

Научная статья / Research Article

УДК 621.311

В.Р. Пономарев¹, П.А. Грищенко²

^{1,2}Филиал ПАО «Россети Сибирь» – «Красноярскэнерго», Красноярск, Россия

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ АНАЛИТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ НА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

Аннотация. *Определена методология разработки и внедрения программы на основе искусственного интеллекта для анализа и прогнозирования аварийности на кабельных линиях электропередачи. Разработана архитектура системы предиктивного обслуживания кабельной сети, что позволяет реализовать комплексный подход к мониторингу и управлению кабельными линиями на основе интеграции современных информационных технологий. Ключевыми элементами архитектуры является система непрерывного диагностического мониторинга, платформа больших данных, геоинформационная система, а ядром разработанной архитектуры является модуль искусственного интеллекта. Перспективы дальнейшего развития системы связаны с расширением функциональности модуля ИИ, интеграцией дополнительных источников данных и созданием механизмов автоматизированного управления режимами работы кабельных сетей на основе прескриптивной аналитики.*

Ключевые слова: *искусственный интеллект, кабельные линии, информационные технологии, CDM, геоинформационные системы, Big Data, аварийность*

V.R. Ponomarev¹, P.A. Grishchenko²

^{1,2}Branch of PJSC "Rosseti Siberia" – "Krasnoyarskenergo", Krasnoyarsk, Russia

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ANALYSIS AND FORECASTING OF CABLE POWER LINE FAILURES

Abstract. *The article discusses the methodology of developing and implementing a program based on artificial intelligence for analyzing and predicting accidents on cable transmission lines. In the course of the work, the architecture of the predictive maintenance system of the cable network was developed, which makes it possible to implement an integrated approach to monitoring and managing cable lines based on the integration of modern information technologies. The key elements of the architecture are a continuous diagnostic monitoring system, a*

big data platform, and a geographic information system, and the core of the developed architecture will be an artificial intelligence module. The prospects for further development of the system are related to the expansion of the AI module's functionality, the integration of additional data sources, and the creation of mechanisms for automated control of cable network operating modes based on prescriptive analytics.

Keywords: artificial intelligence, cable lines, information technology, CDM, Geoinformation systems, Big Data, accident rate

Введение. Кабельные линии (КЛ) занимают ключевое место в системах городской инфраструктуры, что обусловлено их значительными преимуществами перед воздушными линиями. Их прокладка в земле позволяет сохранять надземное пространство, минимизировать размеры охранной зоны и обеспечивать более высокий уровень безопасности. Основной причиной выхода КЛ из строя является снижение сопротивления изоляции до критически низких значений. Деградация изоляции – это постепенный процесс, на который влияют несколько факторов, в том числе: эксплуатационные и природные воздействия; скрытые производственные дефекты; механические повреждения; конструктивные особенности; химическая коррозия [1]. На рисунке 1 представлены основные причины повреждения кабельных линий в процентном соотношении.



Рисунок 1 – Диаграмма основных причин повреждения кабельных линий

Традиционные методы диагностики и планово-предупредительного ремонта зачастую не способны эффективно противодействовать этим разнородным и скрыто протекающим процессам. Они либо фиксируют отказы постфактум, либо требуют колоссальных ресурсов для сплошной проверки, не обеспечивая точного прогноза. Именно в этом контексте критически важно оценивать потенциал искусственного интеллекта [2].

Цель исследования – разработка методики прогнозирования аварийности кабельных линий на основе технологии искусственного интеллекта для перехода от планово-предупредительного к предиктивному обслуживанию. Были поставлены и решены определенные задачи, такие как проведение анализа априорной информации и разработка архитектуры, которая будет объединять информационные технологии в единую систему.

Информационные технологии в мониторинге кабельных линий. В ходе работы был проведен анализ информационных технологий, играющих ключевую роль в организации эффективного мониторинга кабельных линий. Были рассмотрены такие технологии, как:

Система CDM. Подразумевает оснащение трасс датчиками, которые в режиме реального времени собирают и передают критически важные параметры, например датчиками частичных разрядов, распределения температуры для контроля перегрева по всей длине линии, влажности в кабельных каналах и тоннелях [3]. Достоинствами этой системы является возможность раннего прогнозирования повреждений, непрерывный контроль параметров линии и снижение количества внезапных отказов. А из недостатков можно выделить высокие первоначальные затраты, необходимость регулярного обслуживания датчиков, зависимость от качества связи.

Геоинформационные системы (ГИС). Для кабельных линий, проложенных в земле, ГИС играют ключевую роль. Они интегрируют пространственные данные (точное расположение трассы) с технической информацией (тип кабеля, глубина залегания, история инцидентов). С помощью ГИС создаются цифровые карты кабельной сети, где визуализируются участки с повышенным риском (например зоны активных строительных работ, участки с коррозионной активностью грунта) [4]. Достоинствами этой системы являются наглядная визуализация сети и рискованных участков, интеграция пространственных и технических данных. Недостатками же являются необходимость постоянного обновления картографической информации, зависимость от точности исходных данных, высокие требования к вычислительным ресурсам.

Большие данные (Big Data). Системы мониторинга на основе CDM генерируют огромные массивы информации. Технологии Big Data позволяют агрегировать эти данные с другими источниками: историей ремонтов, нагрузками на линию, данными о погодных условиях. Анализ такого объема информации помогает выявлять скрытые корреляции между нагрузкой, температурой почвы и скоростью старения изоляции и строить точные модели прогнозного обслуживания [5]. Достоинствами этой технологии является выявление скрытых закономерностей, точное прогно-

зирование сроков и мест отказов, интеграция разнородных данных. Из недостатков можно выделить требование значительных вычислительных мощностей, сложность обработки больших объемов данных.

Также была рассмотрена возможность комбинирования вышеперечисленных технологий и систем. Синергетический эффект по комбинации CDM, Big Data и ГИС подразумевает объединение технологий непрерывного диагностического мониторинга (CDM), больших данных (Big Data) и геоинформационных систем (ГИС), что формируют комплексную платформу, эффективность которой раскрывается в полной мере при интеграции на основе искусственного интеллекта. Данный подход превосходит по результативности изолированное применение этих решений, так как устраняет большинство их недостатков и создает основу для перехода к предиктивной модели управления кабельными линиями, где:

- CDM выступает как «нервная система», собирающая сырые данные с полевых датчиков;
- Big Data является «мозговым центром», где этот объем информации очищается, структурируется и хранится;
- ГИС становится «цифровым двойником», предоставляющим визуальный контекст и пространственный анализ.

Таким образом, комбинация CDM, Big Data и ГИС, усиленная искусственным интеллектом, превращает разрозненные данные в целостную систему для проактивного управления кабельной сетью, минимизируя риски и оптимизируя затраты на эксплуатацию.

На основании проведенного анализа учета положительных и отрицательных сторон информационных технологий была разработана архитектура системы предиктивного обслуживания кабельной сети (рис. 2). Данная архитектура предназначена для создания единой цифровой платформы управления кабельной инфраструктуры. Основной задачей этой архитектуры является переход от реагирующего устранения аварий к их прогнозированию и предотвращению. Предполагается, что основными сферами применения будут городское электроснабжение, промышленная энергетика, объекты транспортной инфраструктуры, телекоммуникационные сети и другое.



Рисунок 2 – Архитектура системы предиктивного обслуживания кабельной сети

Система интеллектуального мониторинга кабельных линий включает в себя:

1. Датчики на КЛ – сбор исходных данных с кабельных линий.
2. Спутники и ГИС – предоставление дополнительных данных о местности и погодных условиях.
3. База данных – накопление и хранение всей информации.
4. Модуль ИИ – анализ данных и прогнозирование потенциальных аварий.
5. Диспетчер/Персонал – получение уведомлений и рекомендаций.

6. Планы ремонтов – формирование графика обслуживания на основе прогнозов системы.

Принцип работы архитектуры (сквозной процесс)

1. Сбор данных (Уровень датчиков и внешних источников):

- Датчики на КЛ в режиме 24/7 снимают параметры, указывающие на состояние изоляции и токопроводящих жил, – температура, частичные разряды, ток нагрузки, влажность в кабельных каналах.

- Спутники и ГИС предоставляют контекстные данные, такие как температура грунта, уровень грунтовых вод, информация о сторонних работах в охранной зоне, рельеф местности.

2. Агрегация и хранение (Уровень данных):

- Вся информация стекается в Единую базу данных, где объединяется с историческими архивами (отказы, ремонты, результаты прошлых диагностик). Это создает «цифровой след» каждого участка кабельной линии на протяжении всего его жизненного цикла.

3. Аналитика и прогнозирование (Интеллектуальный уровень):

- Модуль ИИ является «мозгом» системы. Алгоритмы машинного обучения анализируют комплексные данные, выявляя скрытые закономерности и аномалии.

- На основе этих моделей система рассчитывает «Остаточный ресурс» кабеля и «Вероятность отказа» на каждом отрезке сети с привязкой ко времени (например «Участок КЛ-5: 90 % вероятности пробоя в ближайшие 2 месяца»).

4. Формирование решений (Пользовательский уровень):

- Диспетчер/Персонал получает не просто сигнал тревоги, а конкретные дескриптивные рекомендации: «Для участка КЛ-5 рекомендовано:

1) в течение 48 часов снизить нагрузку на 15 %;

2) внести в план ремонтов на ближайший месяц.

- На основе этих рекомендаций формируются «Планы ремонтов и профилактики», что замыкает цикл управления. Выполненные работы пополняют базу данных, позволяя ИИ-моделям постоянно самообучаться и повышать точность прогнозов.

Эта система предназначена в первую очередь для технических диспетчеров и инженеров сетевых компаний, что даст возможность такого рода персоналу получить приоритизированные списки рискованных участков, конкретные рекомендации к действию (снизить нагрузку, провести диагностику, запланировать ремонт). А результатом будет повышение скорости и обоснованности принятия оперативных решений.

В то же время специалисты по планированию и ремонтам получают прогнозы состояния активов, оптимизированные графики технического обслуживания и капремонта, результатом будет снижение затрат на ремонты и увеличение межремонтных интервалов. А руководство и менеджмент получают сводные аналитические отчеты, KPI по надежности се-

ти, экономическому эффекту от внедрения системы, что позволит стратегически управлять активами на основе данных и обосновывать инвестиции в модернизацию.

Заключение. Таким образом, в ходе работы была разработана архитектура системы предиктивного обслуживания кабельной сети, что позволяет реализовать комплексный подход к мониторингу и управлению кабельными линиями на основе интеграции современных информационных технологий. Ключевыми элементами архитектуры является система непрерывного диагностического мониторинга, платформа больших данных, геоинформационная система, а ядром разработанной архитектуры будет модуль искусственного интеллекта. Перспективы дальнейшего развития системы связаны с расширением функциональности модуля ИИ, интеграцией дополнительных источников данных и созданием механизмов автоматизированного управления режимами работы кабельных сетей на основе прескриптивной аналитики.

Список источников

1. Снижение аварийности на кабельных линиях / Р.Х. Аблеев [и др.] // Векторы развития систем жизнеобеспечения сельских и урбанизированных территорий. Балашиха: Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского, 2025. С. 10–13.
2. Патраков П.А. Мониторинг инфраструктурных объектов с использованием информационных технологий // Вестник науки. 2025. Т. 2, № 5 (86). С. 880–885.
3. Организация диагностического мониторинга технического состояния высоковольтных кабельных линий // РУСОВ [Электронный ресурс]. URL: https://dimrus.ru/manuals/cables_diag_mon.pdf.
4. Полуянович Н.К., Дубяго М.Н. Прогнозирование ресурса кабельных линий с использованием метода искусственных нейронных сетей // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 3 (205). С. 51–62.
5. Круминь С.А., Юрчак А.В. Использование технологий Big Data в энергетике // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций «РТ-2016»: мат-лы 12-й междунар. молодежной науч.-техн. конф. Севастополь, 2016. С. 156.

References

1. Ableev R. KH. Snizhenie avariinosti na kabel'nykh liniyakh /R. KH. Ableev, A. S. Rassadin, S. V. Andronov, V. M. Rastorguev//M.: Vektory razvitiya sis-

- tem zhizneobespecheniya sel'skikh i urbanizirovannykh territorii: Balashikha. Rossiiskii gosudarstvennyi universitet narodnogo khozyaistva im. V.I. Vernadskogo. 2025. – S. 10-13.
2. Patrakov P. A. Monitoring infrastrukturykh ob'ektov s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologii /P. A. Patrakov // М.: Vestnik nauki. – 2025. – Т. 2, № 5(86). – S. 880-885.
 3. Organizatsiya diagnosticheskogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya vysokovol'tnykh kabel'nykh linii //RUSOV. [Elektronnyi re-surs]: – URL: https://dimrus.ru/manuals/cables_diag_mon.pdf
 4. Poluyanovich N. K. Prognozirovaniye resursa kabel'nykh linii s ispol'zovaniem metoda iskusstvennykh neironnykh setei /N. K. Poluyanovich, M. N. Dubyago// М.: Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. – 2019. – № 3(205). – S. 51-62.
 5. Krumin' S. A. Ispol'zovaniye tekhnologii Big Data v energetike /S. A. Krumin', A. V. Yurchak// М.: Sovremennyye problemy radioelektroniki i telekommunikatsii "RT - 2016". Materialy 12-oi mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. - Sevastopol'. - 2016. – S. 156.

Сведения об авторах:

Виктор Романович Пономарев – электромонтер распределительных сетей 5-го разряда Филиала ПАО «Россети Сибирь» – «Красноярскэнерго»

vitya.gagarin.02@list.ru

Павел Андреевич Грищенко – начальник Аварийно-восстановительной службы Филиала ПАО «Россети Сибирь» – «Красноярскэнерго»

grischenko_pa@kr.rosseti-sib.ru

About authors:

Viktor Romanovich Ponomarev – electrician of distribution networks of the 5th category of the Branch of PJSC Rosseti Siberia - Krasnoyarskenergo

vitya.gagarin.02@list.ru

Pavel Andreevich Grishchenko – Head of the Emergency Recovery Service of the Branch of PJSC Rosseti Siberia – Krasnoyarskenergo

grischenko_pa@kr.rosseti-sib.ru