



ПЕТРОЧЕНКОВ

Антон Борисович

доцент,

кандидат технических наук
(Пермский национальный
исследовательский
политехнический
университет)

PETROCHENKOV

Anton Borisovich

Assoc. Prof., Candidate
of Engineering Sciences
(Perm national research
polytechnic university)

О подходах к оценке технического состояния электротехнических комплексов и систем*

А.Б. Петроченков

Рассмотрены вопросы оценки остаточных ресурсов электротехнических комплексов. Оценка технического состояния электротехнических комплексов и систем — важная задача, решение которой позволяет обнаружить на ранней стадии зарождающиеся дефекты и, тем самым, предотвратить аварийные ситуации, способные привести к серьезным негативным последствиям.

Ключевые слова: остаточный ресурс оборудования, прогнозирование состояния электротехнических комплексов.

On approaches to assess the technical state of electrical engineering complexes and systems*

A.B. Petrochenkov

The article considers the issues of evaluation of the electrical engineering complexes residual life. The assessment of the technical state of electrical engineering complexes and systems is an important task, which solution allows to detect incipient defects at an early stage and, thereby, to prevent emergency situations that could lead to serious negative consequences.

Keywords: equipment residual life, forecasting the state of electrical engineering complexes.

Рассматривая проблему использования информации о техническом состоянии электротехнических комплексов для принятия решений по ремонтным воздействиям, целесообразно выделить следующие уровни адекватности оценок [1]:

первый уровень — идентификация технического состояния по показателям надежности, т. е. по параметру потока отказов или интенсивности восстановлений;

второй уровень — идентификация технического состояния по вероятностным характеристикам дефектов и повреждений, выявленных в определенные моменты времени;

третий уровень — идентификация состояния по непрерывно контролируемым технологическим параметрам, характеризующим техническое состояние элементов оборудования.

*Работы по данному направлению ведутся в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (договор № 02.120.11.4435-МК).

Корректность принятия решения о введении того или иного регламента технического обслуживания и ремонта зависит от технического состояния оборудования. Регламент технического обслуживания и ремонта как система правил, определяющих технологию, средства, объем, методы и периодичность ремонтных воздействий зависит не только от технического состояния рассматриваемого оборудования. На него оказывает влияние структурная значимость данного оборудования в составе электро-технического комплекса и конкретные условия его функционирования (в том числе чисто ремонтного характера, например, оснащенность ремонтной базы, наличие ресурсов и др.).

Перечисленные выше три уровня идентификации технического состояния, по сути, являются тремя уровнями оценки функции надежности. Первый уровень соответствует нулевому приближению, когда априорная информация отсутствует. Описаны методы, позволяющие в процессе эксплуатации некоторого количества оборудования оценивать показатели надежности и соответственно ресурса (срока службы) оборудования с использованием метода квантильных оценок для определения параметров распределения вероятности [2]. Второй уровень соответствует случаю, когда задан априорный случайный процесс накопления повреждений данного типа. Третий уровень относится к случаю, когда прогноз осуществляется для каждой отдельно взятой реализации случайного процесса развития отказа. Использование того или иного уровня определяется необходимой точностью прогноза и наличием соответствующих технических средств, программного и информационного обеспечения.

Данная концепция составила методологическую основу разработанной системы информационной поддержки принятия решений по управлению техническим состоянием электро-технических комплексов и систем [3]. Предлагается гибридный подход к оценке состояния электротехнического оборудования, рисков его простоя и, соответственно, рисков недоотпуска технологической продукции.

Комплексная функция надежности может быть составлена из следующих компонент (исходя из соответствующего уровня информации):

- вероятность выхода из строя оборудования всей технологической цепочки (рассчитывается на основе экспоненциального подхода);
- оценка величин отклонения измеренных параметров (на основе среднеквадратичного критерия);
- вероятность выхода из строя электропривода целевого объекта (на основе экспоненциальной функции надежности);
- суммарная оценка субъективных рисков (на основе прямой шкалы оценок).

Оценка рисков для оборудования. В рамках рассматриваемых подходов к оценке остаточного ресурса будем считать, что риск — безразмерная величина, равная весовому среднеквадратичному отклонению значений упорядоченного набора изменяющихся во времени параметров оборудования.

Пусть, например, $x_1 \dots x_m$ — значения параметров, по которым определяется текущее состояние оборудования, $x_1^0 \dots x_m^0$ — оптимальные (допустимые, паспортные, выбранные в пределах нормы) значения. Тогда формула для вычисления риска имеет следующий вид [3]:

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^m k_i \left(\frac{(x_i - x_i^0)}{x_i^0} \right)^2}, \quad (1)$$

где k_i — весовые коэффициенты,

$$k_i = a_{m-i}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Для этих коэффициентов должно выполняться равенство

$$\sum_{i=1}^m k_i = 1. \quad (3)$$

Параметры a_m вычисляются по формуле

$$a_m = \alpha r_m^\gamma, \quad (4)$$

где γ — параметр настройки, учитывающий различные факторы. В качестве него можно использовать значение функции отклика.

Параметр α выбираем из условия

$$\sum_{i=1}^m a_m = 1 \quad (5)$$

по формуле

$$\alpha = \frac{1}{\sum_{i=1}^m r_i^\gamma}. \quad (6)$$

Для этого подхода ранги вычисляются следующим способом: для m параметров проставляются ранги в порядке возрастания — ранг самого важного параметра равен единице. Таким образом, получаем $r_1 \dots r_m$ — ранги для параметров, которые подставляем в формулу (6), затем полученное значение α подставляем в формулу (4) для каждого параметра от 1 до m . Далее полученные значения $a_1 \dots a_m$ подставляем в формулу (2), полученные значения $k_1 \dots k_m$ — в формулу (1). Таким образом, получаем численное значение, характеризующее риск отказа оборудования. Если проанализировать формулу (1), можно определить, что значения R лежат в диапазоне $[0; 1]$.

Экспертная оценка состояния оборудования. Каждому параметру эксперт ставит оценку от 0 до 1. Можно учесть для каждого параметра его вес. Веса также определяет эксперт. Таким образом, для m параметров, получаем оценки $w_1 \dots w_m$. При идеальном состоянии оборудования каждому параметру соответствует 1. Общую оценку состояния можно вычислить по формуле [4]

$$S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (1 - w_i).$$

Эта формула применима, когда все параметры для оценки состояния равнозначны, если же параметры не равнозначны, то формула имеет вид

$$S_v = \sum_{i=1}^m v_i (1 - w_i),$$

где v_i — заданные веса для параметров.

Значения S и S_v лежат в диапазоне $[0; 1]$.

Вероятностная оценка отказов. Этот метод оценки состояния применим, в основном, для линий электропередачи (ЛЭП) (в силу специфики протяженности и территориальной распределенности объекта).

Будем рассматривать ЛЭП как последовательность звеньев — линий и опор. Эксплуатационная характеристика (ЭХ) звена — приведенная безразмерная величина, учитывающая прочность проводов, временной фактор, эксплуатационные условия и т. д. Значение ЭХ идеальной (новой) ЛЭП принимается равным 1. Тогда функция распределения всей линии

$$F(x) = P(l < x),$$

где l — текущее значение ЭХ.

Смысл уравнения — функция распределения всей линии равна вероятности того, что текущее значение ЭХ меньше заданного x .

Значение для l выбирается из следующего условия:

$$l = \min\{l_1, l_2, \dots, l_n\},$$

где n — количество звеньев, из которых состоит линия.

В качестве закона вероятности выбираем экспоненциальный:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\alpha n(x-l)}; \\ 0, & x \leq l, \end{cases}$$

где α — параметр настройки, равный значению функции отклика той линии, ЭХ которой минимальна.

Будем предполагать, что для новой линии $l = 1$, тогда $F(x) = 0$, т. е. вероятность выхода из строя линии нулевая.

Текущее значение ЭХ для каждого звена

$$l_i = 1 - e^{-\gamma_i(1-S_i)^2}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Здесь γ — параметр настройки, учитывающий различные факторы. В качестве него можно использовать значение функции отклика; S — параметр, учитывающий время эксплуатации узла,

$$S = \frac{t}{t_m},$$

где t — текущее время эксплуатации узла; t_m — максимальный срок эксплуатации.

Прогнозирование состояния электротехнических комплексов. Для того чтобы спрогнозировать состояние электротехнического комплекса в последующие периоды времени, воспользуемся методами обработки экспериментальных данных. Пусть в результате измерений в процессе опыта получена таблица некоторой зависимости:

x	x_1	x_2	...	x_n
$F(x)$	y_1	y_2	...	y_n

В нашем случае $x_1...x_n$ — моменты времени, $y_1...y_n$ — значения функций, характеризующих риск (вероятность) отказа оборудования.

Необходимо найти формулу, выражающую эту зависимость аналитически. Такая постановка задачи соответствует постановке задачи интерполяции. По заданным табличным данным необходимо найти функцию заданного вида: $y = F(x)$, которая в точках x_i принимает значения, как можно более близкие к табличным значениям y_i .

Практически вид приближающей функции F можно определить следующим образом [5, 6]. Строится точечный график функции, заданной таблично, а затем проводится плавная кривая,

по возможности, наилучшим образом отражающая характер расположения точек. По полученной таким образом кривой устанавливается вид приближающей функции (обычно из числа простых по виду аналитических функций).

Для решения задачи наилучшего приближения выбирается критерий согласия, который является функцией невязки узловых точек и значениями аппроксимирующей функции $J = J(F(x_i) - y_i)$. Выбор наилучшей функции осуществляется по минимуму этого критерия.

Как правило, используют три наиболее широко распространенных критерия согласия: среднеквадратичный; минимаксный, или Чебышева; вероятностно-зональный [6].

Выбор точности приближения осуществляется, исходя из условий задачи и выбранного критерия.

Анализ результатов моделирования приближающих функций для основного электроэнергетического оборудования (для уровня надежности $x = 0,9$) показал:

- для воздушных и кабельных ЛЭП наименьшая ошибка приближения соответствует гиперболической функции;

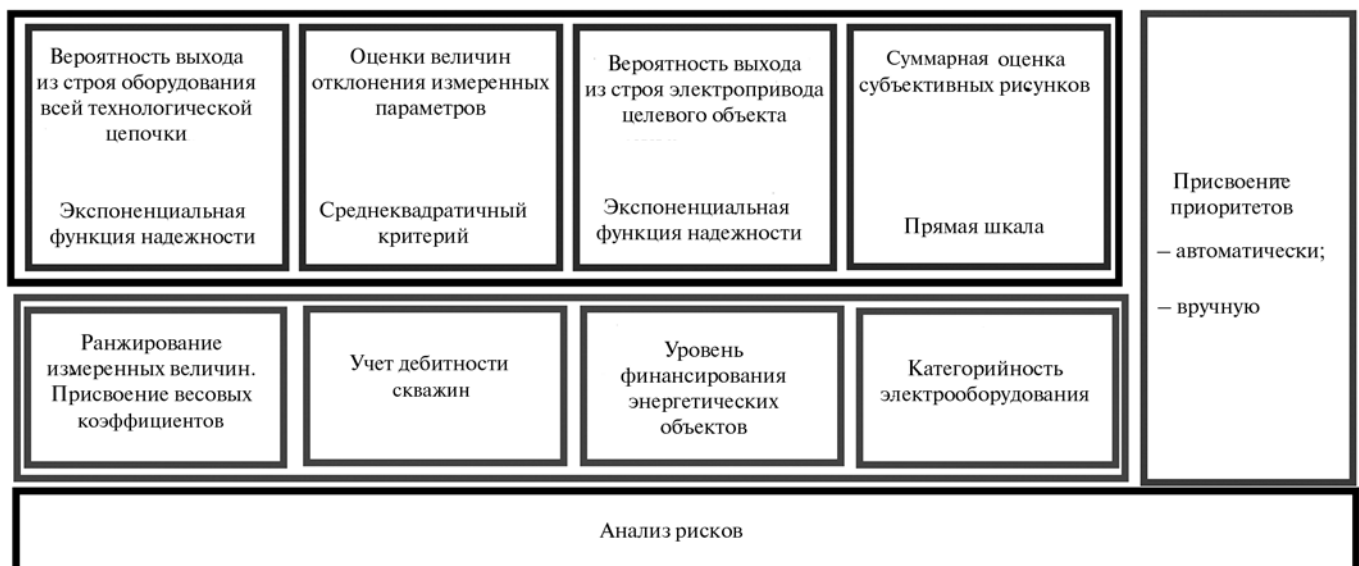


Иллюстрация гибридного подхода к оценке состояния электротехнического оборудования ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»

- для комплектных трансформаторных подстанций наименьшая ошибка приближения соответствует линейной функции;

- для двигателей переменного тока наименьшая ошибка приближения соответствует логарифмической функции.

Говоря о том, что ранжирование измеренных величин и присвоение весовых коэффициентов происходит в зависимости от уровня адекватности оценок, в качестве примера можно привести вариант реализации автоматизированной системы информационной поддержки технического состояния электротехнического оборудования на предприятии ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь».

В данном случае учитываются следующие основные факторы

- учет дебитности скважин;
- уровень финансирования энергетических объектов;
- категоричность электрооборудования.

В информационно-аналитической среде предусмотрен учет и других критериев, необходимых пользователю. Присвоение приоритетов может производиться как автоматически, так и вручную.

Данный подход иллюстрирует рисунок.

Литература

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / Под общей ред. Ю. Н. Руденко и В. А. Семёнова. М.: Издательство МЭИ, 2000. 648 с.
2. Буханов С.А., Овсянников М.В. Оценка ресурса оборудования на основании статистических данных мониторинга его использования и многократно цензурированных выборок // Известия высших учебных заведений. Машинострое-

ние. 2012. Спец. выпуск: Эффективные методы автоматизации подготовки и планирования производства. С. 60–66.

3. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. 2010. № 6. С. 49–54.

4. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М.: Металлургия, 1969. 157 с.

5. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. 224 с.

6. Петроченков А.Б. Задачи анализа при расчете надежности и планировании электрических режимов систем электроснабжения // Информационные управляющие системы: Сб. науч. тр. / Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2003. С. 278–285.

References

1. *Avtomatizatsiia dispetcherskogo upravleniia v elektroenergetike* [Automation of dispatching control in the electric power industry]. Pod obshchei red. Iu. N. Rudenko i V. A. Semenova. Moscow, MPEI Publ., 2000. 648 p.

2. Bukhanov S.A., Ovsianikov M.V. Otsenka resursa oborudovaniia na osnovanii statisticheskikh dannykh monitoringa ego ispol'zovaniia i mnogokratno tsenzurirovannykh vyborok [Estimation of equipment lifetime based on monitoring statistical data of its operation and repeatedly censored samples]. *Izvestiia vysshih uchebnykh zavedenii. Mashinostroyeniye*, 2012. Effektivnye metody avtomatizatsii podgotovki i planirovaniia proizvodstva. Spetsial'nyi vypusk. pp. 60–66.

3. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Energooptimizator» [Complex «Energooptimizer»]. *Elektrotehnika*, 2010, no. 6. pp. 49–54.

4. Adler Iu.P. *Vvedenie v planirovanie eksperimenta* [Introduction to experimental design]. Moscow, Metallurgy Publ., 1969. 157 p.

5. Guk Iu.B. *Analiz nadezhnosti elektroenergeticheskikh ustanovok* [Reliability analysis of power installations]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1988. 224 p.

6. Petrochenkov A.B. *Zadachi analiza pri raschete nadezhnosti i planirovaniia elektricheskikh rezhimov sistem elektrosnabzheniia* [Analysis problem in the calculation of reliability and planning of electric modes of power supply systems]. *Informatsionnye upravliaiushchie system: sbornik nauchnykh trudov* [Information management systems: collection of scientific works]. Permian, PSTU Publ., 2003, pp. 278–285.

Статья поступила в редакцию 02.10.2012

Информация об авторе

ПЕТРОЧЕНКОВ Антон Борисович (Пермь) — доцент, кандидат технических наук, зав. кафедрой «Микропроцессорные средства автоматизации». Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, Пермский край, г. Пермь – ГСП, Комсомольский проспект, д. 29, e-mail: mvo50@mail.ru).

Information about the author

PETROCHENKOV Anton Borisovich (Perm) — Assoc. Prof., Candidate of Engineering Sciences, Head of Department «Microprocessor-Based Facilities of Automation». Perm National Research Polytechnic University (Perm, Komsomolsky Av. 29, 614990, Russia, e-mail: mvo50@mail.ru).