

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**Дорони́на О.И.**

*Камышинский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет, Камышин, Россия (403870, Волгоградская обл., г. Камышин, ул. Ленина, д. 6а), e-mail: [olgai-karpenko@yandex.ru](mailto:olgai-karpenko@yandex.ru)*

---

**Представлена оперативная оценка показателей надежности для интеллектуальных электроэнергетических систем. Приведены основные формулы расчета показателей надежности отдельных элементов электрических сетей. В данной статье представлена адаптивная модель, позволяющая определить оптимальные алгоритмы управления энергосистемой. Программный комплекс находит решение с учетом оценки каждой единицы всего парка физических активов и оценки электрической сети в целом как системы. Данные по оборудованию вводятся посредством диалогов с обеспечением проверки на достоверность. Предложенная методика позволяет получить наиболее точные показатели надежности и тем самым выбирать наиболее оптимальные решения при управлении энергосистемой.**

---

Ключевые слова: активно-адаптивная модель, вероятность безотказной работы, частота отказов, время восстановления, аварийные режимы, теория определения мест повреждения, оптимизация координат установки датчиков аварийных режимов.

## DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF THE ASSESSMENT OF RELIABILITY IN INTELLECTUAL ELECTROPOWER SYSTEMS

**Doronina O.I.**

*Kamyshinsky institute of technology (branch) of VOLGGTU, Kamyshin, Russia (403870, Kamyshin, Lenin St., 6a), e-mail: [olgai-karpenko@yandex.ru](mailto:olgai-karpenko@yandex.ru)*

---

**The article analyzes reliability parameters and calculation of reliability of Power Supply System. Models and algorithms of reliability of Power Supply System are presented. In this article the adaptive model, allowing to define optimum control algorithms is provided by a power supply system. The program complex finds the decision taking into account an assessment of each unit of all park of physical assets and an assessment of an electrical network as a whole as systems. Data on the equipment are entered by means of dialogs with check support on reliability. The offered technique allows to receive the most exact indexes of reliability and by that to select the most optimum decisions in case of control of a power supply system.**

---

Keywords: the active-adaptive model, probability of fault-free work, frequency of refusals, restoration time, emergency operation, theory of determination of places of damage, optimization of coordinates of installation of sensors of emergency operation.

В настоящее время одним из приоритетных направлений развития электроэнергетики является внедрение интеллектуальных сетей. В целом интеллектуальная сеть (Smart Grid, «умная», или активно-адаптивная сеть) представляет собой распределительную сеть, которая сочетает комплексные инструменты контроля и мониторинга, информационные технологии и средства коммуникации, обеспечивающие значительно более высокую ее производительность и позволяющие генерирующим, сбытовым и коммунальным компаниям предоставлять населению энергию более высокого качества. Современные технические средства корректировки параметров электрических сетей вместе с новыми системами сбора, передачи и обработки информации, быстродействующими программами оценки состояния (текущего режима) и прогнозирования состояния энергосистемы, а также гибкой системой

управления (сочетание централизованного и локального управления) всеми ее элементами способны вывести электроэнергетику на качественно новый уровень [1].

Основным критерием, по которому осуществляется управление в интеллектуальных системах, является оценка надежности всех элементов системы. Вопросы обеспечения надежности электроснабжения, включая анализ причин его нарушения, прогноз показателей, обоснование и разработку мероприятий и средств повышения надежности, сохраняют актуальность на всех этапах развития энергосистем и объединений. В настоящее время надежность систем электроснабжения рассчитывают по упрощенной модели, и данные являются усредненными для бывшего СССР. Но уровень аварийности существенно различается по регионам, поэтому все данные необходимо привязывать к определенному объекту. В соответствии с тенденциями анализ надежности необходим для оптимального размещения активов и анализа затрат и прибыли для инвестиций в развитие интеллектуальных сетей. На его основе проводится обоснование включения резервных линий, коммутационной аппаратуры, оптимального расположения датчиков аварийных режимов сети.

В условиях большой неопределенной информации (отсутствия данных о законах распределения случайных величин) одним из наиболее эффективных методов решения задачи расчета показателей надежности является имитационное моделирование. Проводя «эксперименты» на имитационной модели, мы получаем множество значений сопоставляемых показателей и далее на основе известных статистических методов анализа можем вычислить интервал возможных значений показателей надежности, который назовем точностью имитационной модели. Результаты расчета зависят от способа моделирования случайных чисел и структуры имитационной модели (в нашем случае от алгоритма расчета показателей надежности).

Как показывают многочисленные данные анализа надежности большинства объектов техники, в том числе и электроустановок, линеаризованная обобщенная зависимость  $\lambda(t)$  представляет собой сложную кривую с тремя характерными интервалами (приработка, нормальная эксплуатация, старение) [3]. Что соответствует закону распределения Вейбулла. На интервале нормальной эксплуатации  $\lambda = \text{const}$ , что соответствует экспоненциальной модели распределения вероятности безотказной работы. При рассмотрении задач резервирования можно пренебречь периодом приработки. Действительно, перед вводом в эксплуатацию проводят достаточно жесткие приемо-сдаточные испытания, выявляющие практически все внутренние дефекты материалов и монтажа. Генерация случайных чисел, подчиняющихся различным законам, основана на базовой модели генерации равномерного распределения случайных чисел и последующего преобразования этих чисел. Для генерации

равномерно распределенного случайного числа во всех выпускаемых в настоящее время ЭВМ заложена стандартная подпрограмма RANDOM, сокращенно записываемая RAND или RND [3]. Вследствие старения оборудования, изменения климата и структуры сети при разработке новых алгоритмов управления для создания математической модели необходимо сопоставление получаемых результатов с экспериментальными данными. Очевидно, что для решения проблемы необходимо использовать систему с обратной связью, позволяющей адаптивно реагировать на изменения показателей надежности.

Для обеспечения единства исходных данных о надежности первичная информация об отказе, в соответствии с существующей нормативно-технической документацией, должна содержать определенные информационные признаки: дату возникновения отказа или неисправности; общую наработку объекта с начала его эксплуатации до момента установления отказа (определения неисправности); внешние признаки и характер появления отказа или неисправности; условия эксплуатации и вид работы, при которых был обнаружен отказ или установлена неисправность; способ устранения неисправности; принятые или рекомендованные меры по предупреждению возникновения отказов или неисправностей. Основными видами документации при сборе первичной информации об отказах элементов системы являются журналы, формуляры, карточки. В настоящее время сбор данных об авариях ведется по РД 34.20.801-2000 «Инструкция по расследованию и учету технологических нарушений в работе энергосистем, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей». Структура представления данных рассчитана на ручную обработку. Поскольку аппаратный журнал служит не только для сбора статистических данных по надежности и является необходимым рабочим документом в процессе сравнительно длительного периода эксплуатации, непосредственное его использование в качестве источника статистических сведений неудобно [2]. Кроме того, представляет интерес получить обобщенные статистические сведения о надежности.

Обработка статистической информации заключается в следующем [5]:

- 1) по данным сводной ведомости для каждого элемента сети составляется временная диаграмма потока отказов в зависимости от наработки;
- 2) для удобства дальнейшей обработки составляются вариационные ряды;
- 3) строятся гистограммы по каждому элементу сети;
- 4) строится эмпирическая функция распределения наработки на отказ;
- 5) вычисляются среднее время безотказной работы устройства и значение интенсивности отказа элемента;
- 6) проверка гипотезы о принадлежности построенного распределения к какому-либо закону (экспоненциальное, нормальное, Вейбулла).

Очень часто время наблюдения или проведения испытания ограничено, и малое значение  $\lambda$  приводит к тому, что среднее число отказов, наблюдаемых при проведении испытаний, также мало. В связи с этим для оценки параметра  $\lambda$  целесообразно использовать метод доверительных интервалов. В настоящее время интервальные оценки показателей надежности – это основной «инструмент» инженеров для сравнения сопоставляемых вариантов. Если эти интервалы не совмещаются, то с заданным коэффициентом доверия  $R=1-\alpha$ , где  $\alpha$  – ошибка первого рода, можно говорить о различии сравниваемых показателей [4].

В данной статье представлена адаптивная модель, позволяющая определить оптимальные алгоритмы управления энергосистемой. Программный комплекс находит решение с учетом оценки каждой единицы всего парка физических активов и оценки электрической сети в целом как системы. Данные по оборудованию вводятся посредством диалогов с обеспечением проверки на достоверность. Расчетная схема и справочная информация (топология, базовый режим, допустимые токовые нагрузки трансформаторов и линий электропередачи в зависимости от температуры окружающей среды, информация об установленных в энергосистемах трансформаторов с автоматическим регулятором возбуждения и т.д. – вся условно постоянная информация) хранятся в базе данных, имеющей открытый интерфейс.

В результате анализа сети (например, за годичный период) определяются наиболее важные с точки зрения надежности участки сети. На основе полученной информации принимаются решения, например, о техническом обслуживании или ремонте. Другие функциональные возможности системного решения позволяют изучать альтернативные стратегии развития сети и планировать их изменение. Такие исследования позволяют находить наиболее эффективные стратегии развития сети.

Алгоритм функционирования модели расчета надежности распределительных сетей представлен на рис. 1.



**Рис. 1. Алгоритм функционирования активно-адаптивной модели.**

В состав искомых показателей входят показатели надежности по узлам и системы в целом за расчетный интервал: вероятность безотказной работы, средний недоотпуск электроэнергии, коэффициент обеспеченности потребителей электроэнергией.

Во время расчета моделируется поведение сети, учитывается среднее время восстановления поврежденного оборудования.

Предложенная методика позволяет получить наиболее точные показатели надежности и тем самым выбирать наиболее оптимальные решения при управлении энергосистемой. Из этого следует первоочередность и порядок ремонта и модернизации системы, введение дополнительных резервных сетей и устройств, обоснование и снабжение информационно-измерительными системами (датчиками, сенсорами аварийных режимов и каналами передачи данных).

### Список литературы

1. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России. – Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – 28-34 с.
2. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Краткий справочник по расчету надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М. : Советское радио, 1966. – 432 с.
3. Лукьянов В.С. Модели анализа вероятностно-временных характеристик и структур сетей передачи данных : монография / В.С. Лукьянов, А.В. Старовойтов, И.В. Черковский ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 184 с.

4. Мурадалиев А.З. Об оценке показателей имитационного моделирования надежности электрооборудования. – Энергетик. – 2007. – № 9. – 27-28 с.
5. Половко А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 704 с.

#### **Рецензенты**

Угаров Геннадий Григорьевич, д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов.

Шилин Александр Николаевич, д.т.н., профессор кафедры «Электротехника», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.