

УДК 681.3:681.5

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОМОНИТОРИНГА

Хорошев Н.И., Елтышев Д.К., Кычкин А.В.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
Пермь, e-mail: horoshevni@mail.ru

В статье рассмотрен подход к формированию комплексной оценки, позволяющей осуществить эффективный выбор технических средств для мониторинга параметров, характеризующих энергетическое состояние исследуемых объектов генерации, потребления и распределения топливно-энергетических ресурсов. Приведена модульная структура системы удаленного энергомониторинга объектов, которая позволяет обеспечить оперативный и достоверный сбор и передачу измерительной информации, в том числе в режиме реального времени. Предложена методика оценки эффективности выбора технических решений для построения системы энергомониторинга на основе комплексного критерия, имеющего иерархическую структуру и учитывающего значимость рассматриваемых технических параметров. В качестве примера на основе методики произведена оценка эффективности каналов образующих устройств по критериям максимальной скорости и дальности связи, позволившая выбрать наилучший вариант из рассматриваемых альтернатив.

Ключевые слова: энергомониторинг, энергетический объект, комплексный критерий, декомпозиция, агрегирование

ENERGYMONITORING HARDWARE COMPLEX EVALUATION

Khoroshev N.I., Eltyshv D.K., Kychkin A.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: horoshevni@mail.ru

This article presents the approach to forming of complex evaluation allows for effective choice of hardware for monitoring the parameters characterizing the energy state of the energy resources generation, distribution and consumption objects. The modular structure of the objects remote energy monitoring system is shown. This structure provides rapid and reliable collection and transmission of measurement data including real-time. A method which allows to evaluate the effectiveness of choice of technical solutions using for energy monitoring system development are suggested. The method based on complex criteria, having a hierarchical structure and taking into account the considered technical parameters importance. As an example of using the method the channelization devices effectiveness evaluation on the criteria of maximum speed and range of communication was performed. As a result it helped to choose the best option from the alternatives.

Keywords: energy monitoring, energy object, complex criteria, decomposition, aggregation

Высокая энергоемкость на производстве, транспорте, в строительстве и других сферах деятельности человека в сочетании с политикой сокращения рисков нанесения вреда здоровью персонала и окружающей среде обуславливает необходимость сбора, передачи и обработки информации по ключевым показателям, характеризующим энергетическое состояние объектов генерации, распределения и потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) [6, 7]. По этой причине одной из основных целей создания эффективной системы энергомониторинга (СЭ) является разработка и совершенствование структур программных и аппаратных средств, предоставляющих возможность оперативного учета и долгосрочной регистрации различных категорий параметров и способствующих накоплению и анализу информации о состоянии энергетических объектов (ЭО) [6].

Для повышения достоверности и оперативности получения данных об энергетических показателях и достижения эффективности функционирования СЭ в целом необходим тщательный выбор технических средств, образующих структуру системы,

на основе комплексного критериального анализа их эффективности.

Структура системы удаленного энергомониторинга

С учетом известных решений в области создания современных распределенных систем сбора и обработки данных о состоянии объектов энергетики [3–6] предлагается следующая структура СЭ (рис. 1).

Система с предложенной структурой обеспечивает беспроводную связь ЭО с базовой станцией (БС), снабженной устройством синхронизации и сбора данных (УСД). Количество функционирующих ЭО, подключаемых к БС, может быть произвольным числом в пределах максимально допустимого количества, определяемого протоколом передачи данных по измерительному каналу [4, 5]. Повышение масштабируемости группы ЭО достигается использованием беспроводной связи между БС и подсистемой локального мониторинга, обеспечивающей хранение данных в БД и их предоставление оператору. Число БС может быть также произвольным и определяется протоколом передачи данных

локальной беспроводной сети дальней связи с пакетной передачей сообщений [4, 5]. Наборы локальных систем объединяются единым центром – подсистемой глобального энергомониторинга. Сбор данных производится с помощью развернутой на

территории телекоммуникационной инфраструктуры с применением оптической, спутниковой и других видов связи. При этом взаимодействие сервисов диспетчерского центра производится по интеграционной шине [4].

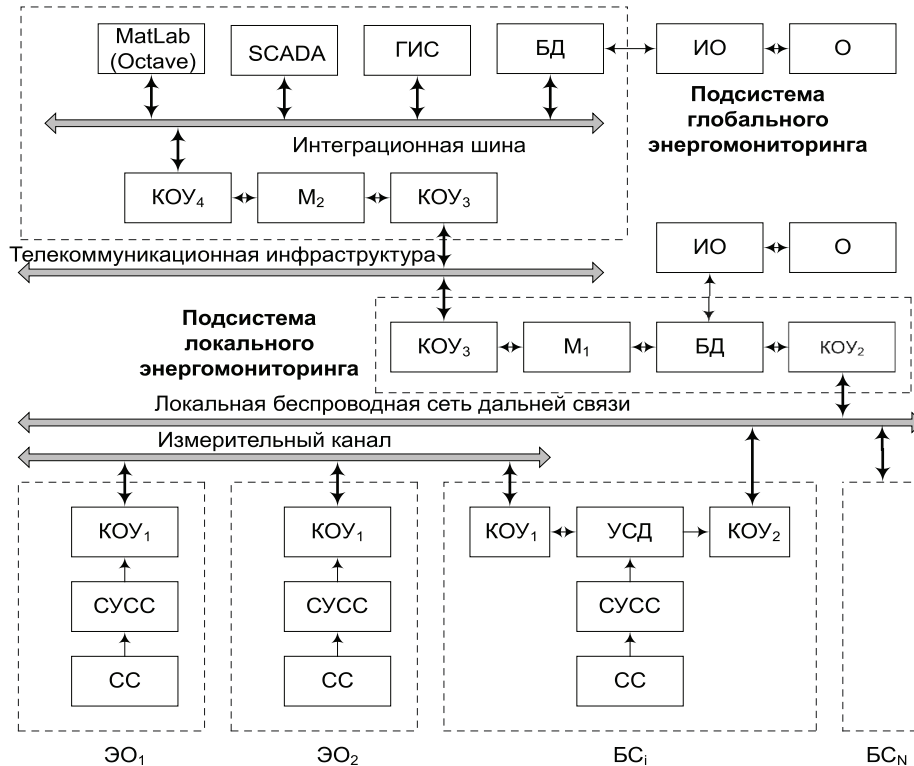


Рис. 1. Структура системы удаленного мониторинга энергетических объектов:
 КОУ – каналообразующее устройство; М – маршрутизатор; ИО – интерфейс оператора;
 О – оператор; ГИС – геоинформационная система; БД – база данных; СС – сенсорная сеть;
 СУСС – система управления сенсорной сетью; ЭО – энергетический объект

Комплексная оценка системы энергомониторинга

Принимая во внимание значительное число компонент предлагаемой структуры СЭ, для комплексной оценки ее эффективности следует учитывать существенное количество наиболее информативных и специализированных критериев. С этой целью рационально использовать принципы декомпозиции и агрегирования [1, 9], которые подразумевают построение иерархии взаимосвязанных частных (локальных) критериев и осуществление свертки на различных ее уровнях с учетом относительной важности критериев [2, 9].

Для оценки эффективности средств энергомониторинга будем использовать вектор локальных критериев $K = (k_1, \dots, k_p, \dots, k_n)$, где k_i – значение i -го локального критерия. Значение комплексного (глобального) критерия $f(K)$, характеризующее эффективность

исследуемой системы, определяется в соответствии с принципами, обозначенными в табл. 1 [2, 10], где α_i определяет степень относительной важности i -го критерия [2, 10].

С учетом требований к надежности СЭ выбор критерия комплексной оценки эффективности функционирования ее структурных компонент обусловлен необходимостью получения «гарантированных оценок» [4, 8]. Поэтому в качестве комплексного будем использовать критерий $f_1(K)$ табл. 1, который представляет собой пошаговую процедуру агрегирования оценок (по локальным критериям) и позволяет при расчетах получить объективное соотношение «значение критерия» – «вес критерия» без нормализации величин, входящих в состав критерия (табл. 2).

Иерархия комплексных оценок для системы энергомониторинга строится с учетом группировки критериев по парам (рис. 2).

Таблица 1

Способы построения комплексных критериев

№ п/п	Название принципа агрегирования	Аналитическое выражение
1	Аддитивная свертка	$f_1(K) = \sum k_i \alpha_i$
2	Мультипликативная свертка	$f_2(K) = \prod (k_i)^{\alpha_i}$
3	Равномерная оценка локальных критериев	$f_3(K) = \min((k_i)^{\alpha_i})$
4	Принцип пессимизма-оптимизма Гурвица	$f_4(K) = \alpha_i \min(k_i) - (1 + \alpha_i) \max(k_i)$
5	Оценка по наиболее важному критерию	$f_5(K) = \max(k_i)^{\alpha_i}$

Таблица 2

Критерии оценки структурных компонент системы энергомониторинга

№ п/п	Характеристика	Обозначение
1	Общее число измеряемых параметров	ИП
2	Количество БС	КБ
3	Количество функционирующих ЭО	КФ
4	Объем БД	БД
5	Погрешность измерений сигналов	П
6	Диапазон работы СС	Д
7	Скорость передачи данных по измерительному каналу	СПИК
8	Дальность связи измерительного канала	ДСИК
9	Частота синхронизации и опроса функционирующих ЭО с помощью УСД БС	ЧСФ
10	Скорость передачи данных по локальной беспроводной сети дальней связи	СЛС
11	Дальность связи локальной беспроводной сети	ДЛС
12	Частота синхронизации и опроса БС	ЧСБ
13	Стоимость	С
14	Наработка на отказ	О
15	Габариты оборудования, устанавливаемого на ЭО (СС, СУСС, КОУ, УСД)	Г
16	Вес оборудования, устанавливаемого на ЭО (СС, СУСС, КОУ, УСД)	В

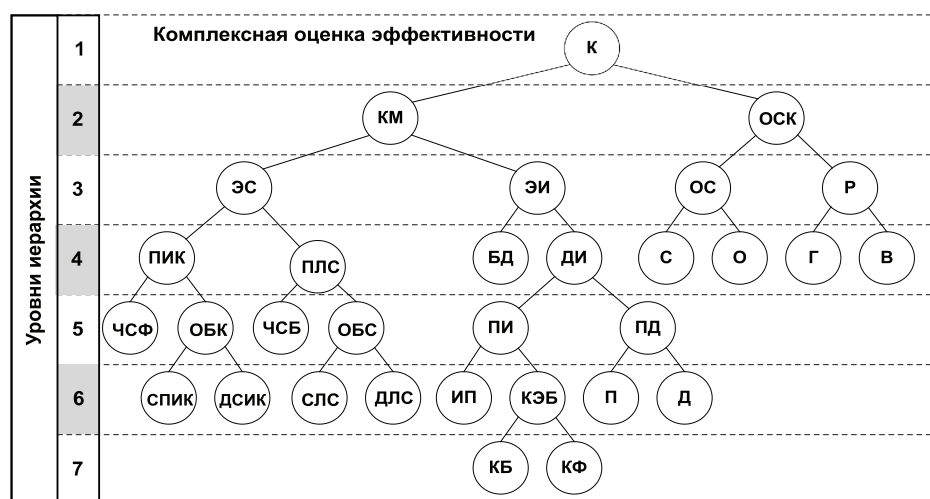


Рис. 2. Структура комплексного критерия оценки эффективности СЭ:
 КЭБ – количество ЭО и БС сбора данных; ПД – погрешность в диапазоне; ПИ – полнота информации; ОБС – относительное быстродействие локальной сети; ОБК – относительное быстродействие измерительного канала; ДИ – достоверность информации;
 ПЛС – производительность локальной сети; ПИК – производительность измерительного канала реального времени; Р – размер; ОС – относительная стоимость; ЭИ – эффективность информационного обеспечения; ЭС – эффективность сетевого обеспечения; ОСК – относительная стоимость конструктивного решения; КМ – качество мониторинга группы ЭО; К – комплексный критерий

Оценка эффективности технических средств (компонент СЭ) осуществляется на основе парных сравнений по значениям показателей табл. 2:

$$A^k = \{a_{ij}\} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где A^k – матрица сравнений альтернатив по k -му критерию; $a_{ij} = a_i/a_j$ – оценки преимущества i -й альтернативы над j -й; a_i, a_j – значения k -го критерия для i -й и j -й альтернатив.

Вектор приоритетов альтернатив $p^k = (p_1, p_2, \dots, p_m)$ вычисляется в соответствии с принципом среднего геометрического взвешивания [9]:

$$p_i^k = \frac{\sqrt[m]{a_{i1} \times a_{i2} \times \cdots \times a_{im}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt[m]{a_{i1} \times a_{i2} \times \cdots \times a_{im}}}, \quad (2)$$

где p_i^k – оценка значимости i -й альтернативы по k -му критерию; a_{ij} – элемент МПС.

Веса критериев оцениваются с использованием МПС для каждой пары локальных критериев с последующим вычислением

$$КЭ = \varphi_1(КБ, КФ); \quad ОБК = \varphi_2(СПИК, ДСИК); \quad ОБС = \varphi_3(СЛС, ДЛС);$$

$$ПИ = \varphi_4(ИП, \varphi_1(КБ, КФ)); \quad ПД = \varphi_5(П, Д); \quad ПИК = \varphi_6(ЧСФ, \varphi_2(СПИК, ДСИК));$$

$$ПЛС = \varphi_7(ЧСБ, \varphi_3(СЛС, ДЛС)); \quad ДИ = \varphi_8(\varphi_4(ИП, \varphi_1(КБ, КФ)), \varphi_5(П, Д)) \text{ и т.д.}$$

Таким образом, комплексный критерий эффективности K примет вид:

$$K = \varphi_{15}(\varphi_{13}(\varphi_9(\varphi_6(ЧСФ, \varphi_2(СПИК, ДСИК)), \varphi_7(ЧСБ, \varphi_3(СЛС, ДЛС))),$$

$$\varphi_{10}(БД, \varphi_8(\varphi_4(ИП, \varphi_1(КБ, КФ)), \varphi_5(П, Д))), \varphi_{14}(\varphi_{11}(С, О), \varphi_{12}(Г, В))),$$

где $\varphi_{1..15}$ – функция свертки пары критериев, результатом которой является числовая оценка в некоторой шкале, что упрощает процесс построения комплексного критерия K .

Алгоритм оценивания продемонстрируем на примере свертки критериев скорости передачи данных (СПИК) и дальности связи измерительного канала (ДСИК). Изначально на основе данных о характеристиках КОУ (табл. 3), реализующих измерительный канал (рис. 1), составляются МПС

вектора приоритетов. Учитывая предложенную структуру комплексного критерия, МПС имеют следующий вид:

$$k^l = \{k_{ij}\} = \begin{pmatrix} 1 & k_{12} \\ k_{21} & 1 \end{pmatrix},$$

где k^l – матрица сравнений для l -й группы критериев; элементы k_{ij} – оценки преимущества i -го критерия над j -м, формируемые экспертом в соответствии со шкалой Саати [9].

Вектор приоритетов (весов) критериев $q^k = (\alpha_1, \alpha_2)$ вычисляется по принципу (2), а итоговые оценки эффективности – с использованием аддитивного принципа свертки S :

$$\alpha_i = \frac{\sqrt{a_{i1} \times a_{i2}}}{\sum_{i=1}^2 \sqrt{a_{i1} \times a_{i2}}}, \quad (3)$$

$$S_i = \sum_{k=1}^n p_i^k \times \alpha_k, \quad (4)$$

где S_i – оценка эффективности i -го альтернативного варианта реализации СЭ.

В соответствии с рис. 2, структура взаимосвязей между компонентами комплексного критерия эффективности K может быть представлена аналитически следующим образом:

(табл. 4, 5). При заполнении табл. 5 использованы экспертные оценки по шкале [9].

Таблица 3

Исходные данные для формирования МПС по оценке ОБК

Критерии оценки	Альтернативы		
	A ₁	A ₂	A ₃
ДСИК, м	10	100	1000
СПИК, Кб/с	500	200	1000

Таблица 4

Сравнение альтернатив по критериям ДСИК и СПИК

Альтернатива	Критерий ДСИК			Альтернатива	Критерий СПИК		
	A ₁	A ₂	A ₃		A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	1	0,1	0,01	A ₁	1	2,5	0,5
A ₂	10	1	0,1	A ₂	0,4	1	0,2
A ₃	100	10	1	A ₃	2	5	1

Таблица 5
Оценка важности критериев ДСИК
и СПИК

ОБК	ДСИК	СПИК
ДСИК	1	1/3
СПИК	3	1

Результаты расчета эффективности альтернатив по комплексному критерию ОБК согласно формулам (1)–(4) сведены в табл. 6.

Таблица 6
Таблица расчета эффективности
технического обеспечения
энергомониторинга

Оценки эффективности по критерию ОБК	Альтернативы		
	A ₁	A ₂	A ₃
Локальные оценки по критерию: – ДСИК – СПИК	0,009 0,294	0,090 0,118	0,901 0,588
Глобальные оценки	0,223	0,111	0,666

Примечание. Веса критериев ДСИК и СПИК в соответствии с табл. 5 равны 0,25 и 0,75.

Таким образом, КОУ с низкими характеристиками по скорости и дальности связи имеют самый низкий рейтинг. Очевидно, что приоритетным в этом случае является КОУ с лучшими характеристиками.

Заключение

Использование предложенного подхода к построению системы удаленного энергомониторинга позволяет обеспечить оперативность и достоверность информации о состоянии ЭО. Это достигается за счет модульности системы (рис. 1), использования независимых сенсорных сетей и единого устройства сбора данных (упрощает процессы диспетчерского управления группами ЭО), комплексной критериальной оценки эффективности выбора структурных компонент (технических средств) СЭ.

Список литературы

1. Андронникова Н.Г., Бурков В.Н., Леонтьев С.В. Комплексное оценивание в задачах регионального управления. – М.: ИПУРАН, 2002. – 58 с.
2. Бочкарев С.В., Елтышев Д.К. Методика принятия оптимальных решений при ремонте высоковольтного электро-технического оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 142–146.
3. Кычкин А.В. Интеллектуальная информационно-диагностическая система для исследований кровеносных сосудов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2013. – № 3. – С. 114–123.
4. Кычкин А.В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе бес-

проводных датчиков // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 1. – С. 15–20.

5. Кычкин А.В., Бакунов Р.Р., Мехоношин А.С. Оценка возможности работы подвижной сенсорной сети АСУТП в режиме реального времени // Датчики и системы. – 2012. – № 7. – С. 8–13.

6. Кычкин А.В., Хорошев Н.И., Елтышев Д.К. Концепция автоматизированной информационной системы поддержки энергетического менеджмента // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 12–17.

7. Петроченков А.Б. Управление электротехническими комплексами на основных этапах жизненного цикла // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – № 121. – С. 219–224.

8. Рациональное управление потреблением энергии с помощью информационной системы энергоменеджмента MY JEVIS / Р.А. Файзрахманов, Т. Франк, А.В. Кычкин, А.Б. Федоров // Электротехника. – 2011. – № 11. – С. 35–40.

9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

10. Хорошев Н.И., Казанцев В.П. Применение правил нечеткой логики при эксплуатации электротехнического оборудования // Электротехника. – 2011. – № 11. – С. 59–64.

References

1. Andronnikova N.G., Burkov V.N., Leont'ev S.V. *Kompleksnoe ocenivanie v zadachah regional'nogo upravleniya* [Complex estimation in problems of regional management]. Moscow, V.A. Trapeznikov institute of control sciences of Russian Academy of Sciences, 2002, 58 p.
2. Bockharev S.V., Eltyshv D.K. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja – Scientific and technical gazette of the Volga region*, 2012, no. 6, pp. 142–146.
3. Kychkin A.V. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control system*, 2013, no. 3, pp. 114–123.
4. Kychkin A.V. *Avtomatizacija i sovremennye tehnologii – Automation and modern technology*, 2009, no. 1, pp. 15–20.
5. Kychkin A.V., Bakunov R.R., Mehonoshin A.S. *Datchiki i sistemy – Sensors & Systems*, 2012, no. 7, pp. 8–13.
6. Kychkin A.V., Khoroshev N.I., Eltyshv D.K. *Jenergobezopasnost' i jenergosberezhenie – Science and practice in energetic*, 2013, no. 5, pp. 12–17.
7. Petrochenkov A.B. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU – Scientific and technical gazette of SPbGPU*, 2011, no. 121, pp. 219–224.
8. Fajzrahmanov R.A., Frank T., Kychkin A.V., Fedorov A.B. *Jeletrotehnika – Electrical engineering*, 2011, no. 11, pp. 35–40.
9. Saati T. *Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij* [Decision making. The Analytic Hierarchy Process]. Moscow, Radio and communications, 1993, 320 p.
10. Khoroshev N.I., Kazancev V.P. *Jeletrotehnika – Electrical engineering*, 2011, no. 11, pp. 59–64.

Рецензенты:

Бочкарев С.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Щербинин А.Г., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Конструирование и технологии в электротехнике», ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 21.03.2014.