



**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ/CONSTRUCTION STRUCTURES,
BUILDINGS AND STRUCTURES**

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.6> EDN: YPINRV**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Научная статья

Сенькин Н.А.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-7086-1960;¹ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (senkin1952[at]yandex.ru)

Предложена: 27.03.2026; Принята: 23.04.2026; Опубликовано: 21.05.2026

Аннотация

Представлен метод определения степени коррозионного износа стальной конструкции с учетом влияния продуктов коррозии, замедляющих скорость коррозионного процесса. Метод позволяет при известной толщине коррозионного слоя в течение известного промежутка времени определить толщину последующего коррозионного износа за следующий промежуток времени. Теоретические результаты подтверждены данными долговременных измерений коррозионного износа, а в результате получила совершенствование Методика обследования конструкций воздушных линий электропередачи (ВЛ). Так, предложены количественные и качественные показатели как критерии оценки технического состояния конструкций ВЛ, усовершенствованные в виде шкалы балльной оценки, удобной при эксплуатации. По результатам обследования определяется индивидуальная оценка технического состояния конструкций каждой опоры с фундаментами, при суммировании относительных показателей которых формируется интегральный показатель технического состояния конструкций ВЛ с рекомендациями по приведению ВЛ в нормативное состояние.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, конструкции, техническое состояние, коррозия, обследование, критерии оценки.

**IMPROVING THE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF OVERHEAD
POWER LINE STRUCTURES**

Research article

Senkin N.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-7086-1960;¹ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (senkin1952[at]yandex.ru)

Suggested: 27.03.2026; Accepted: 23.04.2026; Published: 21.05.2026

Abstract

A method is presented for determining the extent of corrosion wear in steel constructions, taking into account the influence of corrosion products that slow down the corrosion process. Given the thickness of the corrosion layer over a known period of time, the method allows the thickness of subsequent corrosion wear over the next period of time to be determined. The theoretical results are confirmed by data from long-term measurements of corrosion wear, and as a result, the methodology for inspecting overhead power line (OPL) structures has been improved. Thus, quantitative and qualitative indicators have been suggested as criteria for assessing the technical condition of OPL structures, perfected in the form of a scoring scale that is convenient for operational use. Based on the survey results, an individual evaluation of the technical condition of the structures of each support with foundations is determined; when the relative indicators are summed, an integrated indicator of the technical condition of the OPL structures is formed, along with recommendations for bringing the OPL into compliance with standards.

Keywords: overhead power lines, constructions, technical condition, corrosion, inspection, assessment criteria.

Введение

В конце XX века обследование технического состояния конструкций (ТСК) ВЛ успешно проводилось в соответствии с требованиями нормативной и технической документации (НТД), в частности «Типовой инструкции по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35–800 кВ (РД 34.20.504-94)» [1] и «Методическими указаниями по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ и их элементов (МУ-94)» [2]. Тогда оценка ТСК заключалась в не превышении параметров элементов предельным значениям, установленным в НТД. Кроме того, в МУ-94 представлена сложная для использования «Методика оценки ТСК» с коэффициентами дефектности (КД) для отдельных групп, составляющих ВЛ: опор КДО, фундаментов КДФ, проводов КДП, изоляторов КДИ, линейной арматуры КДА и на основе их суммы, умноженные на весовые



коэффициенты, определяется коэффициент дефектности ВЛ. Однако в связи с условностью указанных весовых коэффициентов данная Методика МУ-94 не получила широкого использования в электроэнергетике.

Требования современных стандартов (ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила осмотра и мониторинга технического состояния» [3], Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО ЕЭС России 56947.007–29.240.55.111-2011 «Руководство по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи и остаточного ресурса элементов воздушных линий электропередачи» [4]) определяют комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих эксплуатационное состояние, пригодность и работоспособность объектов исследования и определяющих возможность их дальнейшей эксплуатации или необходимость восстановления и усиления. Существующий традиционный метод обследования строительных конструкций с оценкой технического состояния конструкций опор ВЛ [1], [2], [3], [4], основан на многочисленных исследованиях и испытаниях, проведенных на ВЛ еще в XX веке, в первую очередь под руководством выдающихся российских ученых и инженеров, и имеет длительный, нескончаемый период позитивного развития. Профессор кафедры «Металлические конструкции и испытания сооружений» Ленинградского инженерно-строительного института (ЛИСИ, сейчас СПбГАСУ) в докторской диссертации «Действительная работа конструкций воздушных линий электропередачи» (1966) В.А. Трулль (1916–1996) обратил внимание исследователей на актуальность решения проблемы адекватности расчетных моделей действительной работе конструкций ВЛ [5]. Базисная методология оценки технического состояния конструкций ВЛ заложена в работах руководителя Центра испытания ВЛ (ЦИВЛ) АО «Фирма ОРГРЭС Л.В. Яковлева [6]. Однако, оценка технического состояния стальных конструкций опор проводилась, как правило, на основе анализа коррозионного износа элементов, а также сопоставления выявленных дефектов и повреждений элементов с предельными нормативными значениями при изготовлении, транспортировке, строительно-монтажных работах и эксплуатации конструкций. При этом отсутствовали требования по формированию интегрального показателя технического состояния конструкций ВЛ, расчет которого появился в «Методике оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи, электрических станций и электрических сетей» (2020) [7]. По данной Методике расчет индекса технического состояния (ИТС) ВЛ осуществляется для каждого функционального узла (опора и пролет) как сумма индивидуальных ИТС функциональных узлов, поделенная на их количество либо на протяженность ВЛ. При этом общий диапазон ИТС определяется в интервале от нуля 0 (наихудшее значение) до 100 единиц (наилучшее значение), а вид технического состояния конструкций опор в порядке повышения качества определен как «критическое», далее — «неудовлетворительное», а затем «удовлетворительное», «хорошее», «очень хорошее», что не соответствует строительным нормам ГОСТ 31937–2024 [3]. Следует заметить, что здесь балльная шкала некорректно применена для оценки количества и размеров дефектов, повреждений вместо оценки технического состояния конструкции (таблица 5.2 в [7]).

Проблема адекватности расчетных моделей действительной работе конструкций ВЛ актуальна и в настоящее время. Например, в Новосибирском техническом университете (НГТУ) предложена оригинальная «Методика оценки технического состояния опор ВЛ с учетом типовых эксплуатационных дефектов» [8], основанная на частотных исследованиях колебаний каждой опоры ВЛ как индивидуальной конструкции с оценкой влияния дефектов на расчетную модель. Здесь на стадии обследования ВЛ определяются частоты собственных колебаний опор и отклонения в физическом состоянии конструкций. Авторы обоснованно заявляют, что отсутствует целостный подход к оценке технического состояния опор ВЛ [8], [9]. Однако данные исследования характеризуются неконкретными и неопределенными результатами, представленными в диссертации А.Н. Кожевникова «Расчетно-экспериментальная оценка технического состояния опор воздушных линий электропередачи» [9]: «отсутствие отдельных силовых элементов не оказывает существенного влияния на НДС опоры»; «ослабление закрепления опоры П110-3 проявляется в уменьшении значений частот с существенным влиянием на соответствующие формы собственных колебаний»; «сформулированы обобщенные рекомендации по необходимости оперативного осмотра конструкций в зависимости от идентифицированного состояния опоры» и т.п. В связи с отсутствием сопоставления результатов предлагаемой [9] и традиционной [3], [4] методик оценки технического состояния опор ВЛ следует считать, что предлагаемая методика оценки недостаточно апробирована для практического применения в электроэнергетике с широким освещением в экспертном сообществе [10]. Кроме того, предложенная в НГТУ методика не позволяет оценивать степень коррозионного износа эксплуатируемых конструкций ВЛ, как главного долговременного поражающего фактора для стальных конструкций промышленных объектов во времени [11]. Тем не менее, оценка технического состояния конструкций посредством измерения их динамических характеристик и сопоставлением с предельными значениями представляется весьма перспективной.

Целью данной работы является совершенствование методики обследования конструкций опор ВЛ, в составе которой предложен «интегральный показатель технического состояния», численное значение которого определяет надежность и качественные показатели состояния конструкции, характеризующих эксплуатационное состояние, пригодность и работоспособность объекта исследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации или необходимость восстановления и усиления. Объектом работы назначены компоненты, составляющие ВЛ (опоры, фундаменты, провода, грозозащитные тросы, изоляция, линейная арматура), а субъектом — обследование и оценка технического состояния конструкций ВЛ. Актуальность работы обусловлена «значительной протяженностью отечественных ВЛ 0,4–750 кВ ПАО «Российские сети», достигающей более 2,5 млн. км для разных классов напряжений 0,4–750 кВ» [12], а также по причине их неудовлетворительного технического состояния и высокой аварийности [13], [14]. Новизна статьи определяется представлением и практическим обоснованием графиков прогноза толщины коррозионного износа во времени, применением шкалы балльной оценки технического состояния опор и фундаментов конструкции, а в итоге — определением интегрального показателя технического состояния конструкций всей ВЛ. Кроме того, актуальность работы подтверждается высокой необходимостью защиты

конструкций от аварийных повреждений ВЛ с отключением электроснабжения ответственных потребителей на продолжительный период времени [15].

Определения коррозионного износа конструкций

Полностью избавиться от коррозионных потерь практически невозможно, поэтому рационально допустить коррозию стальных элементов, продукты образования которой используются для защиты от воздействия агрессивной среды, однако следует контролировать во времени износ конструкций ВЛ и состояния антикоррозионной защиты. При рассмотрении защитного слоя продуктов коррозии отмечается значительное влияние агрессивных атмосферных условий на скорость протекания коррозионного процесса. Исходя из этого, в ГОСТ 9.040–74 (2021) [16] приведена формула для определения ожидаемых коррозионных потерь массы M_t за длительный период эксплуатации с коэффициентом n , учитывающая влияние продуктов коррозии на скорость коррозионного процесса. Указанная формула преобразована автором в выражение (1), которое позволяет при известной толщине коррозионного слоя δ_1 в течение времени τ_1 , прошедшего с момента ввода в эксплуатацию, получить требуемую толщину коррозионного износа δ_τ в момент τ :

$$\delta_\tau = \delta_1 \left(\tau / \tau_1 \right)^n \quad (1)$$

где n — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние продуктов коррозии на скорость коррозионного процесса, который принимается равным 0,2–0,4 для сельской местности, 0,5–0,6 для промышленной и городской зон.

Следовательно, при известном δ_1 (мм) в течение времени τ_1 (годы), полученном в результате обследования, удобно получить требуемую толщину δ_τ в момент τ , и это подтверждается результатами измерений, выполненных автором в 1987 году и июне 2022 г. в г. Ухта Республики Коми (рисунок 1).

В 1982–1990 годах кафедра промышленного и гражданского строительства Ухтинского индустриального института (УИИ, сейчас УГТУ) под руководством автора провела исследования коррозионного износа стальных опор ВЛ 35–110 кВ компании ОАО «АЭК Комиэнерго» в Республике Коми. В 1987 году толщина коррозионного износа была измерена на нижней стальной горизонтальной распорке на стальных опорах двухцепной воздушной линии ВЛ 35 кВ, установленных вдоль пр. Космонавтов в г. Ухта и введенных в эксплуатацию в 1972 году [17]. А в июне 2022 года состоялась контрольная проверка коррозионного износа на этой же горизонтальной распорке через 35 лет после 50 лет эксплуатации данной линии и этой опоры (рис. 1 а, б) [18].

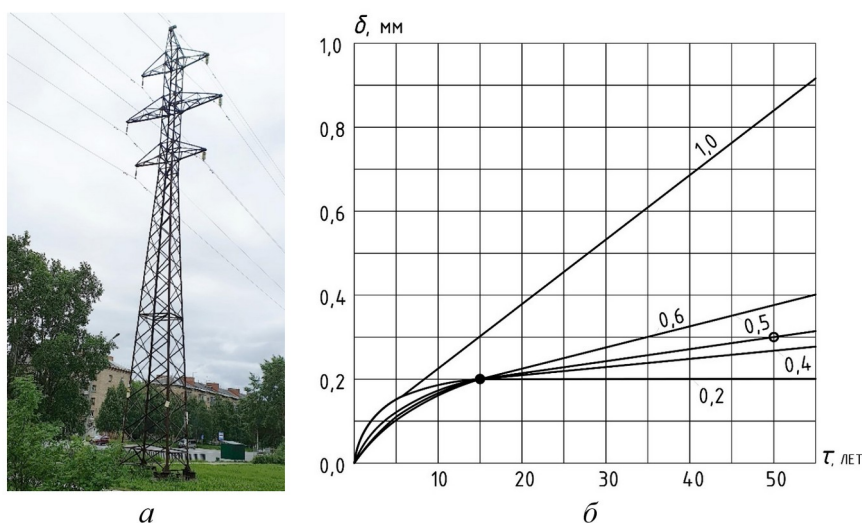


Рисунок 1 - Промежуточная опора ВЛ 35 кВ ОАО «АЭК Комиэнерго»:

а - двухцепная решетчатая стальная опора с фундаментными распорками; б - прогнозные графики коррозионного износа δ незащищенной стали, рассчитанные с учетом скорости затухания коррозии во времени τ в зависимости от степени агрессивности воздушной среды

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.6.1>

Примечание: коэффициент $n = 0,2 \dots 1,0$, пропорциональный степени агрессивности

Таким образом, на основании выполненных исследований в предлагаемой формуле (1) целесообразно назначить следующие коэффициенты n , равные 0,2–0,4 для условий неагрессивной среды (сельская зона), 0,5–0,6 — для условий среднеагрессивной среды (город и промышленная зоны) и 1,0 — для агрессивной среды.

При этом для конструкций с защитными антикоррозийными покрытиями продолжительность эксплуатации рассчитывается после разрушения таких покрытий. Критерии для присвоения параметров агрессивности воздушной среды определяются в соответствии с требованиями свода правил СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» [19].

На скорость коррозии стальных элементов существенное влияние оказывает угол наклона элементов к горизонтали, которая на горизонтальных элементах протекает почти в два раза быстрее, чем на вертикальных. На

процесс коррозии существенное влияние оказывает высота расположения элемента, поэтому он наиболее интенсивен до высоты 1–1,5 м от поверхности земли по причине повышенной влажности. Нанесение цинкового покрытия толщиной не менее 80 мкм методом горячего цинкования является основным способом обеспечения антикоррозионной защиты элементов стальных опор ВЛ. Срок службы такого покрытия в умеренно агрессивной среде со скоростью коррозии 1–5 мкм в год составляет не менее 15–20 лет [1], [20].

Метод обследования конструкций опор ВЛ

В 2007–2008 годах автор, работая в ОРГРЭС, руководил рядом работ, выполненных ЦИВЛ АО «Фирма ОРГРЭС» (Москва) в Хотьково Московской области по обследованию технического состояния ВЛ 110–500 кВ с целью их реконструкции и продления срока эксплуатации в различных регионах России. Следует отметить особый методологический подход ОРГРЭС, который был использован при проведении комплексных обследований ВЛ, когда такое обследование вместе с конструкциями опор и фундаментов включало анализ состояния проводов, грозозащитных тросов, изоляции, заземления, трассы. К договору подряда на выполнение работ прикладывались Программа, календарный план и «Методика проведения комплексного обследования воздушных линий электропередачи», в которых указываются количественные и качественные критерии оценки ТСК (в виде таблиц), включая обозначения категорий дефектов и повреждений по группам А, Б, В. Такая методика была разработана выдающимся исследователем Л.В. Яковлевым (1932–2007), который в течение многих лет успешно руководил натурными испытаниями конструкций и элементов ВЛ на испытательном силовом стенде ЦИВЛ, а также обследованием конструкций ВЛ. Леонид Васильевич стал настоящим руководителем научно-практической школы по исследованию и испытаниям конструкций ВЛ, работы которой были заложены в основу разработанных отраслевых НТД, в частности действующего стандарта организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947.007–29.240.55.111–2011 [4].

В совмещенной таблице 1 представлены количественные и качественные показатели в качестве критериев оценки ТСК ВЛ, предложенные АО «Фирма ОРГРЭС» в виде коэффициентов надежности КН по группам А, Б, В, предложенных Л.В. Яковлевым (столбец 1), и балльной оценки КВ (столбец 2), предложенной автором.

Таблица 1 - Критерии оценки технического состояния конструкции ВЛ

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.6.2>

Количественные показатели ТСК, коэффициент надежности (КН)	Интегральный показатель ТСК, контрольная оценка в баллах (КВ)	Качественные показатели технического состояния конструкции (ГОСТ 31937–2024) [3]
1	2	3
≥ 1	4	Состояние нормативное, соответствует НТД
1–0,9 (В)	3	Рабочее состояние
0,9–0,7 (Б)	2	Состояние ограничено работоспособное
0,7–0,5 (А)	1	Состояние аварийное, предаварийное, неприемлемое

Результаты: пример оценки технического состояния опор ВЛ

В 2007 году было проведено техническое обследование участка воздушной линии электропередачи ВЛ 220 кВ в Хакасии силами АО «Фирма ОРГРЭС», бригадой под руководством автора, в результате чего техническое состояние этой линии было признано ограничено работоспособным и ремонтнопригодным, что требует организации плановых ремонтно-восстановительных работ или скорой реконструкции с заменой опор, имеющих аварийное и предаварийное состояние.

В таблице 2 назначена предельно допустимая степень коррозионного износа стального элемента конструкции 10% согласно требованиям «Типовой инструкции по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35–800 кВ (РД 34.20.504–94)» [1] и обозначены категории дефектов и повреждений (ДП) [2], [3], [4]:

А — ДП особо ответственных элементов и соединений, которые представляют непосредственную опасность разрушения (предаварийное состояние конструкций);

Б — ДП не представляют в момент обследования непосредственной опасности для конструкции, но могут в дальнейшем привести к повреждениям других элементов и узлов или перейти в категорию А (ограниченно работоспособное состояние конструкций);

В — ДП имеют локальный характер, которые при последующем развитии не могут оказать влияние на другие элементы (работоспособное состояние конструкций) [3], [4].

Далее представлен пример обследования короткого участка данной линии для иллюстрации преимуществ балльной оценки ТСК посредством интегрального показателя технического состояния конструкций ВЛ. По таблице 2 для участка с 16 стальными опорами количественная оценка технического состояния (в баллах) составит: $9 \times 3 + 7 \times 2 = 27 + 14 = 41$; а удельная оценка в баллах: $41/16 = 2,56 < 3$, значит состояние конструкций ВЛ ограничено работоспособное, что потребует планового ремонта с усилением либо заменой опор. Аналогично по таблице 3 — для



участка с 5 железобетонными опорами (в баллах): $3 \times 2 + 2 \times 1 = 6 + 2 = 8$; удельная оценка в баллах: $8/5 = 1,6 < 2$, состояние аварийное (предаварийное), которое требует вывода ВЛ из эксплуатации с последующей реконструкций ВЛ с заменой опор.

Интегральный показатель технического состояния конструкций ВЛ: $KB = (41+8)/21 = 49/21 = 2,33 < 3$, значит состояние ограниченно работоспособное, что требует скорой реконструкции с заменой опор.

Таблица 2 - Контроль состояния стальных опор и фундаментов ВЛ-220 кВ

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.6.3>

Опоры	Измеряемые параметры опор, определяющие их состояние			Категория дефектов и повреждений (оценка состояния опоры в баллах)
	стальная конструкция опоры: дефекты и повреждения (ДП), наибольшая степень коррозионного износа поясов/раскосов/распорок, %	оттяжки и опорные узлы крепления к ф-там: ДП, усилия натяжения оттяжек	глубина заложения Н (м), прочность бетона наиболее поврежден. ф-та: класс прочности В (МПа): проектн. марка М/факт	
1 125 У-37-1 / 2Ф5-У +2Ф3-У (факт: 4Ф5-У) 240,6	сварной стык пояса, нет фундаментных распорок (ФР) 2,6 / 1,4	-	суммарная толщина подкладок под опорной плитой (Т _{пр}): Т _{пр} =85 мм обварены, Н=3,0 М300 / В27,5	Б (2)
2 132 П-24 / 4Ф5 272,1	перелом пояса из-за принудит посадки башмака 2,8 / 6,2 / 8,2	-	дефицит заглубления (ДЗ) ф-та -0,7 м М300 / В27,5	В (3)
3 137 П-24 / 4Ф3/ 275,3	5,5 / 3,0 / 5,5	-	Т _{пр} =60мм	В (3)
4 143 П-24 / 4Ф3/ 256,1	2,6 / 1,6 / 5,8	-	на 2 узлах не закручены гайки (НГ-2) сколы бетона на обресе ф-та (СБ)	В (3)
5 144 У-37 / 2Ф5-У + 2Ф3-У/ 446,1	-	-	Т _{пр} =60мм М300 / В30	В (3)
6 145 П-22 / Ф2-0 (факт: У-37-1 / 4Ф3-У) / 465,8	4 ФР 1,0 / 2,9	-	Н=3,0; нарушение опирания 4-х башмаков (4НОБ), СБ и обнажение арматуры ф-та (1 ОА) М300	Б (2)
7 148 СП-22 / Ф2-0/ 558,7	-	трение оттяжки по поясу стойки (ТО)	Н=2,5; СБ и ОА на 1 фундаменте (СБОА-1) М200 / -	Б (2)
8 149 П-22 / Ф2-0/ 417,3	6,0 / 8,6	ТО	СБ - / В15	Б (2)
9 151 П-22 / Ф2-0/ 298,9	10,0 / 8,6	ТО	- / В12,5	Б (2)



Опоры	Измеряемые параметры опор, определяющие их состояние			Категория дефектов и повреждений (оценка состояния опоры в баллах)
№№, № опор, тип опор и фундаментов (ф-тов), ветровой пролет, м	стальная конструкция опоры: дефекты и повреждения (ДП), наибольшая степень коррозионного износа поясов/раскосов/распорок, %	оттяжки и опорные узлы крепления к ф-там: ДП, усилия натяжения оттяжек	глубина заложения Н (м), прочность бетона наиболее поврежден. ф-та: класс прочности В (МПа): проектн. марка М/факт	
10 155 П-22 / Ф2-0/ 631,4	10,0 / 4,4	ТО	СБ	Б (2)
11 158 СП-22/Ф1-0/ 493,5	-	ТО	- / В20	В (3)
12 161 П-22/Ф1-0К/ 449,2	0,1 / 0,2	2ТО	Н=2,5 / М200 / -	В (3)
13 162 П-22 / Ф2-0/ 500,9	11,1 / 4,4	2ТО	Н=2,5 СБ М200 / В12,5	Б (2)
14 163 П-22 / Ф2-0/ 449,2	-	2ТО, между оттяжками – 17,8 м; а по проекту – 20,0 м	- / В22,5	В (3)
15 164 П-22 / Ф2-0/ 414,1	-	2ТО	-	В (3)
16 165 П-22 / Ф1-0/ 327,8	-	2ТО	- / В60	В (3)

Примечание: требуемое усилие натяжения в оттяжке по проекту – 15 кН (1,5 тс); максимально разрешенная толщина стальных прокладок под плитой башмака опоры 40 мм (четыре пластины толщиной 10 мм каждая); по ист. [1]

Таблица 3 - Контроль состояния железобетонных опор на ВЛ-220 кВ

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.6.4>

Опоры	Измеряемые параметры опор, определяющие их состояние		Категория дефектов и повреждений (оценка состояния опоры в баллах)
	дефекты и повреждения (ДП) железобетонной центрифугированной стойки	толщина стенки (мм) и прочность бетона стойки (МПа)	
№№ № опоры, тип железо-бетонных опор и стоек / ветровой пролет, м	качество заделки в грунте; число, ширина и длина (ВxL) раскрытия трещин и щелей, раковины и отверстия, мм горизонтальные поперечные (ГПТ) и вертикальные продольные (ВТ) трещины, щели, отверстия	в верхнем сечении / в нижнем сечении; отклонение вершины от вертикали (норма: 0,2 м) и искривление (норма: 0,1 м), м; марка прочности по проекту / факт, даН (кг/см ²); класс прочности: проект / факт, МПа	
1 110 ПБ220-3 / СН-220 / 198,0	раскрытие нижнего горизонтального опалубочного шва (ГШ): ширина до 20 мм, длина 200 мм, отверстие площадью 60 см ² в месте пятака заземления (ОР-60 см ²)	- - 500 / 573 B50 / B45	A (1)
2 117 ПБ220-3 / СН-220 / 248,8	раскрытый до 50 мм вертикальный опалубочный шов по длине 1м, ⊥ траверсам (ВШР-50-1м)	- - 500 -	B (2)
3 121 ПБ220-3 / СН-220 / 246,5	незаглубленные ригели (НР); стойка усилена оттяжкой (УО) тросом диаметром 13 мм, прикрепленной к лежащей стойке СН-220 (ЛС) ⊥ ВЛ	60 / 60 - 500 / 657 B50 / B55	B (2)
4 124 ПБ220-3 / СН-220 / 245,7	много ГТ до 1x500мм с шагом 50-100 мм по высоте до нижней траверсы	- - 500 / 573 B50 / B45	A (1)
5 127 ПБ220-3 / СН-220 / 194,7	-	- 1,59 / 0,2 500 -	B (2)

Таким образом, балльная оценка ТСК посредством интегрального показателя технического состояния конструкций ВЛ позволяет достаточно точно оценить техническое состояние конструкций в целом и обозначить направление на нормализацию технического состояния конструкций ВЛ, например посредством реконструкции.

Заключение

Аварийные повреждения конструкций с падением опор воздушных линий электропередачи также относятся к действительной работе конструкций ВЛ, включающей целый ряд факторов как, например, коррозионный износ. Так, недавние значительные повреждения на четырех ВЛ 154 кВ на Кольском п-ве в период с 23.01 по 05.02.2026 с падением 5 промежуточных опор на оттяжках и повреждением анкерной опоры привели к отключению электроснабжения (блэкаут) Мурманска и Североморска и введению режима чрезвычайной ситуации. Первопричиной



такого коллапса стал значительный коррозионный износ конструкций в связи с продолжительной эксплуатацией, превышающей нормативный срок технической эксплуатации 50 лет [15]. Такие блэкауты определяют значительную угрозу человеческой цивилизации. Поэтому тема совершенствования методики оценки технического состояния конструкций ВЛ однозначно представляет высокий уровень актуальности.

В работе представлен метод определения степени коррозионного износа стальной конструкции с учетом влияния продуктов коррозии, замедляющих скорость коррозионного процесса, который позволяет при известной толщине коррозионного слоя в течение известного промежутка времени определить толщину последующего износа за следующий промежуток времени. Теоретические результаты подтверждены данными долговременных измерений коррозионного износа за 35 лет, а в результате получила совершенствование Методика оценки технического состояния конструкций ВЛ. Предложены количественные и качественные показатели как критерии оценки технического состояния конструкций ВЛ, усовершенствованные в виде шкалы балльной оценки, удобной при эксплуатации. По результатам обследования определяется индивидуальная оценка технического состояния конструкций каждой опоры с фундаментами, при суммировании относительных показателей которых формируется интегральный показатель технического состояния конструкций ВЛ с рекомендациями по приведению ВЛ в нормативное эксплуатационное состояние.

5.1. Выводы и предложения

1. Представлены предложения по обновлению и совершенствованию методологии технического обследования конструкций воздушных линий электропередачи с оценкой их технического состояния.

2. Выполнен долговременный эксперимент продолжительностью 35 лет, подтвердивший достоверность формулы определения толщины коррозионного износа во времени для условий городской и промышленной зон.

3. Представлены табличные формы, позволяющие компактное и оперативное занесение информации о техническом состоянии конструкций ВЛ.

Предложена «Методика оценки технического состояния конструкций опор ВЛ с формированием интегрального показателя технического состояния ВЛ» с рекомендациями по приведению ВЛ в нормативное эксплуатационное состояние.

Благодарности

Автор выражает благодарность Яковлеву Леониду Васильевичу (1932–2007), выдающемуся инженеру-испытателю, руководителю Центра по испытаниям новых конструкций ВЛ АО «Фирма ОРГРЭС».

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Бурдуков И.Д., Juru Limited, Ташкент Узбекистан
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.6.5>

Acknowledgement

The author expresses their gratitude to Yakovlev Leonid Vasilevich (1932–2007), an outstanding test engineer and head of the Centre for Testing New Power Line Designs at "ORGRES" Ltd.

Conflict of Interest

None declared.

Review

Burdukov I.D., Juru Limited, Tashkent Uzbekistan
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.72.6.5>

Список литературы / References

1. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ (РД 34.20.504-94): Утв. 19.09.1994 г. Департаментом электрических сетей РАО «ЕЭС России» / В.В. Алексеев, В.М. Герасимов. — Москва: Фирма ОРГРЭС, 1996. — 122 с.

2. Методические указания по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ и их элементов / Фирма ОРГРЭС, Донбасская государственная академия архитектуры и строительства. — Москва: Фирма ОРГРЭС, 1994. — 17 с.

3. ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. — Москва: РСТ, 2024. — 104 с.

4. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.55.111-2011. Методические указания по оценке технического состояния и остаточного ресурса компонентов ВЛ. — Москва: ФСК ЕЭС, 2012. — 86 с.

5. Труль В.А. Исследование действительной работы конструкций опор воздушных линий электропередачи: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Труль Владимир Антонович. — Ленинград: ЛИСИ, 1966. — 43 с.

6. 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 // Линии электропередачи 2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и НТП. — Новосибирск, 2008. — С. 28–49.

7. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи, электрических станций и электрических сетей (с изменениями и дополнениями от 17.03.2020 г: Утв. приказом Минэнерго России от 26.07.2017 г. № 676. — Москва: Минэнерго, 2020. — 228 с.

8. Бурнышева Т.В. Методика оценки технического состояния опор воздушных линий электропередачи с учетом типовых эксплуатационных дефектов / Т.В. Бурнышева, А.Н. Кожевников // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2021. — Вып. 2. — С. 1–12. — DOI: 10.18698/2308-6033-2021-2-2053.

9. Кожевников А.Н. Расчетно-экспериментальная оценка технического состояния опор воздушных линий электропередачи: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кожевников Алексей Николаевич. — Новосибирск: НГТУ, 2021. — 20 с.



10. Аксютин З.А. Классификации видов апробации результатов исследования / З.А. Аксютин // Наука о человеке: гуманитарные исследования. — 2022. — Т. 16. — № 2 — С. 98–104. — DOI: 10.17238/issn1998-5320.2022.16.2.10.
11. Королёв В.П. Методические аспекты предотвращения коррозионной опасности при эксплуатации стальных конструкций промышленных объектов / В.П. Королёв, И.В. Куценко // Современное строительство и архитектура. — 2023. — № 10 (41). — С. 1–12. — DOI: 10.18454/mca.2023.41.2.
12. Архипов М. «Достичь максимальной независимости» Глава ПАО «Россети» Андрей Рюмин — о том, как в стране удалось заместить импорт / М. Архипов. — 2022. — URL: <https://lenta.ru/articles/2022/04/14/zameshchenie/> (дата обращения: 19.02.2026).
13. Положение ПАО «Россети» «О Единой технической политике в электросетевом комплексе»: Утв. Сов. Директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.02.2017 № 252). — Москва: Россети, 2017. — 196 с. — URL: https://www.ruscable.ru/other/tehpolitika_10_8_17.pdf (дата обращения: 19.02.2026).
14. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике»: Утв. Сов. Директоров ПАО «Россети» (протокол от 28.12.2024 № 673). — Москва: Россети, 2024. — 161 с. — URL: https://www.rosseti.ru/upload/docs/PETP_2024.pdf (дата обращения: 11.04.2026).
15. Сенькин Н.А. Действительная работа конструкций воздушных линий электропередачи: аварии и живучесть / Н.А. Сенькин // Современное строительство и архитектура. — 2026. — № 3 (70). — DOI: 10.60797/mca.2026.70.9. — EDN: BJPZUA.
16. ГОСТ 9.040-1974 (2021). Металлы и сплавы. Расчетно-экспериментальный метод ускоренного определения коррозионных потерь в атмосферных условиях. — Москва: Российский ин-т стандартизации, 2022. — 14 с.
17. Сенькин Н.А. О периодичности окраски стальных элементов электросетевых конструкций в процессе эксплуатации / Н.А. Сенькин; Ухтинский индустриальный ин-т. — Ухта, 1986. — 18 с.
18. Senkin N. Improvement of Methods of Inspection of Steel Structures of Overhead Power Line / N. Senkin // Proceedings of MPCPE 2022. MPCPE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering / Ed. by N. Vatin, S. Roshchina, D. Serdjuk. — Springer, Cham, 2024. — Vol.335. — P. 155–163. — DOI: 10.1007/978-3-031-30570-2_14.
19. СП 28.13330.2017 (2024) (с изм. № 1-4). Защита строительных конструкций от коррозии. — Москва: РСТ, 2024. — 124 с.
20. Сенькин Н.А. Актуальные задачи в проектировании и строительстве воздушных линий электропередачи ЭНЭС: пример обследования / Н.А. Сенькин // Энергоэксперт. — 2013. — № 5. — С. 90–94.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tipovaya instruktsiya po ekspluatatsii vozdushnikh linii elektroperedachi napryazheniem 35-800 kV (RD 34.20.504-94) [Standard operating instructions for overhead power transmission lines with a voltage of 35-800 kV. RD 34.20.504-94]: approved on 09.19.1994 by the Department of Electrical Engineering networks of RAO UES of Russia / V.V. Alekseev, V.M. Gerasimov. — Moscow: ORGRES Company, 1996. — 122 p. [in Russian]
2. Metodicheskie ukazaniya po otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya vozdushnikh linii elektroperedachi napryazheniem 35-750 kV i ikh elementov [Guidelines for assessing the technical condition of 35-750 kV overhead power lines and their components] / ORGRES Company, Donbass State Academy of Architecture and Construction. — Moscow: ORGRES Company, 1994. — 17 p. [in Russian]
3. GOST 31937–2024. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya [GOST 31937–2011. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition]. — Moscow: RST, 2024. — 104 p. [in Russian]
4. Standart organizatsii PAO «FSK YeES» STO 56947007-29.240.55.111-2011. Metodicheskie ukazaniya po otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya i ostatochnogo resursa komponentov VL [PJSC FGC UES Standard STO 56947007-29.240.55.111-2011. Methodological guidelines for assessing the technical condition and residual resource of VL components]. — Moscow: PJSC FGC UES, 2012. — 86 p. [in Russian]
5. Trull V.A. Issledovanie deistvitelnoi raboti konstruksii opor vozdushnikh linii elektroperedachi [Research of the actual operation of the structures of the supports of the overhead power transmission lines]: abstract dis. ... of PHD in Technical Sciences / Trull Vladimir Antonovich. — Leningrad: LISI, 1966. — 43 p. [in Russian]
6. Yakovlev L.V. Kompleks rabot i predlozhenii po povisheniyu nadezhnosti VL na stadii proektirovaniya i ekspluatatsii [A set of works and proposals for improving the reliability of overhead lines during the design and operation stages] / L.V. Yakovlev, R.S. Kaverina, L.A. Dubinich // Linii elektroperedachi 2008: proektirovanie, stroitelstvo, opit ekspluatatsii i NTP [Transmission Lines 2008: Design, Construction, Operation Experience, and Technological Progress]. — Novosibirsk, 2008. — P. 28–49. [in Russian]
7. Metodika otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya osnovnogo tekhnologicheskogo oborudovaniya i linii elektroperedachi, elektricheskikh stantsii i elektricheskikh setei (s izmeneniyami i dopolneniyami ot 17.03.2020 g [Methodology for assessing the technical condition of the main process equipment and power transmission lines, power plants, and power grids (with amendments and additions dated March 17, 2020)]: Approved by Order No. 676 of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated July 26, 2017. — Moscow: Ministry of Energy, 2020. — 228 p. [in Russian]
8. Burnysheva T.V. Metodika otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya opor vozdushnikh linii elektroperedachi s uchetom tipovikh ekspluatatsionnikh defektov [Methodology of overhead power transmission line pylons technical state assessment with typical exploitation faults accounted] / T.V. Burnysheva, A.N. Kozhevnikov // Inzhenernii zhurnal: nauka i innovatsii [Engineering Journal: Science and Innovation]. — 2021. — Iss. 2. — P. 1–12. — DOI: 10.18698/2308-6033-2021-2-2053. [in Russian]



9. Kozhevnikov A.N. Raschetno-eksperimentalnaya otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya opor vozdushnikh linii elektroperedachi [Calculative and experimental assessment of the technical state of supporting structures of overhead power lines]: abstract dis. ... of PHD in Technical Sciences / Kozhevnikov Aleksei Nikolaevich. — Novosibirsk: NGTU, 2021. — 20 p. [in Russian]
10. Aksyutina Z.A. Klassifikatsii vidov aprobatsii rezultatov issledovaniya [Classifications of approbation types for research results] / Z.A. Aksyutina // *Nauka o cheloveke: gumanitarnie issledovaniya* [Russian Journal of Social Sciences and Humanities]. — 2022. — Vol. 16. — № 2 — P. 98–104. — DOI: 10.17238/issn1998-5320.2022.16.2.10. [in Russian]
11. Korolev V.P. Metodicheskie aspekty predotvrashcheniya korrozionnoi opasnosti pri ekspluatatsii stalnikh konstruksii promyshlennikh obektov [Methodological aspects of corrosion hazard prevention during operation of steel structures of industrial facilities] / V.P. Korolev, I.V. Kushchenko // *Sovremennoe stroitelstvo i arkhitektura* [Modern Construction and Architecture]. — 2023. — № 10 (41). — P. 1–12. — DOI: 10.18454/mca.2023.41.2. [in Russian]
12. Arkhipov M. «Dostich maksimalnoi nezavisimosti» Glava PAO «Rosseti» Andrei Ryumin — o tom, kak v strane udalos zamestit import ["Achieving Maximum Independence" Andrey Ryumin, Head of Rosseti PJSC, on how the country has managed to replace imports] / M. Arkhipov. — 2022. — URL: <https://lenta.ru/articles/2022/04/14/zameshchenie/> (accessed: 19.02.2026). [in Russian]
13. Polozhenie PAO «Rosseti» «O Yedinoi tekhnicheskoi politike v elektrosetevom komplekse» [The Regulation of PJSC ROSSETI "On the Unified Technical Policy in the Electric Grid Complex"]: Approved by the Council. The Board of Directors of PJSC ROSSETI (Minutes No. 252 dated 22.02.2017). — Moscow: Rosseti, 2017. — 196 p. — URL: https://www.ruscable.ru/other/tehpolitika_10_8_17.pdf (accessed: 19.02.2026). [in Russian]
14. Polozhenie PAO «Rosseti» «O yedinoi tekhnicheskoi politike» [The Regulation of PJSC ROSSETI "On the Unified Technical Policy"]: Approved by the Council. The Board of Directors of PJSC ROSSETI (Minutes No. 673 dated 12/28/2024). — Moscow: Rosseti, 2024. — 161 p. — URL: https://www.rosseti.ru/upload/docs/PETP_2024.pdf (accessed: 11.04.2026). [in Russian]
15. Senkin N.A. Dejstvitel'naya rabota konstrukcij vozdushnykh linii elektroperedachi: avarii i zhivuchest' [The actual operation of overhead power line structures: accidents and resilience] / N.A. Senkin // *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura* [Modern Construction and Architecture]. — 2026. — №3 (70). — DOI: 10.60797/mca.2026.70.9. — EDN: BJPZUA. [in Russian]
16. GOST 9.040-1974 (2021). Metalli i splavi. Raschetno-eksperimentalnii metod uskorennoogo opredeleniya korrozionnikh poter v atmosferykh usloviyakh [GOST 9.040-2021 (1974). Metals and alloys. Calculation and experimental method for accelerated determination of corrosion losses in atmospheric conditions]. — Moscow: Russian Institute of Standardization, 2022. — 14 p. [in Russian]
17. Senkin N.A. O periodichnosti okraski stalnikh elementov elektrosetevykh konstruksii v protsesse ekspluatatsii [On the frequency of painting of steel elements of electrical network structures during operation] / N.A. Senkin; Ukhta Industrial Institute. — Ukhta, 1986. — 18 p. [in Russian]
18. Senkin N. Improvement of Methods of Inspection of Steel Structures of Overhead Power Line / N. Senkin // *Proceedings of MPCPE 2022. MPCPE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering* / Ed. by N. Vatin, S. Roshchina, D. Serdjuk. — Springer, Cham, 2024. — Vol.335. — P. 155–163. — DOI: 10.1007/978-3-031-30570-2_14.
19. SP 28.13330.2017 (2024) (s izm. № 1-4). Zashchita stroitelnykh konstruksii ot korrozii [SP 28.13330.2017 (2024) (with amendments No. 1-4). Protection of building structures from corrosion]. — Moscow: RST, 2024. — 124 p. [in Russian]
20. Senkin N.A. Aktualnie zadachi v proektirovanii i stroitelstve vozdushnykh linii elektroperedachi YeNES: primer obsledovaniya [Actual problems in the design and construction of transmission lines of the Unified National Energy System: An example of surveying] / N.A. Senkin // *Energoekspert* [Energy Expert]. — 2013. — № 5. — P. 90–94. [in Russian]