

Метод оценки динамического коэффициента готовности оборудования телекоммуникационных сетей

В. Е. Митрохин, А. С. Наумов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС)

Аннотация: В статье предложен метод оценки динамического коэффициента готовности оборудования телекоммуникационных сетей с учётом сезонных изменений параметров заземляющих устройств. Разработана математическая модель, учитывающая влияние температуры и влажности грунта, грозовой активности, процессов промерзания-оттаивания и коррозии на удельное сопротивление грунта и сопротивление заземлителей. Показано, что в весенний период, когда грунт ещё не полностью оттаял, а грозовая активность уже возрастает, коэффициент готовности оборудования снижается из-за ухудшения параметров заземления. Обоснована необходимость непрерывного мониторинга параметров заземляющих устройств для оперативного выявления отклонений и поддержания требуемого уровня надёжности телекоммуникационного оборудования.

Ключевые слова: динамический коэффициент готовности, заземляющее устройство, удельное сопротивление грунта, грозовая активность, коррозионный износ, непрерывный мониторинг, телекоммуникационная сеть.

Для цитирования: В. Е. Митрохин, А. С. Наумов Метод оценки динамического коэффициента готовности оборудования телекоммуникационных сетей // Вестник СибГУТИ. 2026. Т. 20, № 2. С. 1–8. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2026-20-2-107-121>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© В. Е. Митрохин, А. С. Наумов, 2026

Статья поступила в редакцию 11.05.2026;
переработанный вариант – 22.05.2026;
принята к публикации 29.05.2026.

1. Введение

Развитие телекоммуникационных сетей и их интеграция в критически важные сферы жизнедеятельности (государственное управление, оборона, медицина, промышленность) предъявляют повышенные требования к бесперебойности и качеству передачи информации. Обеспечение надёжности телекоммуникационного оборудования является приоритетной задачей, определяющей устойчивость информационной инфраструктуры.

Традиционные методы оценки надёжности телекоммуникационных систем базируются на расчётных, экспериментальных и комбинированных подходах, использующих справочные данные об интенсивности отказов компонентов и средней наработке на отказ. Коэффициент готовности канала электросвязи, определяемый как вероятность сохранения связности между конечными узлами, нормативно должен составлять не менее 0,99 для сетей передачи данных и не менее 0,999 для телефонных сетей связи [1].

Существующие методики преимущественно опираются на статистические модели, предполагающие стационарность условий эксплуатации. При этом учитываются конструктивные особенности оборудования, качество комплектующих, соблюдение режимов технического обслуживания и квалификация персонала. Однако традиционный подход имеет существенное ограничение: он не отражает динамическое влияние внешних природно-клима-

тических условий, в частности сезонных колебаний параметров заземляющих устройств. Изменение удельного сопротивления грунта, обусловленное температурно-влажностным режимом, процессами промерзания-оттаивания и коррозией, приводит к динамическому изменению характеристик защитного заземления, что в расчётных моделях остаётся за рамками анализа [2].

В связи с этим актуальной задачей становится разработка метода оценки динамического коэффициента готовности оборудования с учётом сезонной изменчивости параметров заземления. Целью данной работы является построение математической модели, связывающей климатические факторы с вероятностно-временными характеристиками отказов телекоммуникационного оборудования, а также обоснование целесообразности перехода к системам непрерывного мониторинга заземляющих устройств.

2. Обоснование введения динамического коэффициента готовности оборудования телекоммуникационных сетей

Особое значение для обеспечения надёжности телекоммуникационного оборудования имеет комплексная система защиты от импульсных перенапряжений, где заземляющее устройство является ключевым элементом защиты аппаратуры от грозовых перенапряжений и электромагнитных помех. В тоже время качество заземления напрямую зависит от удельного электрического сопротивления грунта, которое является функцией множества переменных параметров, таких как температура, влажность, химический состав, степень промерзания или пересыхания.

При промерзании грунта его сопротивление резко возрастает из-за замерзания влаги, что приводит к ухудшению характеристик заземления [3, 4] именно в тот период, когда оборудование наиболее уязвимо – во время весенних гроз.

В связи с этим возникает необходимость введения нового показателя – динамического коэффициента готовности оборудования телекоммуникационных сетей, учитывающего влияние текущих погодных условий и состояния заземляющих устройств на базовое значение коэффициента готовности. Для его расчёта разработана комплексная математическая модель, описывающая сезонную динамику параметров заземления и уровень грозовой активности.

3. Описание математической модели

Упрощённая климатическая модель сезонных изменений характеристик грунта создана на основе исследований в этой области [5–20]. Сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования (рис. 1) изменения удельного сопротивления грунта региона с умеренным климатом по глубине в период начала зимы показывает хорошее качественное согласие, что подтверждает применимость упрощённой модели для описания основных закономерностей. Резкий излом показывает точку фазового перехода воды в лёд. В реальности слой грунта не может промёрзнуть одновременно по всей толщине, поэтому кривая аппроксимации имеет плавный переход.

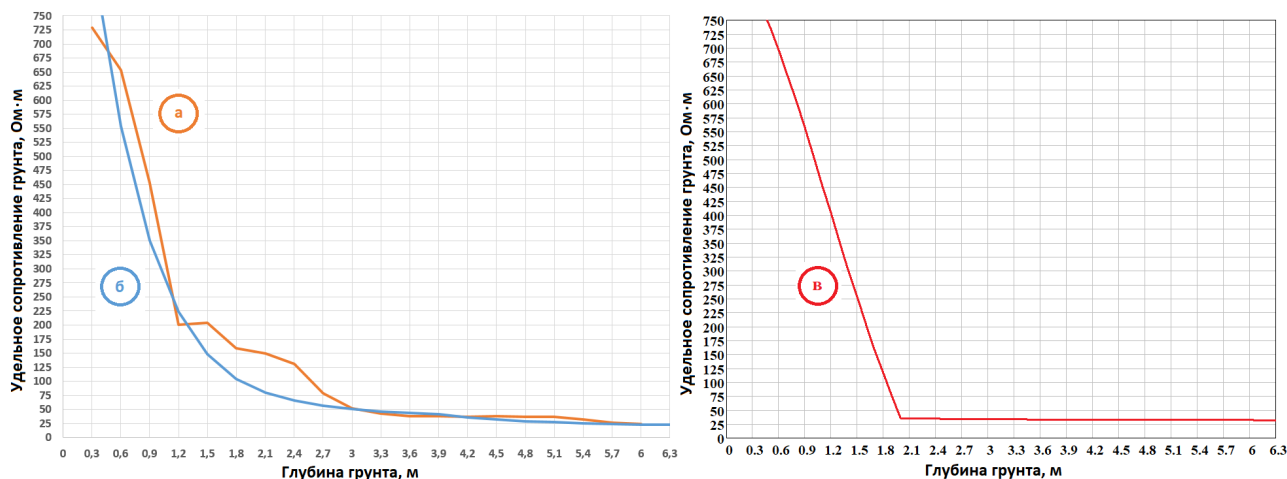


Рис. 1. Изменение удельного сопротивления грунта с глубиной (а – данные измерений, б – аппроксимация экспериментальных данных, в – данные моделирования)

В весенний период верхние слои грунта начинают оттаивать, в то время как более глубокие слои остаются промёрзшими, соответственно их удельное сопротивление остаётся высоким (рис. 2). Модель адекватно воспроизводит вертикальное распределение удельного сопротивления, характерное для сезонного цикла промерзания-оттаивания.

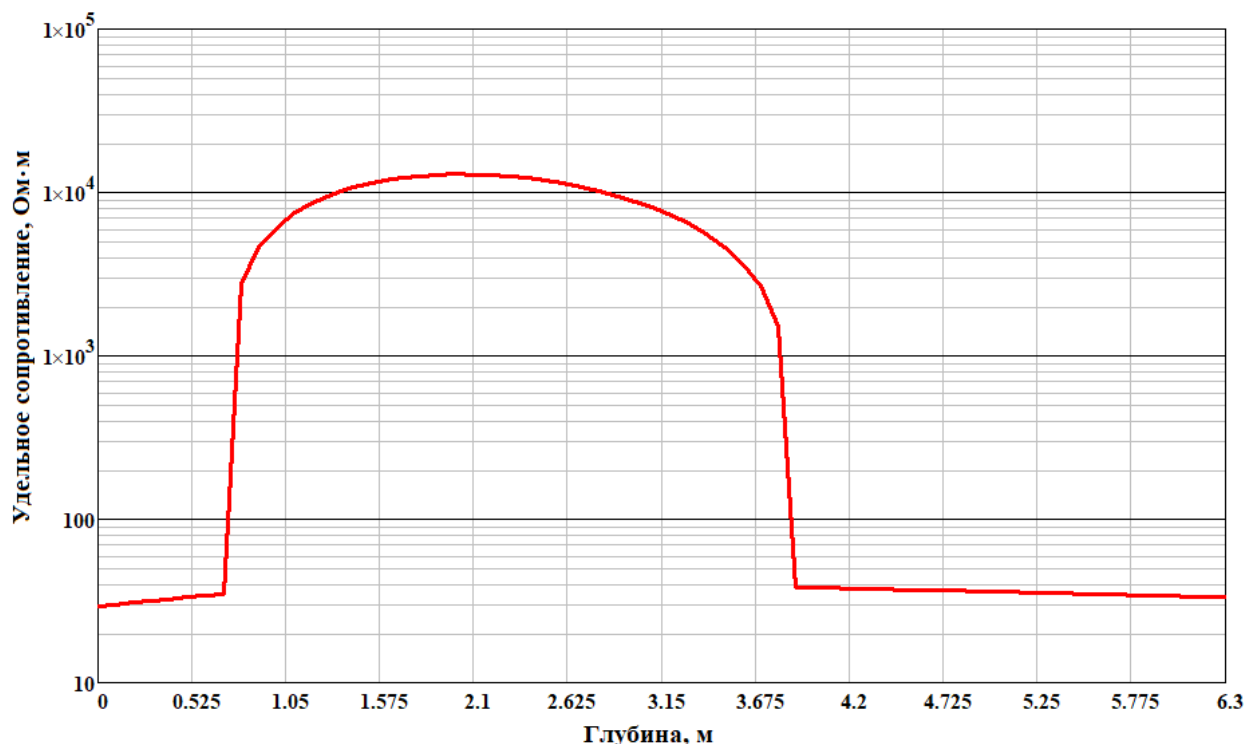


Рис. 2. Изменение удельного сопротивления грунта по глубине

Модель может быть использована для предварительной оценки сезонных изменений характеристик грунта в различных климатических регионах России.

Упрощённая модель коррозии электродов заземления создана на основе исследований в этой области [21, 22].

Прогноз коррозии электрода заземления (рис. 3) для региона с умеренным климатом представляет собой консервативную оценку (наихудший сценарий), полученную при использовании повышенного коэффициента учёта токов, стекающих с электродов, и блуждающих токов, характерных для промышленных зон (например, вблизи железнодорожных путей).

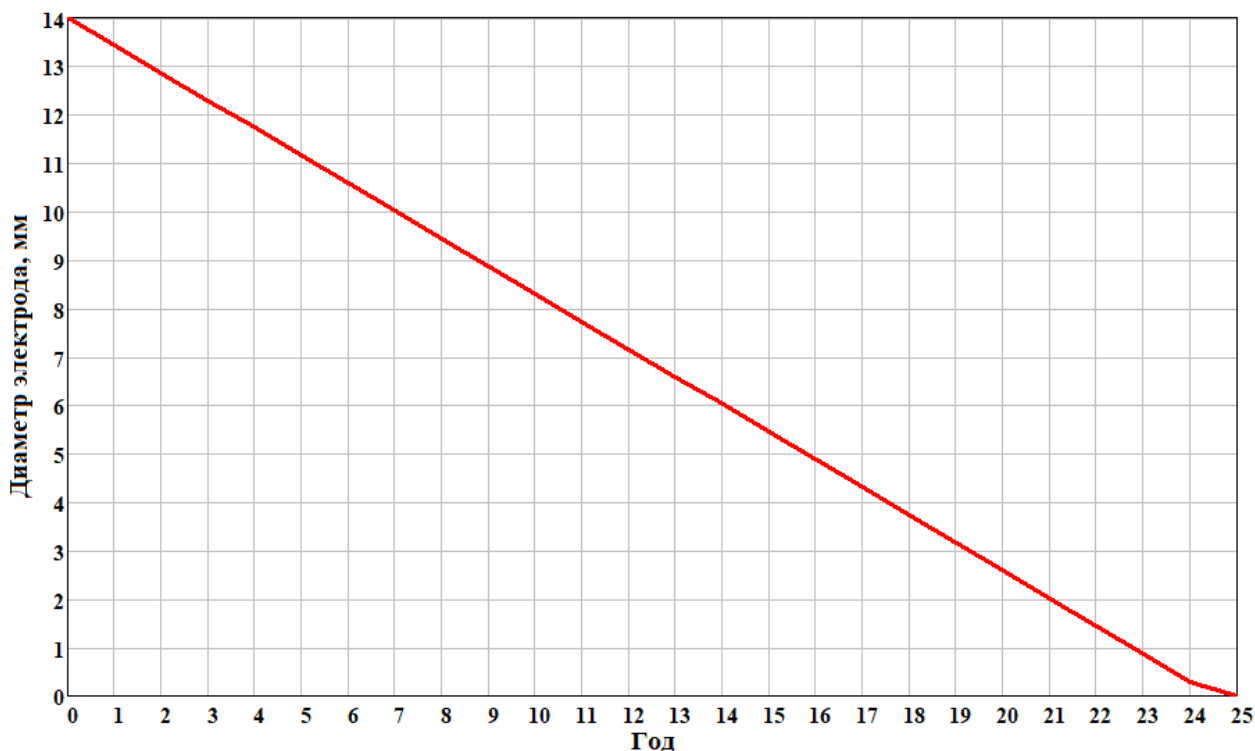


Рис. 3. Изменение диаметра электрода заземления по причине коррозии

Модель применима для предварительной консервативной оценки коррозии электродов заземления с учётом сезонной изменчивости характеристик грунта в различных климатических регионах России.

Величина сопротивления растеканию тока вертикального электрода заземления (рис. 4, а) получена в результате моделирования с учётом сезонного изменения удельного сопротивления грунта и уменьшения сечения электрода вследствие коррозии [3].

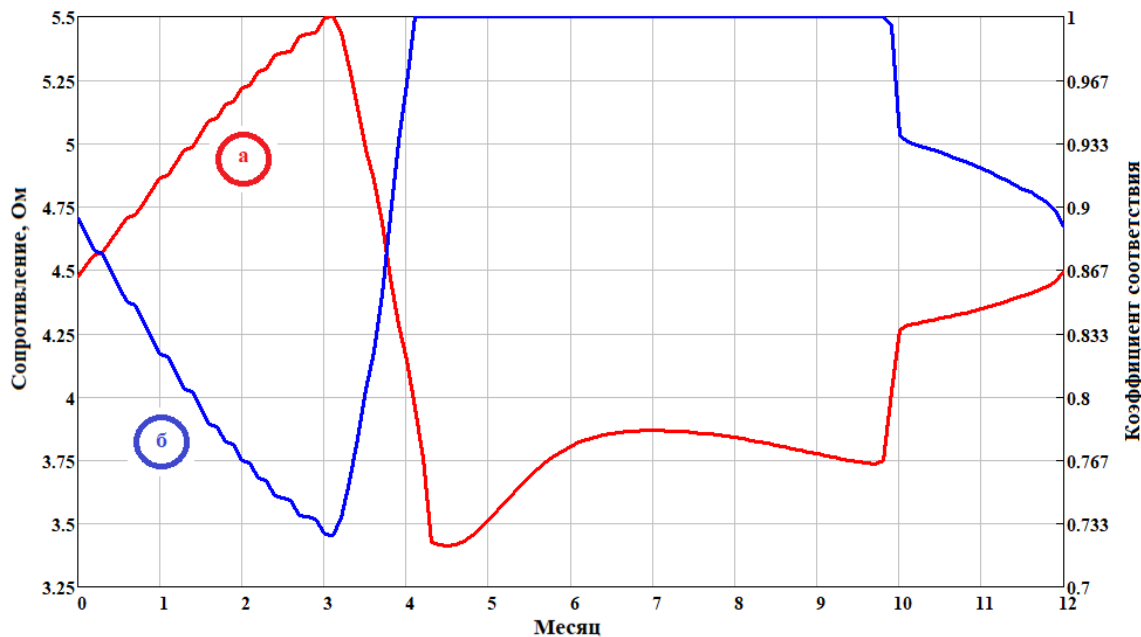


Рис. 4. Сопротивление вертикального электрода заземления (а), коэффициент соответствия сопротивления заземления норме (б)

Для связи параметров сопротивления заземления и коэффициента готовности вводится безразмерный коэффициент соответствия сопротивления заземления нормативному значению (рис. 4, б), определяемый выражением:

$$K_S(t) = \min\left(1, \frac{R_H}{R_3(t)}\right), \quad (1)$$

где R_H – нормативное сопротивление заземления, Ом; $R_3(t)$ – расчётное сопротивление заземления с учётом климатических факторов, Ом.

Коэффициент соответствия сопротивления заземления нормативному значению введён по аналогии с коэффициентом готовности и определяется как отношение нормативного сопротивления к фактическому.

Параметры надёжности элементов защиты (устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), система уравнивания потенциалов, щит и контур заземления) в рамках данной модели принимаются идеальными. Это допущение позволяет выделить влияние именно электродов заземления на общую надёжность системы. В этом случае выражение для динамического коэффициента готовности оборудования узла связи [1] принимает вид:

$$K_T(t) = \frac{T_{0д}(t)}{T_{0д}(t) + T_B(t)}, \quad (2)$$

где $T_B(t)$ – среднее время восстановления, ч; $T_{0д}(t)$ – средняя наработка на отказ, ч.

$$T_{0д}(t) = \frac{1}{\lambda_S(t)}, \quad T_B(t) = \frac{\lambda_B \cdot T_{БВ} + \lambda_G(t) \cdot T_{ВГ}}{\lambda_S(t)}, \quad (3)$$

где $T_{БВ}$ – базовое время восстановления, ч; $T_{ВГ}$ – время восстановления после повреждений от грозового воздействия, ч; $\lambda_S(t)$ – суммарная интенсивность отказов, ч⁻¹:

$$\lambda_S(t) = \lambda_B + \lambda_G(t), \quad (4)$$

где λ_B – базовая интенсивность отказов оборудования, ч⁻¹; $\lambda_G(t)$ – интенсивность отказов оборудования из-за грозовой активности, ч⁻¹:

$$\lambda_G(t) = \frac{P_P(t)}{720}, \quad (5)$$

где 720 – количество часов в месяце; $P_P(t)$ – вероятность выхода из строя оборудования за месяц из-за грозовой активности:

$$P_P(t) = P_V(t) \cdot (1 - P_Z(t)), \quad (6)$$

где $P_V(t)$ – вероятность воздействия грозовой активности на аппаратуру; P_Z – вероятность защиты оборудования при грозовой активности.

$$P_V(t) = \min\left(1, P_B \cdot \frac{\pi}{4} \cdot N_G(t)\right), \quad (7)$$

где P_B – удельная базовая вероятность воздействия грозовой активности на оборудование, мес·км²·уд.⁻¹; $\frac{\pi}{4}$ – площадь воздействия, км²; $N_G(t)$ – число ударов молнии, уд./мес.

В модели принята экспоненциальная зависимость эффективности защиты от коэффициента соответствия сопротивления заземления:

$$P_Z(t) = \begin{cases} 1 - \exp(-2 \cdot \beta \cdot K_S(t)), & \text{при } K_S(t) = 1, \\ 1 - \exp(-\beta \cdot K_S(t)), & \text{при } K_S(t) \neq 1, \end{cases} \quad (8)$$

где β – коэффициент чувствительности; $2 \cdot \beta$ – пороговый множитель, обеспечивающий малую вероятность повреждения оборудования при соответствии сопротивления заземления нормативному значению.

В разработанной математической модели приняты следующие допущения и значения параметров:

- нормативное сопротивление заземления принято равным 4 Ом в соответствии с действующими отраслевыми нормативами для телекоммуникационных объектов;
- базовое время восстановления при плановом обслуживании принято равным 4 ч;
- время восстановления после грозовых повреждений принято равным 48 ч, исходя из следующих соображений: необходимость диагностики скрытых повреждений электронных компонентов (8–12 ч), время доставки запасных частей и выездной бригады на объект (12–24 ч), проведение ремонтно-восстановительных работ и комплексных испытаний (8–12 ч). Данное значение следует рассматривать как типичную оценку для распределённой инфраструктуры телекоммуникационных сетей. При наличии на складе ЗИП и квалифицированного персонала на объекте время восстановления может быть сокращено до 8–12 ч;
- базовая интенсивность отказов принята равной $20 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, что соответствует типовым характеристикам современных телекоммуникационных устройств;
- удельная базовая вероятность воздействия грозовой активности на оборудование принята равной $0.1 \text{ мес} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{уд.}^{-1}$ и используется как опорная точка в рамках анализа чувствительности модели;
- площадь воздействия принята равной $\pi/4 \text{ км}^2$, что соответствует территории радиусом 500 м от узла связи. Данная величина выбрана как консервативная граница зоны существенного электромагнитного влияния, в пределах которой возможны наведённые перенапряжения в кабельных линиях, опасные для типового оборудования. Значения удельной базовой вероятности и площади воздействия требуют уточнения при калибровке модели под конкретные характеристики молниезащиты и тип оборудования;
- коэффициент чувствительности принят равным 3.5 в качестве оценочного параметра модели, обеспечивающего плавную экспоненциальную зависимость эффективности защиты от качества заземления. Выбор величины обусловлен тем, что при соответствии сопротивления заземления нормативному значению вероятность повреждения оборудования минимальна; при ухудшении качества заземления эффективность защиты снижается существенно, что соответствует физическим представлениям о работе УЗИП. Значение коэффициента чувствительности требует уточнения при калибровке модели под конкретное оборудование и может варьироваться в диапазоне 2.0–5.0 в зависимости от класса защиты УЗИП.

Верификация модели проводится путём сравнения прогнозируемых значений сопротивления заземления и коэффициента готовности с фактическими данными мониторинга за характерный период (не менее 12 месяцев для учёта сезонной динамики). Критерием адекватности модели служит совпадение расчётных и экспериментальных значений в пределах $\pm 15\%$.

В рамках данного исследования верификация ограничена качественным анализом и сравнением с нормативными данными. Полученные результаты следует рассматривать как оценочные, демонстрирующие качественные закономерности влияния сезонных факторов на надёжность оборудования. Практическое применение модели требует предварительной калибровки под конкретные условия эксплуатации и верификации на основе данных мониторинга.

Для адаптации модели к конкретным условиям эксплуатации предусматривается следующий порядок калибровки:

- сбор данных о климатических характеристиках региона (среднегодовая и максимальная температуры воздуха, характеристическое значение базовой влажности грунта, глубина промерзания грунта, среднемесячные осадки, количество грозовых дней в году);
- исследование параметров грунта (тип почвы, удельное сопротивление в эталонных условиях, химический состав);

- получение характеристик заземляющего устройства (тип электродов, материал, геометрические размеры, глубина заложения);
- сбор данных о грозовой активности (плотность ударов молнии на км² в год по данным детекторов молний или картам грозовой активности);
- сбор статистики отказов оборудования;
- определение коэффициента чувствительности защиты по результатам натурных измерений эффективности УЗИП при различных значениях сопротивления заземления;
- определение поправочных коэффициентов к удельному сопротивлению грунта путём сопоставления расчётных значений с результатами сезонных измерений;
- определение коэффициента коррозии с учётом агрессивности грунта и величины блуждающих и стекающих токов.

Динамическое изменение коэффициента готовности оборудования узла связи расположенного в условиях умеренного климата приведено на рис. 5.

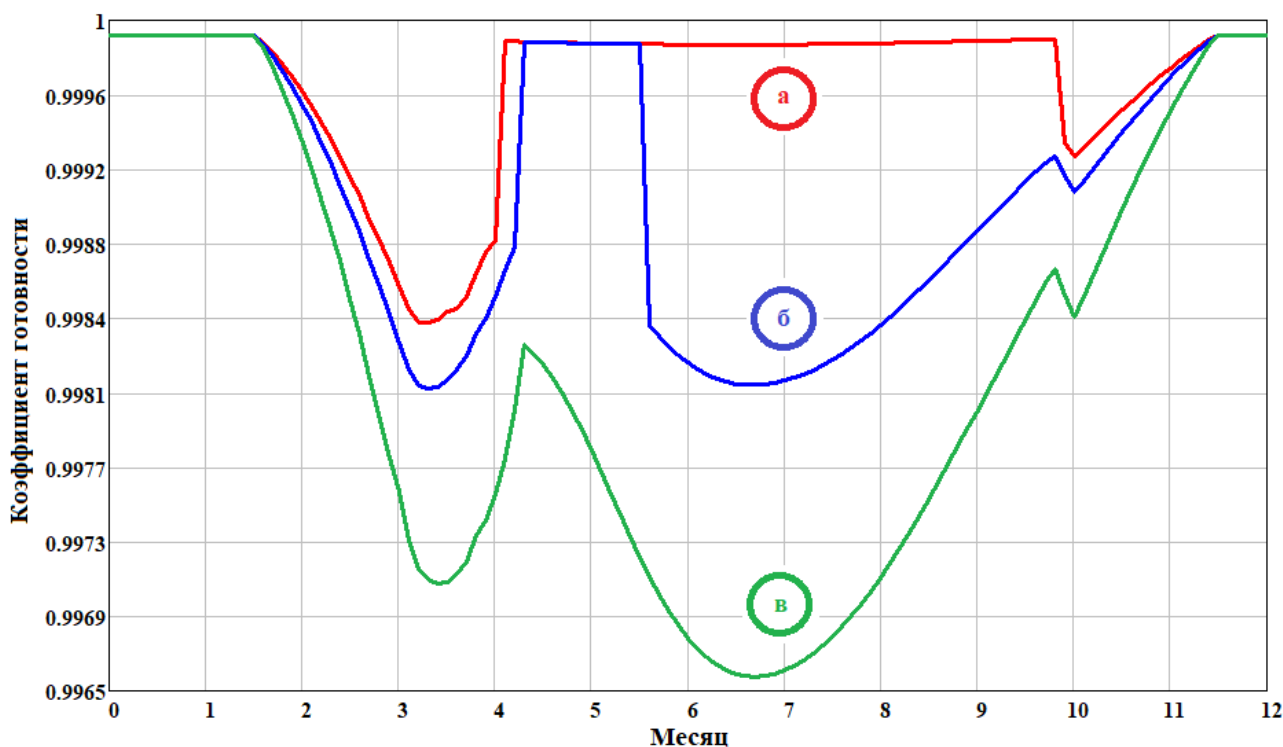


Рис. 5. Динамический коэффициент готовности оборудования узла связи (а – первый год эксплуатации, б – двенадцатый год эксплуатации, в – двадцать третий год эксплуатации)

Без учёта динамики грозовой активности и состояния электрода заземления время простоя оборудования в первый год эксплуатации составляет 0.7 ч, с учётом указанных факторов – 2.8 ч. Частота отказов возрастает с 0.175 до 0.213 ед./год (рис. 5, а).

Если интенсивность базовых отказов остаётся постоянной, то к одиннадцатому году эксплуатации (см. рис. 5, б) суммарное время простоя оборудования достигает 7.63 ч/год, при этом средняя частота отказов возрастает до 0.31 ед./год. Спустя двадцать два года эксплуатации (рис. 5, в) эти показатели ухудшаются: простой увеличивается до 15.37 ч/год, а частота отказов поднимается до 0.478 ед./год.

Расчёты показывают, что максимальная нагрузка на систему заземления приходится на весенние месяцы. В этот период почва ещё не успевает полностью оттаять после зимы, что снижает её электропроводность, в то время как вероятность гроз уже заметно возрастает. Аналогичная, хотя и менее выраженная, ситуация наблюдается осенью: поверхностный слой грунта начинает промерзать, а сезон гроз ещё не завершается. Долгосрочные графики изменения коэффициента готовности наглядно свидетельствуют о постепенном снижении надёж-

ности узлов связи. Главная причина – прогрессирующая коррозия электродов заземления, которая приводит к систематическому росту сопротивления заземления.

4. Организация дистанционного непрерывного мониторинга

Помимо сезонных колебаний сопротивления заземления, вызванных изменением влажности и температуры грунта, значительный вклад в общую картину отказов вносят случайные механические повреждения. Обрыв заземляющего проводника или деформация электрода мгновенно разрывают защитную цепь, из-за чего оборудование остаётся без защиты от перенапряжений.

Следует отметить, что разработанная математическая модель учитывает только климатические и коррозионные факторы. Механические повреждения в расчёт не закладываются, поскольку их природа носит стохастический характер и плохо поддаётся детерминированному прогнозированию в рамках данного подхода.

Согласно действующим нормативным требованиям [23], измерения сопротивления заземляющих устройств должны проводиться не реже двух раз в год. На практике такой регламентный контроль обходится дорого: требуются выездные бригады, специализированное измерительное оборудование и согласование окон доступа к объектам. Главный недостаток – «слепые зоны» между проверками. Если критическое повреждение или быстрая коррозия происходят сразу после планового замера, система остаётся в уязвимом состоянии вплоть до следующего визита специалистов. В периоды высокой грозовой активности именно такие неучтённые интервалы становятся причиной массовых отказов телекоммуникационного оборудования.

Для минимизации рисков отказов целесообразен переход к системе непрерывного дистанционного мониторинга сопротивления заземления. Контроль параметров в реальном времени позволяет оперативно фиксировать отклонения от нормативных значений и своевременно инициировать восстановительные мероприятия. Такой подход обеспечивает превентивное устранение дефектов до наступления периодов высокой грозовой активности, тем самым повышая общую эксплуатационную надёжность телекоммуникационной инфраструктуры.

Установка экспериментального образца АПК непрерывного мониторинга сопротивления заземления на объекте телекоммуникационной сети показала отклонения от данных периодических измерений. Несмотря на соблюдение нормативных пределов, полученные результаты подтверждают, что сопротивление заземления является величиной, изменяющейся во времени.

Для иллюстрации рассмотрим расчётный участок телекоммуникационной сети с кольцевой топологией, в котором все узлы предполагаются идентичными, а линии связи – идеальными. В первом варианте (рис. 6, а) аппаратно-программный комплекс (АПК) мониторинга сопротивления заземления с передачей данных в центр технического обслуживания (ЦТО) не применяется. Во втором варианте (рис. 6, б) на каждом узле развёрнут АПК, обеспечивающий непрерывную передачу диагностических данных в ЦТО.

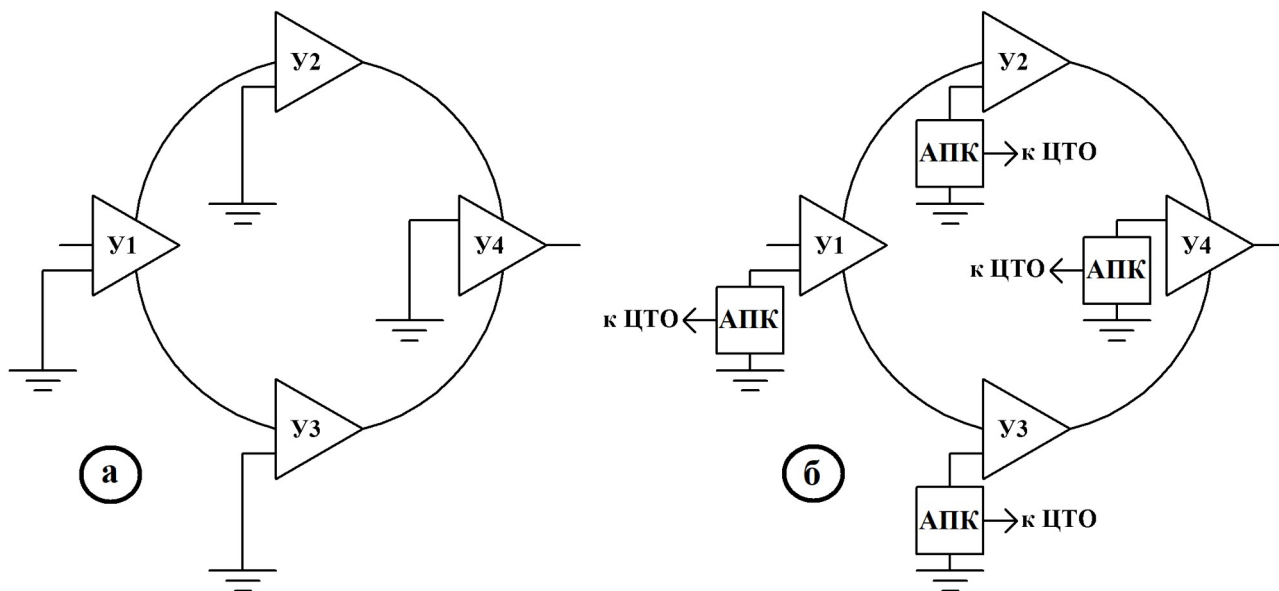


Рис. 6. Участок формализованной телекоммуникационной сети (а – без использования непрерывного дистанционного мониторинга сопротивления заземления, б – с использованием)

Результаты сравнения коэффициентов готовности для участка формализованной телекоммуникационной сети в условиях умеренного климата представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение методов расчёта коэффициента готовности

Коэффициент готовности	Классический метод	Предложенный метод	Предложенный метод с непрерывным мониторингом
Среднегодовой	0.99992	0.99968	0.99990
Весенний период	0.99992	0.99842	0.99991
Летний период	0.99992	0.99987	0.99987
Осенний период	0.99992	0.99929	0.99991
Зимний период	0.99992	0.99992	0.99992

Визуализация расчёта коэффициента готовности приведена на рис. 7. Анализ показывает, что внедрение системы непрерывного мониторинга сопротивления заземления в сочетании со своевременным проведением восстановительных мероприятий по данным мониторинга обеспечивает существенное повышение надёжности телекоммуникационных сетей.

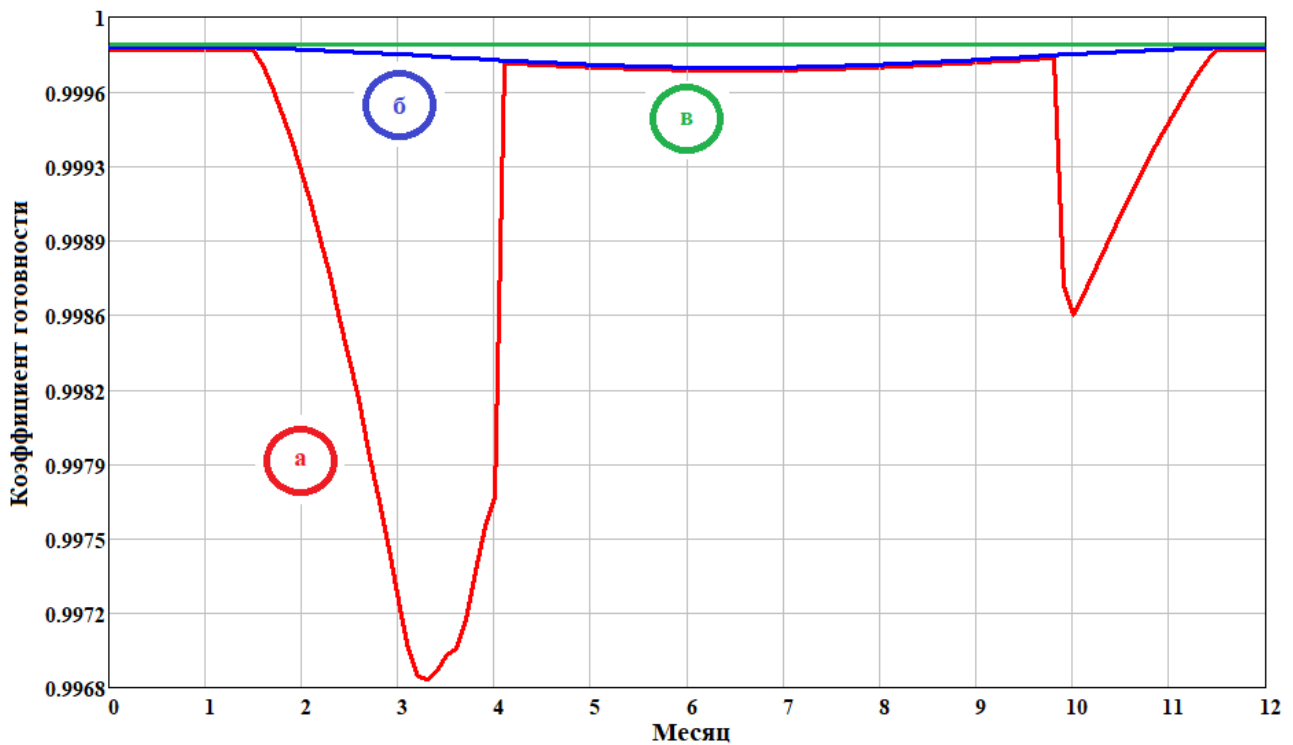


Рис. 7. Коэффициент готовности формализованной телекоммуникационной сети
 (а – без использования непрерывного дистанционного мониторинга сопротивления заземления,
 б – с использованием мониторинга, в – по классическому расчёту)

Система мониторинга построена по иерархическому принципу (рис. 8) и включает измерительные модули, размещаемые на контролируемых объектах, каналы передачи данных и центральный сервер сбора информации. Расчёт сопротивления осуществляется посредством АЦП, обработка первичных данных – микроконтроллером, а передача – через Ethernet-адаптер и медиаконвертеры по оптоволоконной линии связи. Серверная часть обеспечивает агрегацию данных, их визуализацию на АРМ оператора и формирование тревожных уведомлений при выходе параметров за нормативные пределы с помощью ЦАП [24].

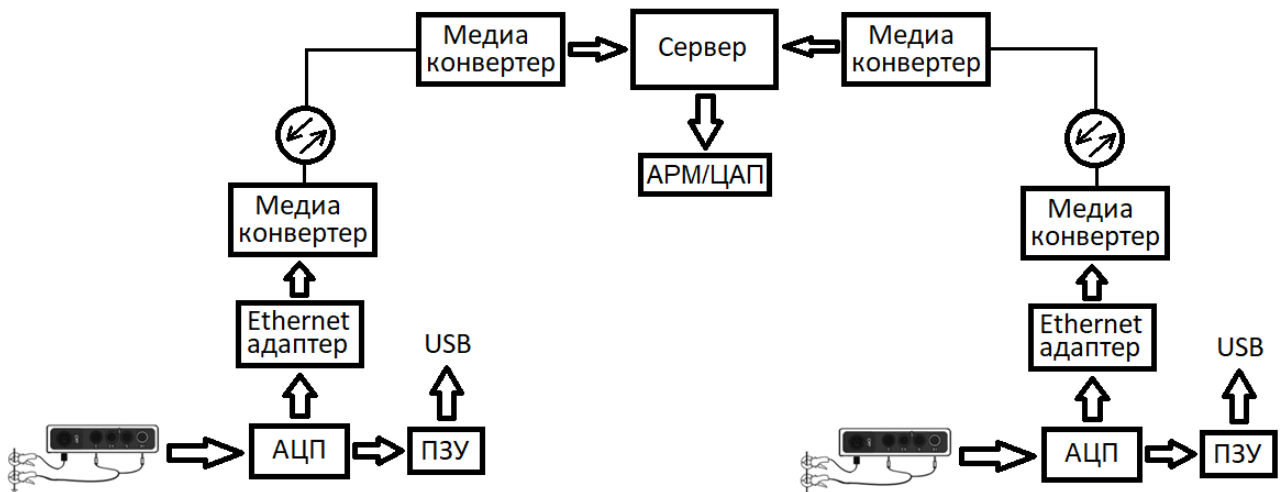


Рис. 8. Схема контроля и передачи данных о состоянии заземляющих устройств

Архитектура системы масштабируема и адаптивна: количество контролируемых объектов не ограничено, а тип каналов передачи данных может варьироваться в зависимости от условий эксплуатации конкретного узла связи. Вместо оптоволоконной линии возможно использование радиоканала, спутниковой связи или иных технологий передачи данных.

Предложенное решение обеспечивает круглосуточный контроль параметров заземления на необслуживаемых узлах связи. Для протяжённых телекоммуникационных сетей это позволяет отказаться от плановых выездов измерительных бригад и сократить эксплуатационные расходы.

Заключение

В исследовании предложен метод расчёта динамического коэффициента готовности оборудования связи, который явно учитывает сезонную динамику сопротивления заземляющих устройств. Анализ показал, что наименьшая устойчивость сети наблюдается в межсезонье. Именно весной и осенью сочетание изменяющегося состояния грунта и повышенной грозовой активности создаёт наиболее рискованные условия для эксплуатации.

С практической точки зрения метод подтверждает целесообразность замены графиков периодических проверок на систему адаптивного обслуживания. Непрерывный сбор данных о состоянии заземляющего устройства даёт возможность фиксировать отклонения в реальном времени и планировать восстановительные мероприятия до наступления критического периода, а не реагировать по факту уже случившегося отказа.

В целом, предложенный подход формирует научно-методическую базу для повышения эксплуатационной устойчивости телекоммуникационной инфраструктуры в условиях переменных природно-климатических факторов.

Литература

1. ГОСТ Р 53111–2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. М. : Стандартинформ, 2009. 19 с.
2. Митрохин В. Е., Наумов А. С. Оценка влияния состояния заземляющих устройств на надёжность средств связи и автоматики // Автоматика, связь, информатика. 2026. № 4. С. 7–11. DOI: 10.62994/AT.2026.4.4.002.
3. Бургсдорф В. В., Якобс А. И. Заземляющие устройства электроустановок. М. : Энергоатомиздат, 1987. 240 с.
4. Madikizela A., Kabeya M., Davidson I. E. Seasonal Variation of Soil Resistivity and Corrective Factor for Optimal Substation Earth Grid Design in Eastern Cape // 2022 30th Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC). 2022. DOI: 10.1109/SAUPEC55179.2022.9730743.
5. Карта грозовой активности © Ezetek [Электронный ресурс]. 2026. URL: <https://ezetek.ru/poleznye-stati/karta-grozovoj-aktivnosti/> (дата обращения: 07.02.2026).
6. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений / Минэнерго СССР. М.: Энергоатомиздат, 1989. 40 с.
7. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций : утв. приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280. М. : Изд-во МЭИ, 2003. 33 с.
8. Байшоланов С. С., Габбасова М. С., Бултеков Н. У. Гармонический анализ температуры воздуха для оценки влияния изменения климата на экосистемы // Гидрометеорология и экология. 2018. № 1. С. 14–26.
9. Грудова К. В. Моделирование суточных колебаний температуры корнеобитаемого слоя лесных песчаных почв // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 4. С. 24–30. DOI: 10.17076/mat1775.
10. Свалова В. Б. Комплексное использование геотермальных ресурсов в России // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 249. № 012045. DOI: 10.1088/1755-1315/249/1/012045.

11. *Albergel C., Rudiger C., Pellarin T., Calvet J.-C., Fritz N., Froissard F., Suquia D., Petitpa A., Piguet B., Martin E.* From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2008. Vol. 12. P. 1323–1337. DOI: 10.5194/hess-12-1323-2008.
12. *Маркуц В. М.* Расчёт влажности грунтов активной зоны // *Современные наукоёмкие технологии*. 2013. № 11. С. 99–106. EDN: RJECIT.
13. *Аверьянов С. Ф.* Фильтрация из каналов и её влияние на режим грунтовых вод : монография. М. : Колос, 1982. 237 с.
14. *Шеин Е. В.* Курс физики почв : учебник. М. : Изд-во МГУ, 2005. 432 с. ISBN 5-211-05021-5.
15. *Казакова Е. В., Чумаков М. М., Розинкина И. А.* Модель для расчёта характеристик снежного покрова на основе данных наблюдений стандартной метеорологической сети // *Труды Гидрометцентра России*. 2014. Вып. 352. С. 85–102.
16. *Бураков Д. А.* Кривые добегаания и расчёт гидрографа весеннего половодья. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1978. 129 с.
17. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах : свод правил. М. : Стандартиформ, 2012. 85 с.
18. *Попов В. В.* Математическая модель промерзания грунта // *Математические заметки СВФУ*. 2017. Т. 24, № 2. С. 85–95. DOI: 10.25587/SVFU.2017.2.9248.
19. *Ван С., Колос А. Ф., Петряев А. В.* Математическое моделирование процесса промерзания грунтов земляного полотна железных дорог в условиях холодного климата // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2022. Т. 19, вып. 4. С. 820–831. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-820-831.
20. ГОСТ Р 50571.5.54–2024 (МЭК 60364-5-54:2021). Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрического оборудования. Заземляющие устройства и защитные проводники. М., 2024. 28 с.
21. *Сидоров А. И., Абдуллоев Р. Т.* Разработка плана отсеивающего эксперимента по исследованию влияния различных факторов на процесс коррозии заземляющих устройств // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2016. Т. 16, № 2. С. 52–58. DOI: 10.14529/power160207. – EDN: WCZMHL.
22. *Лазаренко А. С., Савельева Е. А., Рябова О. В., Марухин Д. Н.* Влияние коррозионной среды и температуры на скорость растворения материалов анодных заземлителей // *Вестник Казанского технологического университета*. 2016. Т. 19, № 6. С. 47–48.
23. ГОСТ 464–79. Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов проводного вещания и антенн систем коллективного приёма телевидения. Нормы сопротивления. М. : Издательство стандартов, 1979. 14 с.
24. *Митрохин В. Е., Наумов А. С.* Дистанционный мониторинг состояния заземляющего устройства // *Безопасность цифровых технологий*. 2023. № 2(109). С. 9–20. DOI: 10.17212/2782-2230-2023-2-9-20. – EDN: KWPOJK.

Митрохин Валерий Евгеньевич

д.т.н., профессор кафедры телекоммуникационных, радиотехнических систем и сетей, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, 644046, Омск, пр. Маркса, 35), тел. +7 903 9267 470, e-mail: mitrokhin@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-7650-6495.

Наумов Александр Сергеевич

аспирант кафедры телекоммуникационных, радиотехнических систем и сетей, Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС, 644046, Омск, пр. Маркса, 35), тел. +7 904 5882 960, e-mail: sommerboy@rambler.ru, ORCID ID: 0009-0007-8485-9435.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

Method for assessing the dynamic availability factor of telecommunication network equipment

Valery E. Mitrokhin, Alexander S. Naumov

Omsk State Transport University (OSTU)

Abstract: This article proposes a method for assessing the dynamic availability of telecommunication network equipment, taking into account seasonal variations in grounding device parameters. A mathematical model has been developed that accounts for the influence of soil temperature and humidity, thunderstorm activity, freeze-thaw processes, and corrosion on soil resistivity and grounding resistance. It is shown that in the spring, when the ground has not yet completely thawed and thunderstorm activity is already increasing, equipment availability decreases due to deterioration in grounding parameters. The need for continuous monitoring of grounding device parameters to promptly identify deviations and maintain the required level of reliability of telecommunications equipment is substantiated.

Keywords: dynamic availability factor, grounding device, soil resistivity, lightning activity, corrosive wear, continuous monitoring, telecommunication network.

For citation: Mitrokhin V. E., Naumov A. S. Method for assessing the dynamic availability factor of telecommunication network equipment [Paper Preparation Manual for Vestnik SibGUTI]. *Vestnik SibGUTI*, 2026, vol. 20, no. 2, pp. 107-121. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2026-20-2-107-121>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Mitrokhin V. E., Naumov A. S., 2026

The article was submitted: 11.05.2026;
revised version: 22.05.2026;
accepted for publication 29.05.2026.

References

1. GOST R 53111–2008. *Ustoichivost' funktsionirovaniya seti svyazi obshchego pol'zovaniya* [Sustainability of the Public Communication Network Functioning]. Moscow, Standartinform, 2009. 19 p.
2. Mitrokhin V. E., Naumov A. S. *Otsenka vliyaniya sostoyaniya zazemlyayushchikh ustroystv na nadezhnost' sredstv svyazi i avtomatiki* [Assessment of the Impact of Grounding Device Condition on the Reliability of Communication and Automation Equipment]. *Avtomatika, svyaz', informatika*, 2026, no. 4, pp. 7-11. DOI: 10.62994/AT.2026.4.4.002.
3. Burgsdorf V. V., Yakobs A. I. *Zazemlyayushchie ustroystva elektroustanovok* [Grounding Devices for Electrical Installations]. Moscow, Energoatomizdat, 1987. 240 p.
4. Madikizela A., Kabeya M., Davidson I. E. Seasonal Variation of Soil Resistivity and Corrective Factor for Optimal Substation Earth Grid Design in Eastern Cape. *2022 30th Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC)*, 2022. DOI: 10.1109/SAUPEC55179.2022.9730743.
5. Ezetek. *Karta grozovoi aktivnosti* [Lightning Activity Map], available at: <https://ezetek.ru/poleznye-stati/karta-grozovoj-aktivnosti/> (accessed 07.02.2026).
6. RD 34.21.122-87. *Instruktsiya po ustroystvu molniezashchity zdaniy i sooruzheniy* [Guidelines for Lightning Protection of Buildings and Structures]. Moscow, Energoatomizdat, 1989. 40 p.

7. SO 153-34.21.122-2003. *Instruktsiya po ustroystvu molniezashchity zdaniy, sooruzhenii i promyshlennykh kommunikatsii* [Guidelines for Lightning Protection of Buildings, Structures and Industrial Communications]. Moscow, Moskovskii energeticheskii institut, 2003. 33 p.
8. Baisholanov S. S., Gabbasova M. S., Bultekov N. U. *Garmonicheskii analiz temperatury vozdukha dlya otsenki vliyaniya izmeneniya klimata na ekosistemy* [Harmonic Analysis of Air Temperature for Assessing the Impact of Climate Change on Ecosystems]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2018, no. 1, pp. 14-26.
9. Grudova K. V. *Modelirovanie sutochnykh kolebaniy temperatury korneobitaemogo sloya lesnykh peschanykh pochv* [Modeling Daily Temperature Fluctuations in the Root Zone of Forest Sandy Soils]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2023, no. 4, pp. 24-30. DOI: 10.17076/mat1775.
10. Svalova V. B. *Kompleksnoe ispol'zovanie geotermal'nykh resursov v Rossii* [Integrated Use of Geothermal Resources in Russia]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 249, no. 012045. DOI: 10.1088/1755-1315/249/1/012045.
11. Albergel C., Rudiger C., Pellarin T., Calvet J.-C., Fritz N., Froissard F., Suquia D., Petitpa A., Piguet B., Martin E. From near-surface to root-zone soil moisture using an exponential filter. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2008, vol. 12, pp. 1323-1337. DOI: 10.5194/hess-12-1323-2008.
12. Markuts V. M. *Raschyot vlazhnosti gruntov aktivnoi zony* [Calculation of Soil Moisture in the Active Zone]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2013, no. 11, pp. 99-106. EDN: RJECIT.
13. Aver'yanov S. F. *Fil'tratsiya iz kanalov i eyo vliyanie na rezhim gruntovykh vod* [Filtration from Canals and Its Impact on Groundwater Regime]. Moscow, Kolos, 1982. 237 p.
14. Shein E. V. *Kurs fiziki pochv* [Course of Soil Physics]. Moscow, Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 2005. 432 p.
15. Kazakova E. V., Chumakov M. M., Rozinkina I. A. *Model' dlya raschyota kharakteristik snezhnogo pokrova na osnove dannykh nablyudenii standartnoi meteorologicheskoi seti* [Model for Calculating Snow Cover Characteristics Based on Standard Meteorological Network Observation Data]. *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 2014, iss. 352, pp. 85-102.
16. Burakov D. A. *Krivye dobeganiya i raschyot gidrografa vesennego polovod'ya* [Runoff Curves and Calculation of Spring Flood Hydrograph]. Tomsk, Tomskii gosudarstvennyi universitet, 1978. 129 p.
17. SP 25.13330.2012. *Osnovaniya i fundamenty na vechnomerzlykh gruntakh* [Foundations and Foundation Structures on Permafrost Soils]. Moscow, Standartinform, 2012. 85 p.
18. Popov V. V. *Matematicheskaya model' promerzaniya grunta* [Mathematical Model of Soil Freezing]. *Matematicheskie zametki SVFU*, 2017, vol. 24, no. 2, pp. 85–95. DOI: 10.25587/SVFU.2017.2.9248.
19. Wang S., Kolos A. F., Petryaev A. V. *Matematicheskoe modelirovanie protsessa promerzaniya gruntov zemlyanogo polotna zheleznykh dorog v usloviyakh kholodnogo klimata* [Mathematical Modeling of the Soil Freezing Process in Railway Subgrade under Cold Climate Conditions]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya*, 2022, vol. 19, iss. 4, pp. 820-831. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-820-831.
20. GOST R 50571.5.54–2024 (IEC 60364-5-54:2021). *Elektroustanovki nizkovol'tnye. Chast' 5-54. Vybór i montazh elektricheskogo oborudovaniya. Zazemlyayushchie ustroystva i zashchitnye provodniki* [Low-Voltage Electrical Installations. Part 5-54. Selection and Erection of Electrical Equipment. Earthing Arrangements and Protective Conductors]. Moscow, 2024. 28 p.
21. Sidorov A. I., Abdulloev R. T. *Razrabotka plana otseivayushchego eksperimenta po issledovaniyu vliyaniya razlichnykh faktorov na protsess korrozii zazemlyayushchikh ustroystv* [Development of a Screening Experiment Plan for Studying the Impact of Various Factors on the Corrosion Process of Grounding Devices]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 52-58. DOI: 10.14529/power160207. EDN: WCZMHL.
22. Lazarenko A. S., Savelyeva E. A., Ryabova O. V., Marukhin D. N. *Vliyanie korrozionnoi sredy i temperatury na skorost' rastvoreniya materialov anodnykh zazemlitelei* [Impact of Corrosive Environment and Temperature on the Dissolution Rate of Anode Grounding Materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 6, pp. 47-48.
23. GOST 464–79. *Zazemleniya dlya statsionarnykh ustanovok provodnoy svyazi, radioreleynykh stantsiy, radiotranslyatsionnykh uzlov provodnogo veshchaniya i antenn sistem kollektivnogo priema teledeniya. Normy soprotivleniya* [Grounding for Stationary Installations of Wired Communication, Radio Relay Stations, Wire Broadcasting Transmission Nodes, and Collective TV Reception Antenna Systems. Resistance Standards]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1979. 14 p.

24. Mitrokhin V. E., Naumov A. S. *Distantionnyi monitoring sostoyaniya zzemlyayushchego ustroistva* [Remote Monitoring of Grounding Device Condition]. *Bezopasnost' tsifrovyykh tekhnologii*, 2023, no. 2(109), pp. 9-20. DOI: 10.17212/2782-2230-2023-2-9-20. EDN: KWPOJK.

Valery E. Mitrokhin

Dr. of Sci. (Engineering), Professor; Professor of the Department of Telecommunications, Radio Engineering Systems and Networks, Omsk State Transport University (OSTU, Russia, 644046, Omsk, 35 Marx Avenue), phone: +7 903 9267 470, e-mail: mitrokhin@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-7650-6495.

Alexander S. Naumov

Postgraduate of the Department of Telecommunications, Radio Engineering Systems and Networks, Omsk State Transport University (OSTU, Russia, 644046, Omsk, 35 Marx Avenue), phone: +7 904 5882 960, e-mail: sommerboy@rambler.ru, ORCID ID: 0009-0007-8485-9435.