

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

М.В. ШАРЫГИН

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

В статье предложены правила организации системы показателей надежности для практического использования в энергослужбах и научных исследованиях, отличающейся от существующих: универсальными принципами, адаптационными способностями, регулированием глубины анализа надежности и широты его охвата. Представлены: виды показателей надежности, общий подход к оценке уровня надежности, правила задания номера показателей, универсальные списки базовых показателей надежности, их классификационных признаков, правила адаптации показателей надежности к конкретным условиям.

Ключевые слова: электроснабжение, показатель надежности, система.

Введение

Проблема надежности электроснабжения потребителей вызвана не только экономическими причинами (большой стоимостью высоконадежных систем), но и организационно-технологическими, которые обусловлены отсутствием универсальных методов и приемов оценки и управления уровнем надежности:

- учитывающих большое количество электроустановок в сети энергокомпаний компаний и потребителей, поскольку каждая электроустановка вносит свой вклад в результирующую надежность электроснабжения;
- учитывающих разнообразие видов и типов электроустановок;
- поддерживающих регулярный мониторинг уровня надежности и непрерывную достоверизацию информации и проверку адекватности методов;
- реализующих возможность анализа динамики уровня надежности, определения «слабых» мест и соответствующих им актуальных мероприятий по ее управлению;
- сохраняющих сопоставимость и переносимость результатов анализа и мероприятий между различными электросетевыми компаниями и потребителями, в том числе с учетом временных изменений.

В результате оценка работы по обеспечению надежности электроснабжения сводится к неточным решениям, таким как категорирование потребителей по ПУЭ, без учета суммарной длительности отключений, частоты отключений и прочих важных для конечных потребителей показателей надежности. ПУЭ не определяет количественно надежность электроснабжения – только качественно, однако других четких норм по оценке надежности систем электроснабжения нет.

Постановка задачи

В качестве первого шага для методического обеспечения практической работы по оценке и управлению надежностью электроснабжения потребителей необходима разработка универсальной системы показателей надежности, способной учесть указанные выше факторы.

К настоящему времени широко известны только списки показателей надежности, которые можно найти в справочной и учебной литературе по надежности

электроснабжения. Традиционные списки не являются системой показателей надежности и при практическом использовании оставляют нерешенными множество вопросов. Отличие предлагаемой системы показателей от традиционных списков заключается в следующем:

- выделены стандартизированные типы показателей (единичные, групповые, интегральные), реализующие различные функции. Благодаря этому возможно объединение в одну систему различных известных классификаций показателей,

- созданы системные связи и отношения между отдельными показателями и их группами и типами, что позволяет проводить оценку и анализ надежности в различных разрезах. Введение организации – связей, отношений – позволяет говорить именно о системе показателей надежности,

- разработан список базовых показателей надежности. Этот список более полно охватывает аспекты надежности по сравнению с традиционными списками, добавлены показатели, более удобные для анализа и оценки надежности при практическом применении.

Разработанная система позволяет отделить чисто техническую сторону оценки надежности от узкоспециализированного профессионального «энергетического» инструментария (приемов, методов). Работа квалифицированных специалистов энергетиков требуется только на предварительном этапе при «наладке» предложенной системы показателей под конкретную сеть.

Кроме того, с помощью разработанной системы возможно быстрое развертывание средств автоматизированной обработки информации по надежности.

Разработанная система показателей надежности выполняет следующие функции:

- адекватное определение и оценка уровня надежности;

- создание универсальной единой основы количественных расчётов уровня надежности (нумерации, наименований, норм, значений, правил, приемов и т.п.).

Сбор, контроль, обеспечение сопоставимости, обработка, хранение первичной информации, а так же анализ уровней надежности, принятие решений по управлению надежностью и прочие смежные функции не входят в состав функций системы показателей надежности [1].

Требования к системе показателей надежности:

- учет существующего практического и теоретического опыта в области надежности, обеспечение общепринятого подхода к определению надежности,

- возможность выражения уровня надежности в любой требуемой форме: количественно и качественно, абсолютном выражении и в относительном. При этом должны сохраняться сопоставимость и переносимость результатов;

- адаптивность анализа надежности к любому количеству и составу уже существующих электроустановок, объектов, зданий, сооружений (с учетом их разнородности и индивидуальных особенностей), в том числе к перспективным – строящимся и планируемым объектам,

- возможность агрегирования или детализации уровня надежности в диапазоне масштабов от уровня предприятия в целом до отдельного электроприемника. Это необходимо для анализа уровня надежности, поиска причин снижения и выработки мероприятий по управлению ею;

- достижение требуемого уровня охвата и глубины (адекватности) анализа надежности в нужном разрезе - по виду и типу оборудования, стадии жизненного цикла, временном, территориальном и т.п.

- малая трудоемкость определения уровня надежности и его анализа.

Последние два требования находятся в противоречии друг с другом, поскольку наиболее адекватную оценку уровня надежности можно получить лишь очень широким

набором показателей надежности (и соответственно чрезмерной трудоемкостью). Возникает задача определения некоторого ограниченного набора показателей надежности, условно достаточного для адекватной оценки уровня надежности. Причем этот набор показателей может быть различным для разных электроустановок, потребителей, этапов внедрения системы обеспечения уровня надежности;

Очевидно, что существует множество различных вариантов систем показателей надежности, соответствующих данным требованиям и целям. Ниже предлагается один из вариантов, обеспечивающий заданные выше функции и требования.

Подход к оценке уровня надежности

Для отдельного субъекта электроэнергетики или потребителя задаётся множество (список) показателей надежности ПН. Оценка уровня надежности производится на основе сравнения достигнутых величин показателей надежности и заранее установленных критериев этих показателей в расчетном периоде.

Предлагается использовать следующие типы показателей надежности:

Единичный показатель – эксплуатационный показатель надежности [1], предназначенный для оценки частной отдельной стороны надежности электроснабжения объектов, и полное множество таких показателей является основой для оценки уровня надежности (рис. 1). Чем больше взаимонезависимых единичных показателей, тем адекватнее будет определяться уровень надежности.

Групповой показатель – комплексный эксплуатационный показатель надежности [1], предназначенный для удобства представления группы показателей путем объединения единичных и групповых показателей низших уровней в общую древовидную иерархическую структуру (рис. 1). Оценка группового показателя производится по логическому выражению на основе значений показателей внутри группы (в наиболее простом случае – при дискретной полярной оценке «выполнено» или «не выполнено»).

Интегральный показатель – комплексный эксплуатационный показатель надежности [1], предназначенный для предварительной краткой общей оценки уровня надежности объекта (все предприятие в целом, отдельный цех/подразделение, отдельный электроприемник и т.п.). Порядок определения интегрального показателя и оценки уровня надежности, для примера, может быть следующий:

1) по каждому i -му единичному показателю (во всем множестве показателей по объекту, общим количеством показателей N) рассчитываются составляющие интегрального показателя:

$$ПН_{инт\ i} = (ПН_{ф\ i} - ПН_{мин\ i}) / (ПН_{норм\ i} - ПН_{мин\ i}) \cdot 100\%, \quad (1)$$

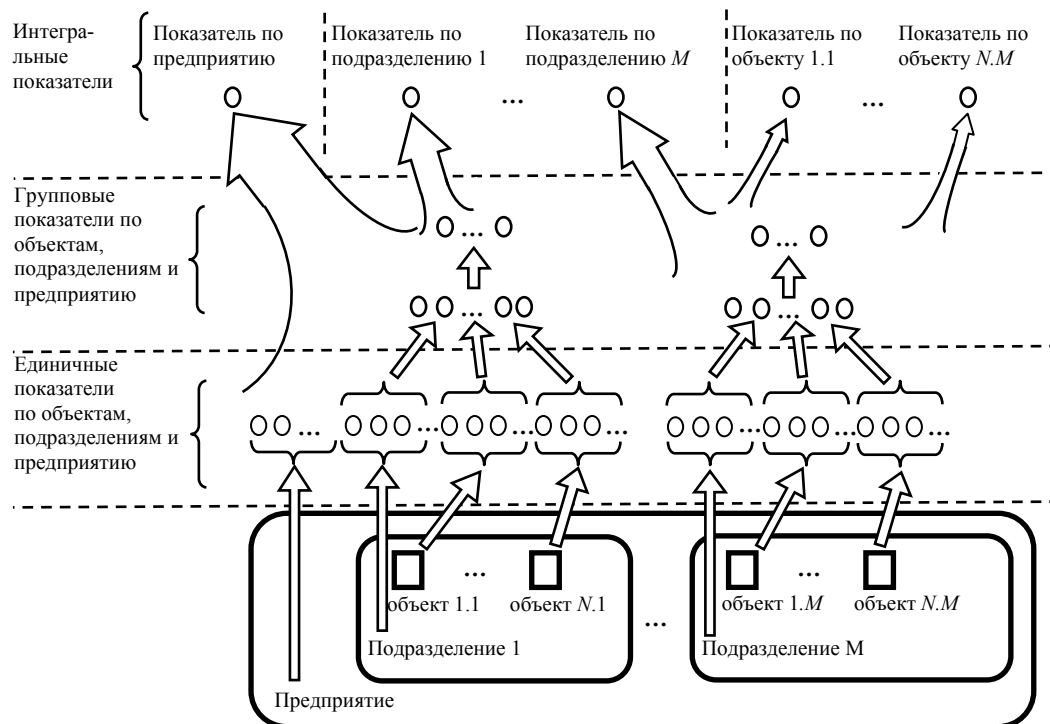
где $ПН_{ф\ i}$ – фактическое значение i -го единичного показателя; $ПН_{норм\ i}$ – значение, соответствующее критерию i -го единичного показателя надежности; $ПН_{мин\ i}$ – минимально допустимое значение i -го единичного показателя надежности (наименьшее реально достижимое значение показателя). Формула (1) отражает простейший случай линейного изменения конечных числовых показателей и значения $ПН_{ф}$ в интервале $[ПН_{мин\ i}, ПН_{норм}]$;

2) определяется значение интегрального показателя в целом по объекту:

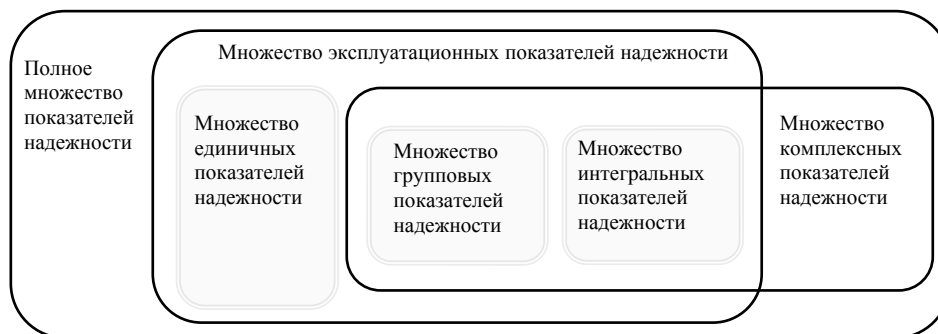
$$ПН_{инт} = \sum_{i=1}^N (ПН_{инт\ i} K_{вес\ i}) / \sum_{i=1}^N (K_{вес\ i}), \quad (2)$$

где $K_{вес\ i}$ – весовой коэффициент i -го единичного показателя.

3) оценивается уровень надежности по достигнутому значению $ПН_{инт}$. Например, при достигнутом значении $ПН_{инт} = 92\%$ уровень надежности будет считаться ниже заданных критериев, а при 105% – выше.



а)



б)

Рис. 1. Типы показателей надежности и их связи с элементами предприятия (а), отношения между множествами показателей надежности (диаграмма Венна) (б)

Номер показателя надежности

Очевидно, что традиционные показатели надежности, такие как показатель ремонтпригодности «среднее время восстановления», могут выступать в качестве единичных показателей только в случае конкретизации условий их расчета: для какого именно оборудования, на каком периоде, на каком объекте, для каких восстановлений и т.д. Такие общепотребительные неконкретные показатели будем называть базовыми показателями. Для них известны лишь область применения, их физический смысл,

методы определения и объем необходимой исходной информации. Пусть из базовых показателей составлен список (табл. 1). Такой список может быть универсальным для всех объектов электроэнергетики.

Таблица 1

Примерная форма множества базовых показателей надежности

№ показателя	Наименование базового показателя	Описание базового показателя	Метод определения показателя, необходимая первичная информация
...	...		
7.1.3	Показатели ремонтпригодности		
...	...		
7.1.3.3	Среднее время восстановления T_B	Количественный показатель. Математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта. Может определяться по группе однотипных объектов как среднее арифметическое	$T_B = \frac{1}{n_B} \sum_{i=1}^{n_B} T_{Bi},$ где T_{Bi} – длительность восстановления i-го отказа объекта на интервале времени $[0, t]$, (часов), n_B – количество восстановлений объекта, (шт.)
...	...		

Для адаптации базовых показателей к конкретным условиям, т.е. задания показателей надежности (единичных и/или групповых), необходимо понятие «номер показателя». Номер показателя задается по принципу фасетной классификации (т.е. путем комбинации отдельного базового показателя (табл. 1) и конкретных значений классификационных признаков показателей (табл. 2), соответствующих заданным условиям) по следующей схеме (формуле):

$$\{N_{БП}, N_{КП1}(N_{ЗКП1}), N_{КП2}(N_{ЗКП2}), \dots, N_{КПi}(N_{ЗКПи}), \dots\},$$

где $N_{БП}$ – номер базового показателя; $N_{КПi}$ – номер i -го классификационного признака; $N_{ЗКПи}$ – номер значения i -го классификационного признака.

Например, номер показателя {ПН(7.1.3.3), 1(3), 2(1), 3(2), 4(1.3.2.1)} указывает на: ПН(7.1.3.3) – показатель ремонтпригодности «среднее время восстановления T_B » (табл. 1), определяемый для: 1(3) – стадии эксплуатации этой системы (табл. 2 – классификационный признак №1 «по стадии жизненного цикла объекта» принимает значение №3 «эксплуатация»); 2(1) – ретроспективной надежности (табл. 2); 3(2) – подразделение №2 (табл. 2); 4(1.3.2.1) – для всего оборудования типа «высоковольтные выключатели» (табл. 2).

Таким образом, за счет номера показателя достигается:

- систематизация и стандартизация показателей надежности объектов, что позволит: обеспечить единство толкования смысла показателей, достижение единства правил их определения, достижение их сопоставимости (в целях анализа), упрощение разработки системы показателей для любых объектов;

- сохранение универсальности постоянного списка базовых показателей и его адаптивности к сколь угодно большому количеству уже существующих объектов, зданий, сооружений (с учетом их разнородности и индивидуальных особенностей), в том числе к перспективным объектам;

- требуемый уровень охвата и глубины (адекватности) анализа надежности в нужном разрезе – по виду и типу оборудования, стадии жизненного цикла и т.п. (достигается за счет добавления необходимых классификационных признаков);

- простота задания показателей надежности, компактность записи.

Таблица 2

Пример классификационных признаков показателей надежности

Классификационный признак	Значения классификационного признака
1. По стадии жизненного цикла объекта	1. Проектирование 2. Монтаж и наладка 3. Эксплуатация
2. По времени, в котором достигается надежность объекта	1. Ретроспективная надежность 2. Текущая надежность 3. Перспективная надежность
3. По месту объекта в организационной структуре	1. Подразделение №1 1.1. Объект №1 ... (нумерация может быть доведена вплоть до конкретной электроустановки или ее части) 2. Подразделение №2 ...
4. По типу оборудования системы электроснабжения	1. Сеть номинального напряжения 6-10 кВ 1.1. Линии электропередачи 1.2. Силовые трансформаторы 1.3. РУ 6-10 кВ 1.3.1. Секция шин 6-10 кВ 1.3.2. Присоединения (фидер) РУ 6-10 кВ 1.3.2.1. Высоковольтный выключатель ... 2. Сеть 0,4 кВ ...
...	

Адаптация показателей и классификационных признаков к условиям конкретного предприятия

Создание списка единичных и групповых показателей надежности под конкретные условия предприятия требуется на начальной стадии работы по управлению надежностью электроснабжения. Список создается при помощи правил нумерации (рис. 2). Для улучшения адекватности оценки уровня надежности в процессе работы системы обеспечения надежности целесообразен регулярный пересмотр имеющегося списка показателей. В аналогичных целях списки также могут быть дополнены новыми элементами: список базовых показателей (табл. 1), список классификационных признаков и принимаемых ими значений (табл. 2).

При адаптации показателя надежности следует проверять смысловое наполнение результата:

- совместимость базового показателя с классификационными признаками. Например, показатели ремонтпригодности ПН(7.1.3) не могут комбинироваться со значением классификационного признака 1(1) или 1(2) (табл. 2), поскольку на стадиях проектирования или монтажа и наладки объектов проводить мониторинг показателей ремонтпригодности этих объектов бессмысленно;

- совместимость классификационных признаков друг с другом. Например, значения классификационных признаков 1(1) – 2(1) (табл. 2) не могут комбинироваться друг с другом, поскольку на стадии проектирования объекта его ретроспективная надежность не существует.



Рис. 2. Схема адаптации базовых показателей надежности к конкретным условиям

Одним из основных требований к искомому списку показателей является адекватность определения уровня надежности. Адекватность можно обеспечить, главным образом, за счет полноты, всесторонности охвата списком показателей всех известных важных аспектов надежности. Например, это можно сделать путем перебора всех сочетаний значений классификационных признаков и применением каждого сочетания к известным базовым показателям.

После получения ретроспективной информации по надежности существует возможность оценки адекватности списка показателей путем сопоставления заданных в уже прошедшем периоде плановых оценок уровня надежности с достигнутыми фактическими оценками с учетом эффекта от внедренных мероприятий по управлению надежностью. Например, если уровень перспективной и текущей надежности для уже заверченного периода был оценен как нормальный, а ретроспективные показатели этого периода оказались не в норме, то это свидетельствует о явной неадекватности списка показателей.

Разработка универсальных списков базовых показателей надежности и классификационных признаков

И показатели, и классификационные признаки должны быть взаимонезависимы (каждые в своих списках), т. е. каждый показатель должен описывать свою индивидуальную сторону/аспект/свойство надежности, а каждый классификационный признак должен задавать своё индивидуальное направление/вектор конкретизации показателя надежности – отвечать на один из вопросов: когда, где и как достигается уровень надежности.

Задача разработки/коррекции списков базовых показателей и классификационных признаков, по-видимому, имеет только эвристическое решение. Основа универсального списка классификационных признаков приведена в табл. 2. Для сочетаний основных классификационных признаков (табл. 2) предложены следующие

очевидные базовые показатели/группы показателей – табл. 3, состав которых может быть расширен или изменен. Каждый из этих показателей может быть разделен на несколько более удобных или объединен в группу.

Таблица 3

Пример синтеза базовых показателей надежности для различных сочетаний значений основных классификационных признаков

Значение классификационного признака 1*	Значение классификационного признака 2*	Группа / базовый показатель надежности
проектирование	перспективная	3.1. Наличие исходно-разрешительной документации 3.2. Соответствие схемы внешнего электроснабжения требуемой надежности электроснабжения. 3.3. Оптимизация проектируемой сети электроснабжения по надежности
монтаж и наладка	перспективная	6.1. Соблюдение ТБ при проведении работ 6.2. Соответствие работ проектной документации
эксплуатация	ретроспективная	7.1. Группа традиционных показателей надежности 7.2. Качество деятельности служб при ликвидации аварий 7.3. Оценка смежными подразделениями качества функционирования энергослужбы 7.4. Оценка эффективности системы обеспечения надежности 7.5. Оценка адекватности списка показателей надежности
эксплуатация	текущая	8.1. Контроль выполнения запланированных работ 8.2. Выполнение предписаний государственных органов 8.3. Соответствие схемы внешнего электроснабжения требуемой надежности электроснабжения 8.4. Выполнение планов ТО и ремонтов электрооборудования, диагностики 8.5. Соблюдение сроков проведения профессиональной аттестации 8.6. Выполнение планов обучения, переподготовки и повышения квалификации персонала 8.7. Укомплектованность энергослужбы специалистами 8.8. Наличие нормативной базы, регулирующей действия энергослужбы при возникновении аварий
эксплуатация	перспективная	9.1. Наличие планов выполнения и контроля эффективности мероприятий по управлению надежностью. 9.2. Наличие планов проведения аудитов 9.3. Планирование внедрения современных систем диагностики оборудования, автоматизации, планирование развития сети, оптимизации надежности сети. 9.4. Наличие плана проведения противоаварийных тренировок, проведения профессиональной аттестации, обучения, переподготовки и повышения квалификации персонала 9.5. Наличие планов проведения ТО и ремонтов электрооборудования

Примечание – классификационные признаки приведены в табл. 2.

Особо отметим группу базовых показателей 3.3 и 9.3 (табл. 3). Практически все проведенные ранее исследования в области надежности, модели ее оптимизации,

задачи ее синтеза и анализа и прочие наработки [2] можно отнести к этим группам при помощи соответствующих им показателей надежности, а степень их фактического выполнения будет оцениваться в группе показателей 8.1 и 7.1. Отметим так же, что эти исследования и наработки являются лишь частью общей задачи обеспечения надежности наряду с прочими работами: ремонтами, подготовкой персонала и т.д. Предложенная система организует и упорядочивает их применение.

Определение значений критериев показателей, весовых коэффициентов

Значения критериев показателей могут быть определены любым из перечисленных способов или их комбинацией:

- методами математической статистики по совокупности достигнутых значений показателя по конкретному объекту в предыдущих базовых периодах (предпочтительный способ);
- усреднением типовых справочных значений показателей.
- методом экспертных оценок на основе опыта эксплуатации конкретного объекта.

В процессе работы системы обеспечения надежности целесообразен регулярный обоснованный пересмотр значений критериев: излишне жесткие критерии необходимо смягчать, и наоборот.

Весовые коэффициенты показателей надежности могут быть определены методом экспертных оценок или же на основе типовых справочных значений.

Выводы

1. Предложены основы универсальной системы показателей надежности: типы показателей надежности, общий подход к оценке уровня надежности, правила задания номера показателей, универсальные списки базовых показателей надежности, их классификационных признаков, правила адаптации показателей надежности к конкретным условиям.

2. Система отличается от существующих: универсальными принципами, адаптационными способностями, регулированием глубины анализа надежности и широты его охвата.

3. Система предназначена для практического использования в энергослужбах и научных исследованиях. Представленная система показателей надежности является одной из основных составных частей общей организационной системы обеспечения надежности электроснабжения отдельного субъекта электроэнергетики или потребителя.

Summary

In this paper proposes principles of organization of universal system of indicators of supply reliability for practical use in the energy subdivisions and scientific projects. Proposals differ from the existing follows: the universal principle, adaptability, adjustable analysis of reliability. In this paper presents: types of indicators of reliability, common approach to the assessment of the level of reliability, the rules for determination of the number of indicators, the universal list of basic indicators of reliability, classification criteria, rules for adaptation to the specific conditions.

Key words: power supply, indicator of supply reliability, system.

Литература

1. Надежность систем энергетики (Сб. рекомендуемых терминов). М: ИАЦ «Энергия», 2007. 192 с.

2. Надежность систем энергетики и их оборудования. Справочник: в 4-х т./ под общ. ред. Ю.Н. Руденко. Т.2. Надежность электроэнергетических систем: справочник / под ред. М.Н. Розанова. М.: Энергоатомиздат, 2000. 568 с.

Поступила в редакцию

23 января 2015 г.

Шарыгин Михаил Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Нижегородского государственного технического университета (НГТУ) им. Р.Е. Алексеева. Тел: 8(910)8823444. E-mail: sharygin.m.v@gmail.com.