

УДК 007:681.518.2

Структурное проектирование информационно-технологической подсистемы многоцелевой оптимизации управления качеством электроснабжения

В.И. Пантелеев, Л.Ф. Поддубных

*Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 6.05.2009, received in revised form 27.05.2009, accepted 17.06.2009

В статье рассматривается системная модель структурного проектирования информационно-технологической подсистемы управления качеством электроснабжения в составе технологической автоматизированной системы управления электроэнергетической системой (АСУ ЭЭС).

Ключевые слова: многоцелевая оптимизация, управление качеством, качество электроснабжения, электромагнитная совместимость, динамическое состояние, автоматизированная система управления электроэнергетической системой (АСУ ЭЭС), автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ), автоматизированная система управления качеством электроэнергии (АСУ КЭ), автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), объект управления (ОУ), оперативный операционно-управляющий комплекс (ОИУК), универсальный решатель системных задач (УРСЗ), компенсация реактивной мощности (КРМ).

Стратегическим направлением развития электроэнергетики России, сформулированным в «Основных направлениях реформирования электроэнергетики Российской Федерации», определено создание эффективной системы управления функционированием и планированием развития энергосистем, объединённых энергосистем и ЕЭС России, включая управление на рынке мощности и энергии [1].

Проблема управления качеством электроснабжения (УКЭС) рассматривается в мировой практике в составе понятия «качество электроснабжения» (“power quality”), объединяющего в себе две обширные проблемы обеспечения электромагнитной совместимости и бесперебойности (надёжности) электроснабжения [2]. Комплексному решению проблемы УКЭС способствует развитие новых информационных технологий принятия решений и их синтез в существующие или вновь создаваемые технологические подсистемы АСУ ЭЭС (АСДУ, АСУ КЭ, АСКУЭ и др.) [3-5].

Формулируется задача структурного проектирования подсистемы многоцелевой оптимизации (МО) УКЭС в составе АСДУ ЭЭС в следующем виде [6]. Для заданного объекта управ-

* Corresponding author E-mail address: pvi0808@rambler.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

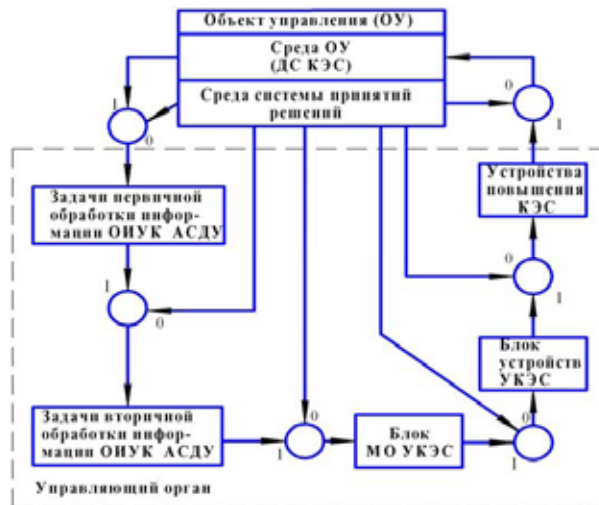


Рис. 1. Подсистема МО УКЭС

ления (ОУ) и среды его функционирования, определяемой динамическим состоянием качества электроснабжения (ДС КЭС), спроектировать на базе типового комплекса задач ОИУК АСДУ управляющий орган принятия решений МО УКЭС, обеспечивающий с помощью среды принятия решений алгоритмический учёт основного комплекса кибернетических свойств ОУ. Управляющий орган принятия решений в составе технологической АСУ ЭЭС вместе с ОУ образуют сложный системный объект количественного и качественного исследования – информационно-технологическую подсистему МО УКЭС (рис.1).

Проектирование подсистемы МО УКЭС производится на основе структуралистского системного подхода по Дж. Клиру с использованием архитектуры экспертной системы, представленной универсальным решателем системных задач (УРСЗ) [7]. Выделенная подсистема рассматривается в ортогональной системе координат двух фундаментальных критериев различия:

- а) подсистема базируется на определенных типах элементов;
- б) подсистема базируется на определенных типах отношений.

В соответствии с критерием а) элементами подсистемы назначаются типовые блоки комплексов задач ОИУК АСДУ (сбор, хранение, передача, обработка информации; контроль, анализ состояния и режимов работы ЭЭС и др.), укрупненно сформулированные как задачи первичной и вторичной обработки информации АСДУ [8]. Критерий б) характеризуется типами отношений между элементами подсистемы, выраженными через проявления в них комплекса кибернетических свойств ОУ.

Применительно к подсистеме МО УКЭС направленная алгоритмическая последовательность комплексов задач ОИУК АСДУ представляется в виде множества элементов B_j баз объекта ν_j : ν_1 – задачи сбора и первичной обработки информации МО УКЭС; ν_2 – задачи учёта, контроля состояния и неэкстремального анализа режимов КЭС; ν_3 – задачи формирования критериев и целевых условий оптимизации; ν_4 – задачи расчётов компромиссных параметров МО УКЭС; ν_5 – задачи расчётов прогнозных компромиссных параметров МО УКЭС; ν_6 – задачи расчётов межсистемных компромиссных параметров МО УКЭС; ν_7 – за-

дачи оценки эффективности компромиссного УКЭС. Отношения элементов подсистемы МО УКЭС в управляющем органе принятия решений характеризуются множествами алгоритмических проявлений A_i учитываемых свойств ОУ a_i , которые генерируются средой системы принятия решений (рис.1): a_1 – управляемость; a_2 – динамичность; a_3 – иерархичность; a_4 – неопределённость; a_5 – многокритериальность; a_6 – адаптивность; a_7 – устойчивость; a_8 – экономическая эффективность.

Моделирование подсистемы МО УКЭС для заданных элементов и их свойств производится по уровням эпистемологической иерархии:

- уровень 0 – исходная система;
- уровень 1 – система данных;
- уровень 2 – порождающая система;
- уровень 3 – структурированная система.

Уровни эпистемологической иерархии отличаются друг от друга уровнем знаний по отношению к переменным, представляющим исследуемую исходную систему. В системах более высоких эпистемологических уровней используются все знания соответствующих систем более низких уровней иерархии, а также содержатся дополнительные знания, ранее недоступные более низким уровням иерархии.

Исходная система является источником эмпирических данных, т.е. источником описания на языке УРСЗ абстрактных представлений об объекте. Она служит также источником интерпретации абстрактных данных, которые определяются пользователем или выводятся с помощью УРСЗ.

Уравнение исходной системы записывается в виде

$$S = (O, \dot{I}, I, Q, \zeta), \quad (1)$$

где O, \dot{I}, I – уравнения примитивных систем:

O – уравнение системы объекта

$$O = (\{a_i, A_i | i \in Nn\}, \{g_j, B_j | j \in Nm\}); \quad (2)$$

\dot{I} – уравнение конкретной представляющей системы

$$\dot{I} = (\{\dot{v}_i, \dot{V}_i | i \in Nn\}, \{\dot{w}_j, \dot{W}_j | j \in Nm\}); \quad (3)$$

I – уравнение общей представляющей системы

$$I = (\{v_i, V_i | i \in Nn\}, \{w_j, W_j | j \in Nm\}); \quad (4)$$

Q, ζ – уравнения отношений между примитивными системами (2) - (4):

$$Q = \left\{ A_i, \dot{V}_i, o_i | i \in Nn, o_i : A_i \rightarrow \dot{V}_i \right\},$$

$$\left\{ B_j, \dot{W}_j, \omega_j | j \in Nm, \omega_j : B_j \rightarrow \dot{W}_j \right\}; \quad (5)$$

$$\zeta = \left\{ \dot{V}_i, V_i, e_i | i \in Nn, e_i : V_i \rightarrow \dot{V}_i \right\},$$

Таблица 1. Нейтральная система данных свойства a_i

Свойства a_i	Переменные v_i	Множества V_i	Базы e_j						
			e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7
			Параметры w_j множества W_j						
			0	1	2	3	4	5	6
0	1	0	0	0	0	0	0		
1	0	1	0	0	0	0	0		
2	0	1	1	1	0	0	1		
3	1	0	1	0	1	0	1		
4	1	0	1	0	0	1	1		
5	0	0	0	1	1	1	0		
6	0	0	0	1	1	1	0		
7	0	0	1	1	0	0	0		
8	0	0	0	0	1	1	0		

$$\{\dot{W}_j, W_j, \varepsilon_j | j \in Nm, \varepsilon_j: W_j \rightarrow \dot{W}_j\}. \tag{6}$$

Уравнение (1) отражает семантические аспекты исходной системы. С абстрагированием связаны функции $o_i, \omega_j, e_i^{-1}: \dot{V}_i \rightarrow V_i, \zeta^{-1}: \dot{W}_j \rightarrow W_j$. Конкретизация характеризуется функциями e_i, ζ_j и разбиениями $o_i^{-1} = A_i / o_i, \omega_j^{-1} = B_j / \omega_j$. Прагматические аспекты уравнения исходной системы вводятся на дометодологическом уровне формулирования цели исследования и ограничений на определённые действия.

Упрощение операций с уравнениями примитивных систем O, I, I достигается тем, что свойствам $a_i (i \in Nm)$ соответствуют переменные \dot{v}_i, v_i а базам $e_j (j \in Nm)$ соответствуют параметры \dot{w}_j, w_j . Принимается также, что чёткий полный канал наблюдения Q между системой объекта и общей представляющей системой состоит из отдельных каналов наблюдения, по одному для каждого свойства a_i и базы e_j .

Уравнение (1) описывает нейтральную систему данных с семантикой ${}^sD = (S, d)$, где $d: W \rightarrow V$. Система данных для канала наблюдения свойства a_i подсистемы МО УКЭС представлена в табл. 1.

Преобразование нейтральной системы S в направленный аналог \hat{S} производится после введения понятий среды системы, входных и выходных переменных, удовлетворяющих утверждению “если x , то y ”. Направленная система с поведением представляется в виде уравнения

$$F_{iB} = (I_i, M_i, f_{iB}), \tag{7}$$

где M_i – маска свойства a_i ; f_{iB} – функция поведения.

С помощью функции поведения $f_{iB}: C_{ij} \rightarrow \{0,1\}$ задаётся параметрически инвариантное ограничение на множество переменных v_i уравнения общей представляющей системы (4).

Система с поведением (7) может принять порождающий характер через представление маски M_i в порождающую маску направленной системы в виде

$$\hat{M}_{iG} = (M_i, M_{ie}, M_{ig}, \underline{M}_{ig}), \tag{8}$$

где M_{ie} – подмаска, определяющая среду системы; M_{ig} – подмаска порождаемых переменных; \underline{M}_{ig} – подмаска порождающих переменных.

Направленная система с поведением (7) преобразуется в порождающую направленную систему с поведением

$$\hat{F}_{iGB} = (\hat{I}, \hat{M}_{iG}, \hat{f}_{iGB}), \quad (9)$$

где $\hat{f}_{iGB} : E_i \cdot \overline{G_i} \cdot G_i \rightarrow [0, 1]$ – порождающая функция поведения, соответствующая структуре маски \hat{M}_{iG} .

Нормализованное значение порождаемой нечёткости направленной системы с поведением, генерируемой заданной средой системы и порождающими переменными определяется по формуле

$$H_i^H(G_i | E_i \cdot \overline{G_i}) = \frac{H_i(C_{ij}) - H_i(E_i \cdot \overline{G_i})}{\log_2(G_i)}. \quad (10)$$

Здесь H_i – показатель нечёткости направленной системы с поведением, выраженный через вероятностное представление функции поведения порождающих и порождаемых нечётких данных.

$$f_{iB}^H(C_{ij}) = \frac{N_{ij}(C_{ij})}{\sum_{\alpha_{ij} \in C_{ij}} N_{ij}(C_{ij})}, \quad (11)$$

где C_{ij} – подмножества состояний переменных.

Практические расчёты показали, что наименьшей порождаемой нечётностью обладает структура моделируемой подсистемы МО УКЭС, представленная свойством многокритериальности (α_5) как наиболее структурно разработанная ($H_5^H(G_5 | E_5 \cdot \overline{G_5}) = 0,29$).

Описание подсистемы МО УКЭС ST-функциями учёта отдельных свойств a_i удовлетворяет целевым критериям структурной оптимизации с заданными структурными ограничениями. В этом случае проектируемая подсистема МО УКЭС рассматривается как обобщённая система с поведением. Взаимоотношения между обобщённой системой и разными множествами её подсистем (ST-функциями) сводятся к задаче идентификации вариантов множества подсистем по некоторому показателю, характерному только для этой обобщённой системы. Задача идентификации вариантов подсистем, вытекающая из условия непротиворечивости обобщённой системы МО УКЭС, решается в два этапа:

1) формируется реконструктивное семейство в виде множества всех структурированных подсистем;

2) производится выбор из реконструктивного семейства такой подсистемы, которая задаёт в определённом смысле лучшую гипотезу относительно реальной обобщённой системы с поведением.

Размер реконструктивного семейства оценивается показателем

$$R^{SF} = \prod_{c \in A} [1 + f^{SF}(c)], \quad (12)$$

Таблица 2. Реконструктивное семейство обобщённой системы с поведением

	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	f_i^{SF}							
					1	2	3	4	5	6	7	8
C ₁	0	0	1	1	0,059	0,091	0,182	0,077	0,035	0,083	0,083	0,071
C ₂	0	1	1	0	0,059	0,182	0,091	0,077	0,035	0,083	0,083	0,071
C ₃	1	1	0	0	0,176	0,091	0,091	0,077	0,07	0,083	0,083	0,071
C ₄	0	1	0	1	0,176	0,091	0,182	0,231	0,31	0,166	0,333	0,142
C ₅	1	0	1	0	0,176	0,091	0,182	0,231	0,172	0,166	0,166	0,071
C ₆	1	0	0	1	0,176	0,182	0,182	0,231	0,172	0,25	0,166	0,142
C ₇	0	0	2	1	0,176	0,273	0,091	0,077	0,207	0,166	0,083	0,429

где $f^{SF}(c)$ – максимальный элемент реконструктивного семейства из множества возможных преобразований входных переменных в выходные ($c \in A$). Показатель реконструктивной нечёткости обобщённой системы определяется как

$$U_{SF} = \log_2 \prod_{c \in A} [1 + f^{SF}(c)] = \sum_{c \in A} \log_2 [1 + f^{SF}(c)]; \quad (13)$$

$$0 \leq U_{SF} \leq |C|.$$

Степень идентифицируемости альтернативных обобщённых систем, сопоставимых с заданным реконструктивным семейством, определяется коэффициентом идентифицируемости

$$I_{SF} = 1 - \frac{U_{SF}}{|C|}; \quad 0 \leq I_{SF} \leq 1. \quad (14)$$

Для заданной реконструктивной нечётности всего множества возможных преобразований входных переменных в выходные $|C| = 16$ реконструктивная нечёткость подсистемы МО УКЭС с лучшим набором свойств f^{SF} равна $U_{SF}^* = 2,245$. Коэффициент идентифицируемости системы равен $I_{SF}^* = 0,86$.

Задача реконструкции несмещённой системы f^h рассматривается как требование определения набора её свойств a_i в заданном реконструктивном семействе. Каждый из наборов свойств считается гипотетической реконструкцией обобщённой системы в целом. Близость сопоставимых систем, представленных лучшим набором свойств f^* и несмещённой реконструкцией f^h , определяется разностью информации, содержащейся в их функциях поведения и представляется как потеря информации при замене f^* на множество её проекций f^h . Мера потери информации в информационной теории систем называется информационным расстоянием, которое применительно к порождающей направленной системе с поведением определяется по формуле [8]

$$D_G(f^*, f^h) = \frac{1}{\log_2 |G|} \sum_{g \in G} f(g) \sum_{g \in G} f(g|\bar{g}) \cdot \log_2 \frac{f(g|\bar{g})}{f^h(g|\bar{g})}, \quad (15)$$

Таблица 3. Информационное расстояние $D_C(f^*, f^{\circ}) \cdot 10^{-8}$

D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8
798	939	948	672	516	713	709	647

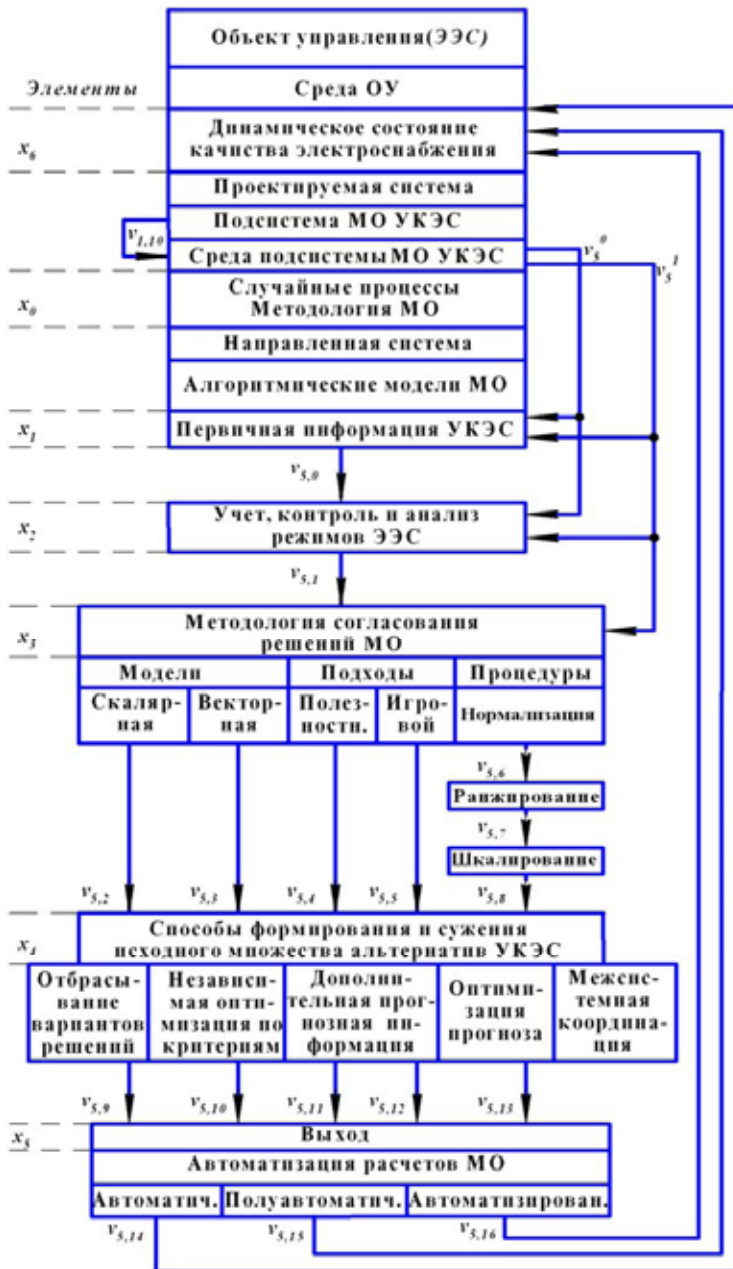


Рис. 2. Структурная схема свойства многокритериальности

$$0 \leq D_G(f^*, f^h) \leq 1.$$

В табл. 3 приведены результаты расчётов информационного расстояния между обобщённой системой с поведением, спроектированной по гипотезе h (подсистема МО УКЭС характеризуется свойствами a_i) и смещённой обобщённой системой с поведением, представленной лучшими (максимальными) элементами реконструктивного семейства табл. 2

Расчёты производились для полного множества состояний выборочных переменных $|G| = 119$. Из табл. 3 видно, что в заданном реконструктивном семействе наименьшим информационным расстоянием обладает проекция обобщённой системы с поведением, представленная свойством многокритериальности $D_G(f^*, f^h) = 0,516 \cdot 10^{-8}$. Реконструктивная нечёткость данной проекции $U_{SF}^5 = 1,316$, что значительно меньше реконструктивной нечёткости обобщённой системы с лучшим набором свойств $U_{SF}^5 < U_{SF}^* = 2,245$. Коэффициент идентифицируемости свойства многокритериальности получается выше, чем у обобщённой системы $I_{SF}^5 = 0,917 > I_{SF}^* = 0,86$, что характеризует наибольшую разработанность структуры данного свойства в обобщённой системе с поведением.

На рис. 2 приведена структурная схема свойства многокритериальности a_5 проектируемой подсистемы МО УКЭС.

Разработанная структура в последующем может быть использована для разработки адаптивных функциональных алгоритмических моделей МО УКЭС [3].

Выводы

1. Проектирование информационно-технологической подсистемы МО УКЭС производится на элементной и информационной базе существующих ОИУК АСДУ ЭЭС. Наиболее полные сведения о проектируемой подсистеме МО УКЭС содержатся в структурах алгоритмического учёта кибернетических свойств ОУ.

2. Использование структуралистского системного подхода на основе УРСЗ обеспечивает управляемость процесса проектирования сложного системного объекта и автоматизацию проектных решений.

3. Создание адаптивных структур, характеризующих отдельные свойства ОУ, позволяет проектировщику осуществлять направленный контроль и количественную оценку сравниваемых вариантов структур.

Список литературы

1. Волков Э.П., Баринов В.А., Маневич А.С. Направления развития электроэнергетики России с учётом долгосрочной перспективы // Промышленная энергетика. 2001. № 1. С.2-8.
2. Карташёв И.И. Качество электроснабжения в распределительных системах (По материалам 17-й Международной науч. конф. по распределению электроэнергии, Барселона, 2003 г.) // Электричество. 2003. № 12. С. 65-69.
3. Поддубных Л.Ф. Многоцелевая двухуровневая модель автоматизированного управления качеством электроснабжения // Изв. РАН. Энергетика. 1995. № 5. С.142-146.
4. Любарский Ю.Я., Моржин Ю.И. Отечественные оперативно-информационные комплексы АСДУ энергосистемами // Электрические станции. 2001. № 12. С.27-31.

5. Информационное обеспечение автоматизированных систем управления распределительными электрическими сетями / Мозгалёв В.С., Тодирка С.Н., Богданов В.А. и др. // Электрические станции. 2001. № 10. С.13-19.

6. Пантелеев В.И., Поддубных Л.Ф. Системология решения задач автоматизированного управления качеством электроснабжения // Вестник Хакасского технического института филиала КГТУ. Абакан. 2002. № 13. С.93-98.

7. Клир Дж. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 544 с.

8. Орнов В.Г., Рабинович М.А. Задачи оперативного и автоматического управления энерго-системами. М.: Энергоатомиздат, 1988. 223 с.

9. Higashi M., Klir G.J. On the notion of distancerepresenting information closeness: Possibility and probability distributions. International Journal of General Systems, 9. - № 2. – 1983. - P. 103-115.

Structural Designing of an Information-Technological Subsystem of Multi-Purpose Optimization of Management of Power Quality

Vasilij I. Panteleev and Leonid F. Poddubnich

Siberian Federal University,

79 Svobodny, Krasnoyarsk 660041 Russia

In clause the system model of structural designing of an information-technological subsystem of management of power quality in structure of the technological automated control system of an electropower system is considered.

Key words: Multi-purpose optimization, power quality, quality management; quality of electrosupply, electromagnetic compatibility, the dynamic condition, the automated control system of an electropower system (ACS EPS), the automated system of dispatching management (ASDM), the automated control system of quality of the electric power (management information system ACS QE), the automated system of the commercial account of the electric power (ASCAEP), object of management (OM), an operative operational-operating complex (OOOC), universal the calculator system problems (UCSP), indemnification of jet capacity (IJC).
