

Разработка математической модели комплексной оценки состояния электроэнергетических объектов

И.Э. Гаглоева, А.З. Добаев, А.А. Дедегкаева

В настоящее время состояние электроэнергетики России не соответствует растущей потребности развития экономики и социальной структуры страны. К негативным факторам состояния электроэнергетики можно отнести: высокий уровень потерь, высокие риски надежного и качественного электроснабжения потребителей, снижение экономичности функционирования системы энергоснабжения, средства управления, не отвечающие современным требованиям, недостаточность применения новых технологий в электроэнергетических сетях, отставание во внедрении автоматизированных систем обработки данных [1-5].

Одним из приоритетных направлений в сфере электроэнергетики, согласно энергетической стратегии России до 2030 года, является создание высоко интегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети - Smart Grids) [6].

Интеллектуальная сеть — качественно новый вид электрической сети, позволяющей осуществлять в реальном времени мониторинг и управление сетью, осуществлять коммуникации между потребителями и поставщиками, предоставляя возможность оптимизации потребления, сокращая стоимость электроэнергии, и тем самым обеспечивая новый уровень надежности и экономичности энергоснабжения [7].

Термин «Smart Grid» до сих пор не имеет единой, общепринятой интерпретации. Так национальная лаборатория энергетических технологий Министерства энергетики США (The National Energy Technology Laboratory USA - NETL) определяет Smart Grid как совокупность организационных изменений, новой модели процессов, решений в области информационных технологий, а также решений в области автоматизированных систем

управления технологическими процессами и диспетчерского управления в электро-энергетике [8].

Наиболее полно общую функционально-технологическую идеологию этой концепции отражает сформулированное Институтом инженеров электротехники и электроники (The Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE) определение Smart Grid как концепции полностью интегрированной, саморегулирующейся и самовосстанавливающейся электроэнергетической системы, имеющей сетевую топологию и включающей в себя все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети и все виды потребителей электрической энергии, управляемые единой сетью информационно- управляющих устройств и систем в режиме реального времени [9].

Российские «умные сети» — это комплексная модернизация и инновационное развитие всех субъектов электроэнергетики на основе передовых технологий и сбалансированных проектных решений глобально на всей территории страны [10].

Вместе с тем для реализации концепции активно-адаптивной сети в стране существуют сдерживающие факторы, к которым можно отнести: уровень развития информационных технологий, коммуникаций, альтернативных источников электроэнергии, широкий территориальный размах энергосистемы страны, значительная изношенность сетей и т. д.

В целях повышения надежности функционирования электроэнергетических объектов, контроля и управления параметрами оборудования при переходе активно-адаптивным сетям актуализируется задача разработки и внедрения новых методов оценки технического состояния производственных фондов.

Обычно используется два основных подхода к контролю технического состояния объекта: в пространстве параметров и в пространстве сигналов [11]. В первом случае тем или иным способом определяются текущие значения параметров объекта (коэффициенты передаточных функций,

постоянные времени и т. д.), и оценивается отклонение их от номинального значения. Во втором случае проверяется отклонение выходных сигналов объекта и его блоков от расчетных значений. В обоих случаях объект считается функционирующим неправильно, если отклонение превышает допустимую величину [12].

Контролируемые параметры основного средства должны удовлетворять ограничениям вида:

$$\underline{x}_i \leq x_i \leq \bar{x}_i, \quad i = \overline{1, N}.$$

Для оценки технического состояния при принятии решений по управлению производственными фондами электроэнергетических объектов необходимо определить текущие и расчетные (нормативные) значения параметров оборудования.

Расчетные значения контролируемых параметров функционирования оборудования описывается уравнением состояния:

$$x_i^*(t) = F(x_i(t_0), u_{[t_0, t]}, K_i),$$

Где $x_i(t_0)$ – вектор расчетных технических параметров оборудования на момент начала эксплуатации объекта;

$u_{[t_0, t]}$ – условия эксплуатации оборудования на промежутке времени $[t_0, t]$;

K_i – вектор, характеризующий режим работы оборудования.

Результаты измерений параметров каждой единицы оборудования зависят от соответствующих технических параметров производственного актива и условий эксплуатации на момент измерений:

$$x_i(t) = H(v_i(t), u_i(t)),$$

где $v_i(t)$ – вектор измерений технических параметров оборудования в текущий момент времени,

$u_i(t)$ – условия эксплуатации объекта в текущий момент времени.

Для определения состояния оборудования может быть применен интегрированный показатель оценки состояния $J(t)$, учитывающий важность каждого из наблюдаемых параметров актива и существенность их отклонений:

$$J(t) = \frac{\sum_{i=1}^I c_i a_i (x_i(t) - x_i^*(t))^2}{I}, \quad (1)$$

где c_i – весовые коэффициенты, учитывающие важность параметров;

a_i – масштабирующий коэффициент, учитывающий существенность отклонений каждого параметра x_i .

$x_i(t)$ – значения контролируемых параметров в текущий момент времени;

$x_i^*(t)$ – расчетные значения контролируемых параметров;

I – количество контролируемых параметров оборудования.

Таким образом, выражение (4) позволяет получить количественную оценку технического состояния оборудования, но не учитывает важность самого основного средства, т.е. для разных видов оборудований могут быть получены показатели технического состояния $J(t)$ с одинаковыми значениями; при этом каждый актив в силу своей физической природы и производственных мощностей может характеризоваться разным весом для обеспечения полноценного функционирования производственного процесса, которое должно учитываться при принятии решений. Для того чтобы рассчитанный показатель объективно отражал техническое состояние с учетом важности самого оборудования выражение (1) примет вид:

$$J(t) = w_i \frac{\sum_{i=1}^I c_i a_i (x_i(t) - x_i^*(t))^2}{I}, \quad (2)$$

где w_i – весовой коэффициент важности i -того оборудования;

$J(t)$ – интегрированный показатель текущего технического состояния i -го оборудования.

Все используемые весовые коэффициенты определяются путем экспертного оценивания.

Тогда математическая модель оценки фактического технического состояния оборудования выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_i(t) = w_i \frac{\sum_{i=1}^I c_i a_i (x_i(t) - x_i^*(t))^2}{I}, \\ x_i^*(t) = F(x_i(t_0), u_{[t_0, t]}, K), \\ x_i(t) = H(v_i(t), u_i(t)), \\ J_i(t) \rightarrow \min, J_i(t) \leq J_{\max}(t). \end{array} \right.$$

Таким образом, значение интегрированного показателя $J_i(t)$ отражает текущее техническое состояние электроэнергетического оборудования с учетом важности производственного актива и существенностью отклонений каждого из его параметров. Результаты оценки состояния оборудования используются для прогноза состояния оборудования и его отдельных узлов на временном горизонте, на котором рассматриваются различные варианты технических решений.

Разрабатываемая автоматизированная система должна предоставлять пользователю комплексную оценку технического состояния не только каждой единицы оборудования и любых его группировок, но и электроэнергетического объекта в целом.

Для расчета показателя технического состояния электроэнергетического объекта используется соотношения вычисления средневзвешенного значения по всем составляющим:

$$J_{э.о.}(t) = \frac{\sum_{i=1}^I J_i(t)}{\sum_{i=1}^I w_i},$$

где $J_{э.о.}(t)$ – показатель технического состояния электроэнергетического объекта в момент времени t .

Таким образом, разработан интегрированный показатель оценки технического состояния производственных фондов электроэнергетических объектов, учитывающий важность каждого из контролируемых параметров актива, существенность их отклонений и значимость самого актива. Результатом расчета интегрированного показателя технического состояния $J(t)$ является определение степени тяжести состояния, как основного средства, так и электроэнергетического объекта в целом. Предложенная математическая модель может быть применена в системе поддержки принятия решений при планировании процесса обновления основных средств.

Литература:

1. Гаглоева И. Э., Добаев А. З. Применение систем автоматизации управления в интеллектуальных электроэнергетических сетях // Наука XXI века: новый подход: материалы II международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных 28 сентября 2012 года, г. Санкт-Петербург. – Петрозаводск: ПетроПресс, 2012. – С.8-12.

2. Гаглоева И.Э. К вопросу о разработке модели обработки информации о техническом состоянии оборудования для повышения эффективности процесса обновления производственных фондов электроэнергетических объектов // Trendy współczesnej nauki (29.08.2013 - 31.08.2013) - Gdańsk: Wydawca: Sp. zo.o. «Diamondtradingtour», 2013. -80 str. С.10-12.

3. Кумаритов А.М. Методы построения и функционирования информационной системы регионального рынка энергоресурсов // Аудит и финансовый анализ. Москва, 2007. Т. 5. С. 475-483.

4. Дебиев М.В. Алгоритм решения задачи оптимального распределения ресурсов энергоотрасли региона [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1783> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Шарапов Р.В. Аппаратные средства хранения больших объемов данных [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1371> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. №1715-р.

7. Бердников Р.Н. Политика инновационного развития и модернизации ОАО «ФСК ЕЭС» // Интернет ресурс, URL: <http://www.fsk-ees.ru> (Дата обращения: 22.10.2012).

8. The National Energy Technology Laboratory: A vision for the Modern Grid, March 2007. p. 162.

9. Smart Power Grids — Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology Portal, 2009. p. 68.

10. Бударгин О.М. Умная сеть – платформа развития инновационной экономики // Интернет ресурс, URL: <http://www.fsk-ees.ru> (Дата обращения: 07.09.2013).

11. Васильев В. И., Гусев Ю. М., Иванов А. И. Автоматический контроль и диагностика систем управления силовыми установками летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1989. 240 с.

12. Жернаков С.В., Ефанов В.Н., Иванова Н.С. Идентификация сложных систем управления в ортогональном базисе экспоненциального вида // Вестник УГАТУ. – Уфа: УГАТУ, 2010. – Т.14, № 2(37). С.128-135.