

УДК 621.192

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ
БЕЗОТКАЗНОСТИ ЛЭП
MODERN APPROACHES TO INVESTIGATION
OF RELIABILITY OF PTL**

Е.В. Радюк, И.В. Ковалец

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
astarginsky@bntu.by

E. Radziuk, I. Kovalets

Supervisor – A.L. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** События отказа ЛЭП могут привести к серьезным последствиям, поэтому исследование и обеспечение безотказности этих систем являются важной задачей. Для исследования безотказности ЛЭП используются автоматические системы мониторинга и диагностики, которые обеспечивают оперативный контроль и ремонт, а также использование нейросетей для прогнозирования возможных аварийных ситуаций и генетических алгоритмов для оптимальной работы и проектирования ЛЭП. За счет использования современных подходов можно обеспечить более точный анализ и эффективные решения для предотвращения отказов и обеспечения безотказности ЛЭП.*

***Abstract:** Power line failure events can lead to serious consequences, so investigating and ensuring the reliability of these systems is an important task. Automatic monitoring and diagnostic systems are used to investigate the reliability of power lines, which provide on-line monitoring and repair, as well as the use of neural networks for predicting possible failure situations and genetic algorithms for optimal operation and design of power lines. By using modern approaches, it is possible to provide more accurate analysis and effective solutions to prevent failures and ensure the failure-free operation of transmission lines.*

***Ключевые слова:** ЛЭП, безотказность, надежность, аварийные ситуации, диагностика.*

***Keywords:** power transmission lines, fail-safety, reliability, emergencies, diagnostics.*

Введение

Линии электропередач (ЛЭП) являются одними из основных элементов энергетической инфраструктуры, их функционирование играет ключевую роль в обеспечении надежной и безопасной работы энергосистем.

Однако, даже небольшие отказы в работе ЛЭП могут иметь серьезные последствия, такие как потери электрической мощности, повреждения оборудования и, в некоторых случаях, аварии, которые могут привести к материальным убыткам и потере человеческих жизней. В связи с этим, исследование и обеспечение безотказности ЛЭП становится все более актуальным.

В данном контексте современные подходы для исследования безотказности ЛЭП играют важную роль. Они включают в себя применение новейших методов математического моделирования, компьютерных технологий, систем мониторинга и диагностики. Данные методы позволяют не только определить вероятность отказа тех или иных элементов ЛЭП, но также и разработать эффективные стратегии по их предотвращению.

В данной работе будет рассмотрено несколько современных подходов к исследованию безотказности ЛЭП, их принципы, преимущества и недостатки.

Основная часть

Современные подходы к исследованию безотказности ЛЭП включают в себя использование компьютерного моделирования, методов математической статистики, различных методов испытаний, а также мониторинга и анализа данных по техническому состоянию оборудования.

Компьютерное моделирование позволяет проводить технические расчеты и предсказывать вероятность возникновения аварийных ситуаций на ЛЭП. Математическая статистика используется для анализа полученных данных и определения уровня безотказности системы в целом.

Для проверки работоспособности ЛЭП используются различные методы испытаний, такие как испытания на прочность, тепловые испытания, электроизоляционные испытания, испытания на промерзание и др. Кроме того, проводится мониторинг технического состояния оборудования, который позволяет своевременно выявлять неисправности и принимать меры по их устранению.

Важным элементом современных подходов к исследованию безотказности ЛЭП является анализ данных по аварийным ситуациям и отказам оборудования. Этот анализ позволяет выявлять наиболее часто встречающиеся причины аварий и разрабатывать меры по их устранению.

Анализ данных по аварийным ситуациям и отказам оборудования является важным элементом исследования безотказности ЛЭП. Этот анализ позволяет выявить наиболее вероятные и часто встречающиеся причины отказов оборудования и аварийных ситуаций, а также установить меры по их предотвращению и минимизации возможных последствий.

Для анализа данных используются различные методы, такие как анализ статистических данных, сравнение с аналогичными системами, экспертные оценки и др. Важно учитывать не только факты аварий и отказов, но и данные о плановом техническом обслуживании, причинах поломок и инцидентов, параметрах работы оборудования до нарушений.

После анализа данных по аварийным ситуациям и отказам оборудования, определяются причины аварий и отказов, составляется рейтинг наиболее вероятных и часто встречающихся причин, и разрабатываются мероприятия по предотвращению возможных нарушений в работе ЛЭП.

Важно отметить, что анализ данных по аварийным ситуациям и отказам оборудования является постоянным процессом, который должен проводиться регулярно, чтобы заранее выявлять возможные проблемы в работе ЛЭП и принимать меры по их устранению.

Допустим, анализ данных по аварийным ситуациям и отказам оборудования ЛЭП показал, что наиболее частой причиной аварий и поломок является выход из строя разъединительных выключателей. Причинами могут быть низкое качество оборудования, ошибки при монтаже или нарушения режима эксплуатации.

В результате анализа данных по авариям и отказам разработчики ЛЭП могут принять следующие меры для предотвращения таких ситуаций:

- обновление оборудования и повышение его качества;
- введение дополнительных мер контроля за монтажными работами;
- увеличение частоты технического обслуживания;
- автоматизация процессов управления оборудованием;
- обучение персонала правильной эксплуатации оборудования и взаимодействия с ним;
- мониторинг работоспособности оборудования и быстрое реагирование на возможные нарушения.

В итоге, благодаря анализу данных по аварийным ситуациям и отказам оборудования, можно установить причины нарушений в работе ЛЭП и принять меры для предотвращения их возникновения в будущем.

Один из современных методов расчета безотказности ЛЭП основан на использовании систем динамического анализа событий (Event Driven Dynamic Simulation). Он позволяет моделировать динамику работы системы на основе ее компонентов и процессов, учитывая при этом возможные взаимодействия между компонентами и внешними воздействиями.

Для примера, рассмотрим процесс моделирования динамики работы силовой электрической сети (СЭС). Для начала необходимо создать математическую модель СЭС с учетом всех компонентов, включая генераторы, трансформаторы, выключатели, провода и другие элементы.

Затем на основе этой модели проводятся динамические анализы, используя данные о нагрузке на сеть, условиях работы компонентов и возможных внешних воздействиях (например, гроза или сильный ветер). Результатом такого анализа являются прогнозы вероятности нарушений в работе сети и ожидаемые временные задержки восстановления питания после возможной аварии.

Допустим, мы хотим определить безотказность ЛЭП, состоящей из 10 трансформаторов и 40 км проводов. Для этого используем современный метод моделирования событий.

Для начала мы создадим математическую модель на основе сведений о параметрах компонентов ЛЭП, например, мощность генераторов, напряжение трансформаторов, длина проводов, сопротивление и другие факторы. Затем мы проведем анализ, симулирующий динамическую работу всей сети на основе имеющейся модели.

Для примера, предположим, что при анализе были учтены возможности отказа каждого из компонентов ЛЭП (трансформаторы, выключатели и провода) и воздействия внешних факторов (грозы, ураганы и т.д.).

Результатами анализа стали следующие данные:

- вероятность отказа одного трансформатора за сутки составляет 0,002 ;
- вероятность отказа одного выключателя за сутки составляет 0,005 ;
- вероятность отказа одного километра провода за сутки составляет 0,001 .

Для расчета вероятности отказа всей ЛЭП за сутки необходимо учесть, что отказ может произойти в любом из компонентов сети. Таким образом, используем формулу полной вероятности:

$$P_{\text{отказ ЛЭП за сутки}} = P_{\text{отказ трансформатора}} \cdot P_{\text{остальные компоненты работают}} + \\ + P_{\text{работают все трансформаторы}} \cdot P_{\text{отказ выключателя}} \cdot P_{\text{остальные компоненты работают}} + \\ + P_{\text{работают все трансформаторы и выключатели}} \cdot P_{\text{отказ 1 км провода}} \cdot P_{\text{остальные компоненты работают}}$$

где $P_{\text{остальные компоненты работают}}$ – вероятность того, что все остальные компоненты ЛЭП работают исправно.

Подставляя значения:

$$P_{\text{отказ ЛЭП за сутки}} = 0,002 \cdot (1 - 0,005)^{10} + (1 - 0,002) \cdot 0,005 \cdot (1 - 0,001)^{40} + \\ + (1 - 0,002) \cdot (1 - 0,005) \cdot 0,001^{40} \approx 0,002382.$$

Таким образом, вероятность отказа всей ЛЭП за сутки составляет примерно 0,24%, а безотказность ЛЭП составляет 99,76% за сутки. Данные расчеты могут помочь инженерам определить наиболее вероятные источники отказов и разработать планы по устранению проблем и повышению безопасности работы ЛЭП.

Для повышения безотказности сети можно предпринимать меры, направленные на улучшение компонентов ЛЭП, а также на проведение регулярного технического обслуживания и мониторинга состояния сети.

Можно сделать вывод, что используя метод моделирования событий, мы можем оценить безотказность ЛЭП при различных условиях и разработать меры по ее улучшению.

С использованием современного программного обеспечения и вычислительных методов, моделирование динамики работы ЛЭП может проводиться с высокой точностью, учитывая разнообразные варианты эксплуатации и возможных аварийных ситуаций. Это позволяет своевременно выявлять проблемы и принимать меры по устранению их последствий, повышая тем самым надежность и безопасность работы электрической сети.

Один из самых интересных современных методов расчета безотказности ЛЭП – это использование методов искусственного интеллекта (нейросетей и генетических алгоритмов).

Нейросети используются для анализа больших объемов данных и прогнозирования возможных аварийных ситуаций. С их помощью можно обучить компьютер распознавать входящие сигналы из различных датчиков, определять степень риска и выдавать рекомендации по предотвращению аварий.

Генетические алгоритмы применяются для оптимизации работы ЛЭП и поиска наиболее эффективных решений для обеспечения безотказности. В процессе работы алгоритм создает генетические варианты, которые затем оцениваются по критериям, например, стоимости оборудования, надежности, эффективности и др. В результате выбираются наилучшие варианты и рекомендации для оптимального проектирования и эксплуатации ЛЭП.

Использование методов искусственного интеллекта позволяет повысить точность анализов и обеспечить рациональное решение задачи безотказности ЛЭП. Однако для применения этого метода необходимо иметь большое количество данных и высокопроизводительные вычислительные системы.

Заключение

Современные подходы к исследованию безотказности линий электропередач включают в себя использование компьютерных моделей, анализ данных датчиков и смарт-технологий, которые позволяют оперативно обнаруживать возможные проблемы в работе линий и принимать меры к их устранению. Такие подходы повышают эффективность работ и безопасность электросетей.

Литература

1. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]/ Повышение эффективности работы воздушных линий электропередачи, работающих в экстремальных метеоусловиях. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-raboty-vozdushnyh-liniy-elektroperedachi-rabotayuschih-v-ekstremalnyh-meteousloviyah/viewer>. – Дата доступа: 01.04.2023.
2. Научно-технический рецензируемый журнал «Надежность и безопасность энергетики» [Электронный ресурс]/ Оценка показателей надежности линий электропередач Нижневолжского региона. – Режим доступа: <https://www.sigma08.ru/jour/article/viewFile/369/366>. – Дата доступа: 01.04.2023.
3. ResearchGate [Электронный ресурс]/ Robust event-driven dynamic simulation using power flow. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-dynamic-simulation-and-event-driven-simulation-of-39-bus-system-25-C_fig3_343757788. – Дата доступа: 01.04.2023.