкции, сократить количество отключений и быстро обнаружить места повреждений при эксплуатации.

**Обзор литературы.** Основными источниками информации о состоянии эксплуатируемых ВЛЭП, а также о причинах повреждений и элементах конструкции, подверженных уязвимости, выступают электросетевые компании. Сведения, которые они предоставляют, могут быть представлены в обобщенном количественном виде на открытых сетевых ресурсах или в виде переработанной статистики в научных публикациях. Как правило, исследования данного направления делятся на два подхода: первый подразумевает анализ данных по отдельным регионам, как это демонстрируют работы [2–4], а второй касается анализа данных по всей территории Российской Федерации, но с акцентом на конкретные причины повреждений [5–7] или на уязвимость отдельных элементов конструкции ВЛЭП [8–9].

Это свидетельствует о том, что основными причинами повреждений ВЛЭП являются экстремальные климатические условия, которые могут варьироваться как между регионами, так и внутри одного региона. В работах [7, 9] поднимается важный вопрос о необходимости актуализации «климатических карт», что является критически важной задачей для снижения повреждений ВЛЭП на этапе проектирования. Другой значимой задачей, рассматриваемой в ряде исследований, является выработка решений для устранения наиболее критичных факторов, способствующих повреждениям ВЛЭП. Наиболее распространенные темы в данном контексте включают защиту от грозового воздействия [10–12] и гололёдообразования [13–15]. Акцент на этих причинах повреждений подтверждает значительный вклад данных факторов в общую статистику повреждений, что указывает на отсутствие универсальных и эффективных методов для их предотвращения.

Также следует отметить, что в работе [16] исследуется вопрос о возможных последствиях разрушения конструкций ВЛЭП из-за дополнительной механической нагрузки, возникающей при повреждении. Несмотря на то, что такие разрушения (например, разрушение опоры) являются редкими, последствия их могут быть крайне негативными для работы электрической сети. Более того, в исследованиях, посвященных повреждениям ВЛЭП, поднимается вопрос разработки методов оценки надежности конструкций ВЛЭП [17], что важно для улучшения планирования энергопроизводства и энергоснабжения, а также для оценки эффективности мер, принимаемых для повышения надежности. Надо подчеркнуть, что все упомянутые источники (и не только они) в совокупности зачастую дают раздробленные выводы, которые могут не соответствовать практике эксплуатации ВЛЭП, что связано с региональными особенностями.

Целью данного исследования является оценка возможности исключения возникновения повреждений ВЛЭП. В качестве анализируемых данных, с учетом результатов исследований других авторов, используется существующий опыт эксплуатации ВЛЭП 110–500 кВ в Ростовской области (в качестве примера южного аграрного региона), который включает информацию о конструкциях ВЛЭП с учетом средств, направленных на снижение количества отключений по отдельным причинам; статистику наиболее повреждаемых элементов конструкции ВЛЭП; а также статистику причин, приводящих к повреждениям ВЛЭП и их элементов.

**Основная часть.** Конструкция ВЛЭП. Стандартная конструкция ВЛЭП состоит из следующих элементов: опора, которая поддерживает провод на необходимой высоте и удерживает его вес; провод, являющийся носителем электроэнергии; гирлянда изоляторов, изолирующая опору от электрического тока; и сцепная арматура, обеспечивающая соединение отдельных подвижных элементов линии. Пример конструкции можно увидеть на рисунке 1 а, где изображена металлическая одноцепная анкерная опора башенного типа (пример жесткой конструкции), а на рис. 1 б и в, представлены названия ее отдельных конструктивных элементов.

Кроме перечисленных элементов, конструкция ВЛЭП может содержать дополнительные компоненты, такие как оттяжки для повышения устойчивости конструкции опоры, экраны, устанавливаемые на гирлянды изоляторов для повышения изоляционных свойств, распорки на проводах в случае расщепления фаз на несколько отдельных проводов и поддерживающую арматуру, используемую на промежуточных опорах. Все перечисленные элементы ВЛЭП являются ключевыми, так как они обеспечивают нормальную работу воздушных линий. Однако современная практика нередко предполагает добавление дополнительных конструктивных элементов, целью которых является

устранение факторов, способных привести к нарушению нормальной работы ВЛЭП или повреждению конструкции. Эти элементы включают, но не ограничиваются: грозотросами или ограничителями перенапряжения (ОПН), которые устанавливаются на линии для защиты от удара молнии [4, 10, 18]; гасителями вибрации, устанавливаемыми на провода и грозотросы для снижения вибраций, вызванных ветром; защитой от птиц, состоящей из защитных кожухов на сцепной арматуре, птицезащитных экранов для гирлянд изоляторов и антиприсадочных устройств для установки на траверсах; и заградительными авиационными шарами, которые размещаются на проводах в пролетах ВЛЭП для визуальной идентификации низколетающих воздушных судов и птиц. Необходимость использования настоящих дополнительных элементов определяется эксплуатационными условиями.

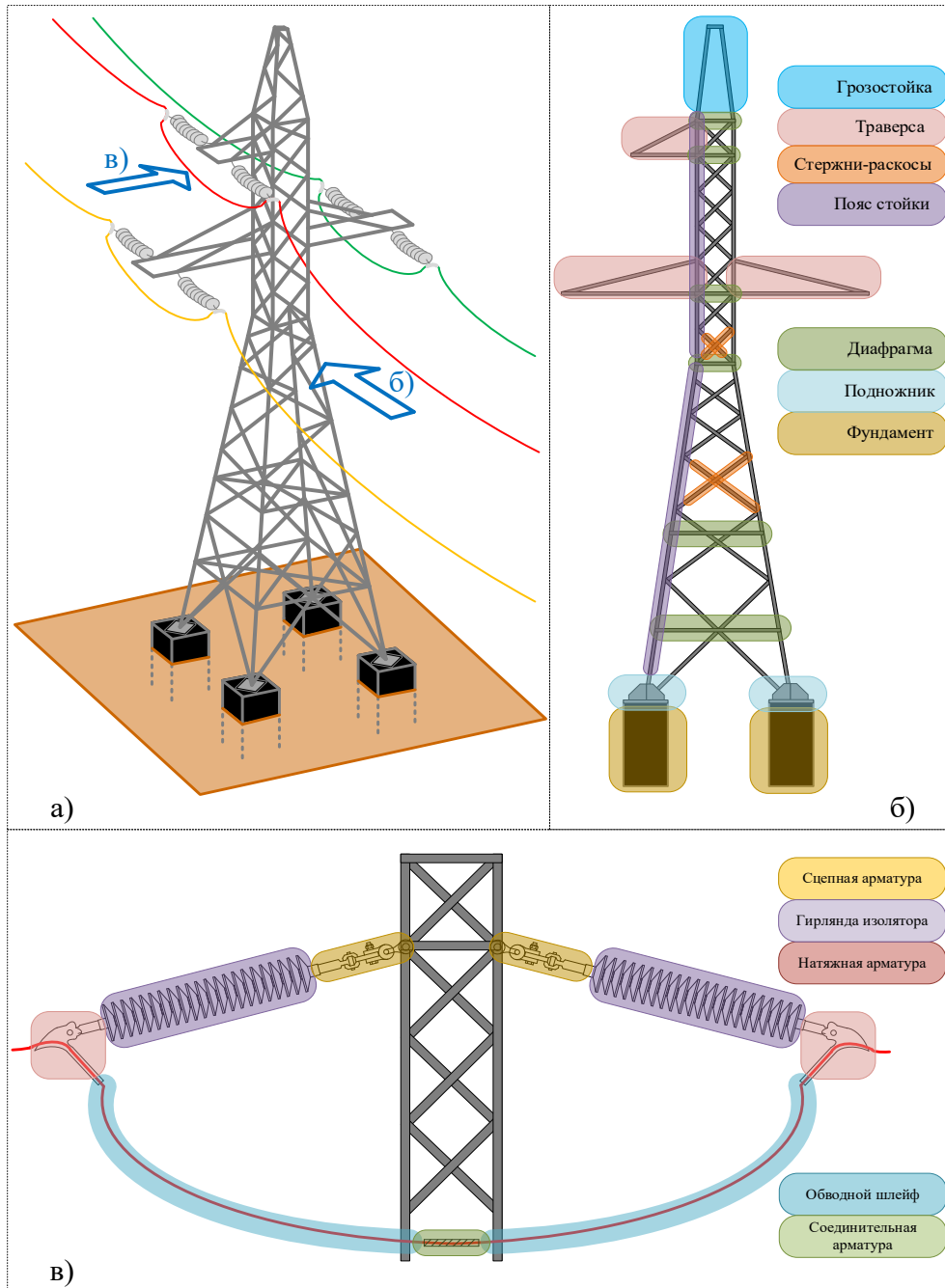


Рис. 1. Конструкция ВЛЭП на примере анкерной опоры: *а* — изображение опоры в анфас; *б* — конструкция опоры; *в* — конструкция обвода провода фазы «С»

Стоит понимать, что представленное описание конструкции опоры ВЛЭП и перечисленные отдельные элементы данной конструкции в наибольшей степени соответствуют общей массе эксплуатируемых ВЛЭП Ростовской области (то есть опыт эксплуатации более современных композитных опор [19] отсутствует). Что касается мероприятий по снижению частоты повреждений ВЛЭП (путём исключения самих причин повреждений), то помимо вышеуказанных устройств применяются также системы плавки гололёда, использующие постоянный ток для нагрева проводов фаз и грозотроса [15].

**Повреждения элементов конструкции ВЛЭП.** В теоретических исследованиях, проводимых по данной теме, классификация повреждений конструкции ВЛЭП, которые приводят к отключению линии, формируется лишь по условию «причина возникновения». Но на практике учитываются также место (условно разделяя ВЛЭП на опоры и пролёты) и механизм возникновения повреждения. Подобное разделение представлено в таблицах 1 и 2 на основе данных по отключению ВЛЭП напряжением 110–500 кВ за период с 2011 по 2021 годы на территории Ростовской области.

Таблица 1

Виды механизмов повреждений ВЛЭП

Механизм повреждения изоляции	Количество повреждений	Процент от общего количества
Перекрытие	455	78 %
Схлестывание	52	9 %
Обрыв	40	7 %
Падение опоры	4	1 %
Разрушение/ Повреждение	3	1 %
Неизвестно	7	1 %
Обрыв и перекрытие	26	4 %
Повреждение и перекрытие	0	0 %
Сумма	587	100 %

Таблица 2

Место повреждения ВЛЭП

Место повреждения	Количество	Процент от общего количества
Пролет	129	22 %
Схлестывание (в пролете)	21	4 %
Перекрытие (в пролете)	108	18 %
Опора	458	78 %
Сумма	587	100 %

Более подробная статистика повреждений ВЛЭП, отражающая частоту повреждений отдельных элементов конструкции ВЛЭП, представлена в таблице 3.

Таблица 3

Повреждаемые элементы ВЛЭП

Механизм повреждения ВЛЭП	Провод	Гирлянда изолятора	Траверса	Сцепная арматура	Распорка межфазная	Шлейф	Опора	Гаситель вибрации	Защитный экран	Грозотрос	Пересекаемая линия	ОПН и заземляющий спуск
Перекрытие	255	207	129	123	0	33	6	10	2	1	3	3
Схлестывание	16	2	3	3	0	6	10	1	2	0	0	7
Обрыв	15	11	0	0	0	10	0	0	0	3	0	0
Падение опоры	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Разрушение/ Повреждение	0	69	2	0	3	1	2	0	0	1	0	4
Схлестывание (в пролете)	21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0
Перекрытие (в пролете)	108	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Обрыв и перекрытие	3	4	0	0	0	0	0	0	0	6	1	12
Повреждение и перекрытие	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Сумма	418	293	134	126	3	50	24	11	4	13	9	27
Процентная частота повреждений на каждое отключение линии	71 %	50 %	23 %	21 %	1 %	9 %	4 %	2 %	1 %	2 %	2 %	5 %

Представленные данные показывают, что преимущественно повреждения возникают на опорах (78 %), а преимущественный механизм возникновения повреждений, как на опорах (60 %), так и в пролётах (18 %) — перекрытие.

**Причины повреждения ВЛЭП.** Как было отмечено в работе [8], точно определить причину возникшего повреждения ВЛЭП в условиях эксплуатации — это чрезмерно сложная задача в отдельных случаях (вследствие отсутствия наблюдения), которая требует значительных трудозатрат. Это связано со следующими условиями: отсутствие явных признаков повреждения, что затрудняет как определение причины, так и идентификацию самого места повреждения, что косвенно подтверждено в [2–3]; наличие признаков нескольких равновероятных причин, что подтверждает один из выводов в работе [8]; отсутствие известных признаков идентификации причины повреждения — так называемые «отключения по невыясненным причинам» [6, 20]. Однако, несмотря на вышеизложенное, большая часть повреждений получает свою причину возникновения на практике.

На рис. 2 представлена классификация причин повреждений с учётом этапов реализации линии: начиная с момента проектирования и заканчивая завершением эксплуатационного периода. Данное разделение реализовано на основе анализа результатов исследований [8–9].



Рис. 2. Этапы существования ВЛЭП с течением времени и соответствующие им причины возникновения повреждений

Следует понимать, что при анализе практических данных определить, к какому именно «этапу» можно отнести то или иное повреждение, как минимум, затруднительно, а как максимум — невозможно. Но подобное разделение может быть использовано в контексте задачи по оценке надежности эксплуатации ВЛЭП.

Детальный перечень причин повреждения ВЛЭП представлен на рис. 3. На диаграмме видно, какую долю от общего количества отключений занимает каждая из существующих причин. При этом под «природно-климатическими» причинами подразумеваются факторы, которые не могут контролироваться людьми: климатические условия, природные явления, поведение животных, стихийные катастрофы. Под «инфраструктурно-социальными» причинами понимаются факторы, источником которых является человеческая деятельность: невыполнение правил безопасности, создание неблагоприятной среды (например, свалка около ВЛЭП для привлечения птиц), об-

работка полей вдоль ВЛЭП, пересечение трассы с ВЛЭП и т. п. А под «деградацией состояния отдельных элементов конструкции» ВЛЭП понимается снижение технических характеристик как всей конструкции, так и отдельных ее элементов вследствие естественного старения.

Согласно представленной диаграмме, видно, что наибольшее количество повреждений ВЛЭП за указанный период связано с грозовыми перенапряжениями (39,08 %), низовыми пожарами (14,16 %), продуктами жизнедеятельности птиц (9,22 %) и сильными ветрами (8,87 %). При этом приблизительно в 9 % случаев причина не была определена.

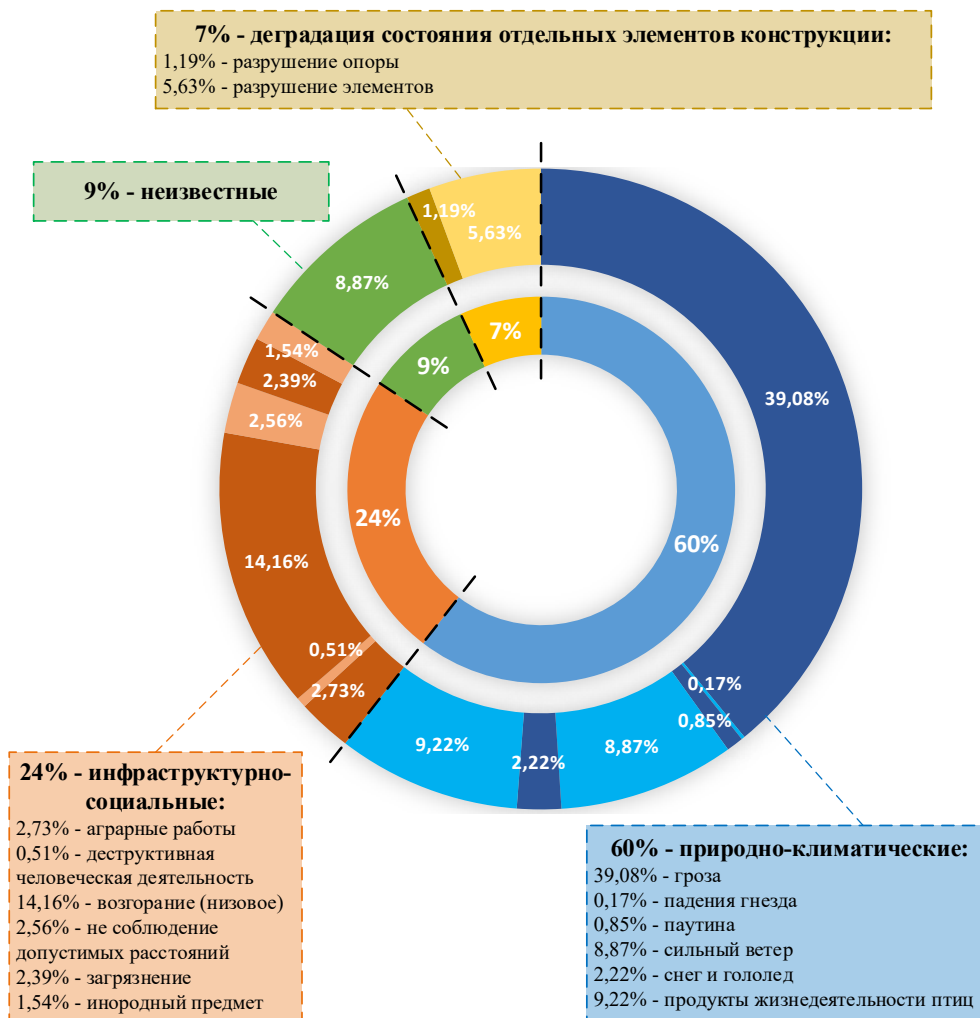


Рис. 3 Диаграмма причин повреждения ВЛЭП Ростовской области за период с 2011 по 2021 гг.

Однако отдельно выделяются повреждения, вызванные аграрными работами (2,73 %) и паутиной (0,85 %). Первая причина имеет сезонный характер (период обработки полей) и включает в себя повреждения, связанные с перекрытием на сельхозтехнику и загрязнением изоляторов при вспахивании полей. Вторая причина также имеет временные ограничения (летний период) и связана с образованием паутины на изоляторах, которую в утреннее время покрывает роса.

Кроме того, отмечается, что высокий процент отключений из-за «продуктов жизнедеятельности птиц» может быть связан с близким расположением свалок к ВЛЭП, что косвенно подтверждается частотой отключений некоторых линий с повреждениями на ограниченном участке всей длины (недалеко от свалки). При условии подтверждения данной зависимости часть отключений по этой причине будет необходимо перенести из категории «природно-климатических» в «инфраструктурно-социальные».

**Анализ полученных результатов.** Как видно из данных, представленных как в таблицах 1–3, так и на диаграмме на рис. 3, полученные результаты не противоречат ранее опубликованным исследованиям: наиболее частой причиной повреждений являются грозовые перенапряжения, и чаще всего повреждение возникает на опоре. Однако данная информация дополняется рядом причин в соответствии со спецификой Ростовской области.

В ходе работы был сделан акцент на обобщение ранее разделявшихся причин по общим признакам, что позволило сформировать три большие группы повреждений: деградиационные, природо-климатические и инфраструктурно-социальные. Данные укрупненные группы причин повреждений ВЛЭП могут быть использованы в анализе мероприятий, направленных на снижение количества отключений ВЛЭП в процессе эксплуатации, поскольку они отражают первопричину возникновения условий для появления привычных причин повреждений. Также они могут помочь в формировании норм по допустимому количеству отключений ВЛЭП в электросетевых компаниях, позволяя использовать более гибкую систему определения данного количества на основе оценки условий эксплуатации и состояния конструкций ВЛЭП.

Число отключений может существенно зависеть от изменения климатических условий, а также от инфраструктурных факторов на территориях, где проходят ВЛЭП. Эти факторы не зависят от деятельности самих электросетевых организаций, но способны влиять на надежность работы линий. Однако для подтверждения конкретной зависимости числа отключений от отдельных изменений указанных условий требуются дальнейшие исследования, основанные на более детальной статистике и соответствующих картах.

При анализе повреждаемости отдельных элементов конструкции ВЛЭП независимости от причин был сделан вывод о наличии разных механизмов формирования повреждений. В теоретических материалах по данной теме не было представлено каких-либо описаний, в то время как в отчетах по осмотру ВЛЭП эксплуатирующей организации часто отмечались описания возникновения повреждений, такие как «перекрытие», «схлест», «перехлест», «обрыв», «разрушение», «повреждение» и т.п. Несмотря на наличие данных описаний, наблюдалось отсутствие четких формулировок, что усложняло идентификацию.

Применение более точных формулировок, описывающих возникновение повреждения на ВЛЭП, позволит более корректно формулировать описание событий. На сегодняшний день описание повреждений линий включает в себя «причину» — почему возникло повреждение; «описание повреждения» — какие конструктивные элементы линии были повреждены и требуют замены. Предлагается добавить «механизм» — как сформировалось повреждение. Это позволит при анализе получить более полную картину события.

По результатам проведенного исследования сделан вывод, что условия эксплуатации ВЛЭП находятся в постоянном изменении. Для ряда причин повреждений отсутствуют какие-либо средства борьбы с ними (низовое возгорание, перекрытие на технику, находящуюся под ВЛЭП и т.п.), а для остальных имеющиеся средства не обладают стопроцентной эффективностью (грозотросы и плавка гололеда не позволяют полностью исключить повреждения ВЛЭП).

Это подтверждает, что полное исключение возникновения повреждений на ВЛЭП невозможно. В свою очередь, это приводит к выводу о необходимости использования устройств и методов ОМП (определения места повреждения), от которых нельзя отказаться независимо от применяемых средств борьбы с этими причинами.

В заключении по результатам работы можно сделать следующие выводы:

- ключевыми причинами повреждения ВЛЭП в Ростовской области являются гроза (39,08 %), низовые возгорания (14,16 %), продукты жизнедеятельности птиц (9,22 %), ветровые нагрузки (8,87 %). При этом отличительными причинами являются аграрные работы, которые составляют 2,39 % от общего числа повреждений, а также перекрытие через паутину в утреннее время (0,85 %).

- наибольшее число повреждений линий фиксируется на опорах и отдельных элементах, располагающихся близ опоры (78 %). На пролеты между опорами приходится менее четверти всех повреждений ВЛЭП.

- представлено разделение причин возникновения повреждений на укрупненные группы: «деградационные», «природо-климатические» и «индустриально-социальные». Такое разделение может позволить пересмотреть некоторые нормативные требования по допустимому количеству отключений, а также реализуемые мероприятия по снижению числа отключений. Предложено учитывать при описании повреждений ВЛЭП помимо «причины» и «описания повреждения» также и «механизм», который отражает процесс возникновения повреждения. Требуется составить более корректные формулировки и классификацию повреждений по механизму их возникновения.

- анализ эффективности средств для снижения числа повреждений ВЛЭП показывает отсутствие возможности полного исключения возникновения повреждений, что подтверждает необходимость обязательного применения устройств и методов ОМП.

### Список литературы

1. *Официальный сайт группы электросетевых компаний ПАО «Россети»*. URL: <https://www.rosseti.ru/> (дата обращения 28.11.2024)/
2. Сарычев И.В. Анализ отключений в электрических сетях Кемеровского района. *Вестник КузГТУ*; 2005;1:88–91.

3. Шатова Ю.А., Лучинкин А.В., Кривошапов А.А., Алешина Н.Н. Анализ статистической информации по аварийным отключениям ЛЭП-220 кВ Пензенской энергосистемы для определения закона распределения отключений. *НиКа*. 2012;1:443.
4. Новикова А., Шмараго О. Грозозащита ВЛ 110 кВ в Сочинском регионе. Модернизация с применением многогранных опор. *Новости Электротехники*. 2011;2(68). URL: <http://news.elteh.ru/arh/2011/68/06.php> (дата обращения: 10.12.2024)/
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(1):107–113.
6. Боровицкий В.Г., Овсянников А.Г. Проблемы утренних отключений воздушных линий электропередачи. В: *Труды четвертой Российской научно-практической конференции с международным участием «Линии электропередачи — 2010: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс»*. Новосибирск; 2010. С. 274–279.
7. Черешнюк С.В., Луговой В.А., Тимашова Л.В. Учет гололедных и гололедно-ветровых нагрузок на воздушные линии электропередачи. *Энергия единой сети*. 2012;4(4):28–35.
8. Ефимов Е.Н., Тимашова Л.В., Ясинская Н.В. Причины и характер повреждаемости компонентов воздушных линий электропередачи напряжением 110-750 кВ в 1997-2007 гг. *Энергия единой сети*. 2012;5(5):32–41.
9. Черешнюк С.В., Тимашова Л.В. Учет, мониторинг и прогноз климатических условий при проектировании и эксплуатации воздушных линий электропередачи. Карты климатического районирования. *Энергия единой сети*. 2021;4(59):64–75.
10. Гайворонский А. Актуальные проблемы молниезащиты ВЛ 110-500 кВ. *Новости Электротехники*. 2019;1(115):18–23.
11. Юдицкий Д.М., Усачев А.Е. Сравнительная оценка доли ударов молний в опоры и верхний фазный провод в пролёте ВЛ без молниезащитного троса. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2018;3–4(20):3–10.
12. Халилов Ф.Х., Котляров Э.Р. Отказ от тросовых молниеотводов и трубчатых разрядников на воздушных линиях 35–150 кВ в районах Крайнего Севера. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2015;2(219):41–47.
13. 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(1):07–113.
14. Засыпкин А.С., Щуров А.Н., Тетерин А.Д. Применение датчиков гололедной нагрузки и датчиков продольного тяжения проводов ВЛ для оценки опасности гололедной обстановки. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2018;2(198):48–53.
15. Ильина М.А., Пурыха С.П. Предотвращение гололедных аварий в электрических сетях энергосистем. В: сб. материалов Международной научной конференции «Молодые исследователи регионам». Вологда: ВоГУ; 2024. С. 1106–1107.
16. Хамидуллин И.Н., Ильин В.К. К вопросу о надежности воздушных линий электропередачи 35–500 кВ. *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2016;1:45–53.
17. Шатова Ю.А., Алешина Н.Н. Методика расчета показателей надежности воздушных линий электропередачи на основе их длин. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2013;5(18):1–7.
18. Дмитриев М. Воздушные линии 110-220 кВ защита изоляции от грозовых перенапряжений. *Новости Электротехники*. 2008;6(54). URL: <http://news.elteh.ru/arh/2008/54/09.php> (дата обращения: 10.12.2024)/
19. Бочаров Ю.Н., Жук В.В. Грозоупорность воздушных ЛЭП высокого напряжения с композитными опорами. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2013;1(166):80–83.
20. Курский А.А. Математическое моделирование статистики отключений линий электропередач 110 кВ по невыясненным причинам. *International journal of professional science*. 2019;12:66–70.

**Об авторах:**

**Владимир Эдуардович Левчук**, аспирант кафедры цифровые технологии и платформы в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ведущий инженер службы релейной защиты и автоматики и автоматизированных систем управления технологическими процессами Ростовского предприятия магистральных электрических сетей (344093, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Днепропетровская, 54/1), [vladimir.levchuk.94@mail.ru](mailto:vladimir.levchuk.94@mail.ru)



**Екатерина Александровна Заикина**, студент кафедры цифровые технологии и платформы в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [zaikina.ea.03@mail.ru](mailto:zaikina.ea.03@mail.ru)

**Дмитрий Андреевич Данилин**, студент кафедры цифровые технологии и платформы в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [dima34danilin6411@gmail.com](mailto:dima34danilin6411@gmail.com)

**Анастасия Александровна Парпулова**, студент кафедры цифровые технологии и платформы в электроэнергетике Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [parpylova\\_47@mail.ru](mailto:parpylova_47@mail.ru)

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

**About the Authors:**

**Vladimir E. Levchuk**, Postgraduate Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), Lead Engineer of Relay Protection and Automatic and Automated Process Control Systems Department, Rostov Main Power Networks Company (54/1, Dnepropetrovskay Str., Rostov-on-Don, 344093, Russian Federation), [vladimir.levchuk.94@mail.ru](mailto:vladimir.levchuk.94@mail.ru)

**Ekaterina A. Zaikina**, Bachelor's Degree Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [zaikina.ea.03@mail.ru](mailto:zaikina.ea.03@mail.ru)

**Dmitrii A. Danilin**, Bachelor's Degree Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [dima34danilin6411@gmail.com](mailto:dima34danilin6411@gmail.com)

**Anastasiya A. Parpulova**, Bachelor's Degree Student of the Digital Technologies and Platforms in the Electric Power Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [parpylova\\_47@mail.ru](mailto:parpylova_47@mail.ru)

**Conflict of Interest Statement:** the authors declare no conflict of interest.

*All authors have read and approved the final manuscript.*