УДК 681.5:621.311

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ (СИСТЕМАМИ)

Ромодин А.В., Слаутин Ю.А., Калинин И.С.

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

Рассмотрены вопросы построения математической модели информационно-измерительной системы управления электроэнергетическими комплексами (системами) на основе использования принципов онтологий взаимодействия процессов. Рассмотрена проблема семантической неоднородности информационных систем при решении задач распределения потоков в системах энергораспределения. Построенная математическая модель интеграции онтологий информационно-измерительной системы распределения электроэнергетических потоков между энергопотребителями адекватно описывает их семантические особенности. Данный подход позволяет оптимальным образом интегрировать локальные базы интегрированных информационно-измерительных систем управления потоками мощности в электроэнергетических комплексах при различных режимах работы. Особенностью разработанной модели является создание единой информационно-управляющей системы обрабатывающей различные репозитории локальных систем, ранее не связанных в единую информационную базу. Объединение репозиториев позволяет в процесс управления распределения энергетических потоков ввести кортежи баз знаний для построения экспертных систем автоматизации процессов энергораспределения между потребителями.

Ключевые слова: онтология, управление, электроэнергетические комплексы (системы), информационно-измерительные системы

BUILD AN ONTOLOGICAL MODEL MANAGEMENT ISSUES OF ELECTRIC POWER COMPLEXES (SYSTEMS)

Romodin A.V., Slautin Y.A., Kalinin I.S.

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

Questions of creation of mathematical model of an informatsion-but-measuring control system of electrical power complexes (systems) on the basis of use of the principles of ontologies of interaction of processes are considered. The problem of semantic heterogeneity of information systems at the solution of problems of distribution of streams in systems of power distribution is considered. The constructed mathematical model of integration of ontologies of information and measuring system of distribution of electrical power streams between power – consumers adequately describes their semantic features. This approach allows to integrate optimum local bases integrated ин – formational and measuring control systems of power streams in electrical power complexes at various operating modes. Feature of the developed model is creation of the uniform management information system processing various repositories of local systems earlier not connected in uniform information base. Association of repositories allows to enter into management process of distribution of power streams trains of knowledge bases for creation of expert systems of automation of processes of power distribution between consumers.

Keywords: ontology, management, electrical power complexes (systems), information and measuring systems

Интеллектуализация электроэнергетических комплексов связана с внедрением новых информационных и измерительных систем, усложнением их внутренних механизмов взаимодействия и поведенческих мотивов, что определяет актуальность поиска новых технологий в области моделирования, направленных на повышение эффективности их функционирования, объединения и разработки новых структурных элементов управления [5, 7].

Для обеспечения автоматизации управления и опционального распределения перетоков мощности/энергии в электроэнергетических системах предлагается к разработке информационно-измерительная система управления электроэнергетическими комплексами (ИИСУЭЭК) [6]. При постоянных изменениях в бизнес-процессах распределения энергетических ресурсов по многим зачастую не стыкуемым в систему параметрам отбора качеств и свойств разработчики подобных систем вынуждены постоянно заниматься корректировкой программ и моделей данных, что приводит к семантической неоднородности интегрируемых информационных потоков и зачастую необходимости повторной разработки приложений-конверторов.

Для более детального рассмотрения вопросов решения проблемы семантической неоднородности информационных потоков используем онтологии [8]. Но в существующих информационно-управляющих системах используются несколько идентифицированных областей, к которым предъявляются различные требования. Поэтому для обеспечения семантически корректной

интероперабельности неоднородных информационных и распределяющих систем, в контексте данной предметной области необходимо выяснить общность и различия онтологий, которые лежат в их основе, согласовать неоднородные онтологические спецификации и на базе соответствий онтологических контекстов осуществлять преобразование информационных потоков. Необходимый алгоритм построения результирующей онтологии разработан из нескольких отношений и атрибутов. Задача интеграции уже сводится к задаче построения отображений и интеграции онтологий и, далее установления взаимосвязей схем, т.е. сохранения соответствия множества онтологий нашей системы заданному набору семантических зависимостей, который позволяет установить между ними взаимодействие.

Как правило, любая объектная схема автоматизированной информационной системы включает в себя элементы, которые соответствуют сущностям разных предметных областей, где каждый объект характеризуется значениями набора атрибутов и представляется как множество упорядоченных пар (П) вида

$$\Pi = \{\langle a_i, d_i \rangle\}, \qquad (1)$$

где a_i – атрибут объекта; d_i – значение атрибута; $i \in [1...n]$; n – количество атрибутов.

В зависимости от рассматриваемой предметной исследуемой базы информационных ресурсов и их определяющей роли в управлении электроэнергетическими потоками мощности/энергии предлагается ввести универсальную базовую единицу в рассматриваемой модели управления, как концепт.

Каждый концепт (К) онтологии нашей системы идентифицируется по имени и характеризуется типом. Поэтому концепт зададим как

$$K_i = (name_i, type_i), \qquad (2)$$

где $name_i$ – уникальное имя (идентификатор) i-го концепта; $type_i$ – тип i-го концепта (абстрактный либо составной).

Далее, концепты могут быть членами различных иерархий, но мы можем по определяемым нами признакам выделить из них топологии раздельных групп с близкими атрибутами либо взаимозависимыми общими величинами однорангового значения. Объединим такие группы концептов в множество концептов $K = \left\{ K_i \big|_{i=1,2,...,n} \right\}$.

Так как необходимо соотнести процесс выявления и описания различных и множественных факторов образования тех или иных концептов с переносимыми по наследству уникальными атрибутами, которые и связывают концепты в группы идентичных целей или свойств по наследуемым (генетическим) признакам, то выразим множество отношений между рассматриваемыми концептами:

$$\text{М} = \{\text{М}_1, \text{М}_2, \text{М}_3\}, \qquad (3)$$

где М_1 – отношение наследования (отношения «класс – подкласс»); $\text{М}_1(\text{К}_1, \text{К}_2)$, где К_1 – является надклассом концепта К_2; М_2 – отношение агрегации (отношения «часть/целое»), $\text{М}_2(\text{К}_1, A')$: атрибуты концепта К_1 входят во множество атрибутов всех концептов A'; М_3 – отношение ассоциации (семантические отношения), обладающее свойством транзитивности [1].

И теперь можем приступить к созданию идеологических принципов формирования общего репозитория информационных и управляющих систем, соответственно их семантической принадлежности.

Вводится функция интерпретации (**Н**) ИИСУЭЭК, сопоставляющей каждому концепту онтологии множество элементов информационной системы, и каждой роли – декартово произведение таких множеств. Интерпретация называется моделью онтологии О(Н ∈ М(О)), если она удовлетворяет всем значениям в **К** и **М**. Онтология, не имеющая моделей, называется противоречивой.

Описание онтологических моделей информационных систем, автоматизирующих процессы распределения энергетических потоков между потребителями, которые состоят из информационных объектов, формально можно представить в следующем виде:

$$\text{О} = \langle \text{К}, \text{А}, \Gamma, \Phi_\text{А}, \Phi_\text{К}, \text{М}, \text{Н} \rangle, \qquad (4)$$

где $K = \left\{ K_i \big|_{i=1,2,...,n} \right\}$ – множество концептов; $A = \left\{ a_{ij} \big|_{ij=1,2,...,j} \right\}$ – множество атрибутов концептов; $\Gamma = \left\{ \Gamma_{ik} \big|_{ik=1,2,...,k} \right\}$ – множество ограничений, накладываемых на атрибуты; $\Phi_\text{К} : \text{К} \to 2^\text{А}$ – отображение, задающее для каждого концепта множество его атрибутов; $\Phi_\text{А} : \text{А} \to \Gamma$ – отображение, задающее ограничения на каждый атрибут; М – множество отношений; Н – функция интерпретации.

Информационная система, использующая онтологию О, представлена в виде

$$\Upsilon^\text{О} = \langle \text{О}, \Upsilon, \Phi_\Upsilon, \Phi_\text{Р} \rangle, \qquad (5)$$

где $\Upsilon = \{\upsilon_1, \upsilon_2, ..., \upsilon_n\}$ – множество элементов объектной схемы информационной системы; $\Phi_\Upsilon : \Upsilon \to \text{К}$ – отображение,

ставящее в соответствие элементу объектной схемы его концепт; $\Phi_{\text{P}} : \Upsilon \times \Upsilon \to \text{M}$ – отображение, ставящее в соответствие связям между элементами объектной схемы их отношения в онтологии, и для любого элемента $\Pi \in \Upsilon$ выполняется условие: множество атрибутов элемента объектной схемы **П** соответствует атрибутам его концепта, т.е. $\{a : \langle a, d \rangle \in \Pi\} = \Phi_K\left(\Phi_\Upsilon(\Pi)\right)$ [2, 8].

Далее, когда рассматривается наличие разнородных по управлению или назначению информационных или управляющих распределительных систем, предлагаем применить категорию объединения разнородных информационных объектов или их групп на втором, более высшем эшелоне рассмотрения принципов взаимодействия информационных и управляющих процессов, по тому же методу, что и ранее.

Обозначим через Ψ^{O} – множество онтологических моделей ИИСУЭЭК, использующих онтологию **O**.

Обозначим изменение информационной системы как отображение

$$\text{X}:\Psi^{\text{O}} \to \Psi^{\text{O}}, \tag{6}$$

где Ψ^{O} – множество неоднородных информационных систем в ИИСУЭЭК.

Различные онтологии ИИСУЭЭК, входящие в **O**, имеют пересекающиеся множества атрибутов, типов и концептов. Для этого необходимо, чтобы отображения Φ_Υ, Φ_{K}, Φ_{A}, Φ_{P} на одинаковых концептах онтологий ИИСУЭЭК совпадали. Результирующая онтология определяет соответствия концептов и правила их интерпретации ИИСУЭЭК, что позволяет успешно установить их взаимодействие.

Информационная система (ИИСУЭЭК)

$$\Upsilon' = \left\langle \overline{\text{O}}, \overline{\Upsilon}, \overline{\Phi}_\Upsilon, \overline{\Phi}_{\text{P}} \right\rangle \tag{7}$$

называется *интегрированной* на множестве ИИСУЭЭК $\Upsilon^{\overline{\text{O}}}$, если $\Upsilon^{\overline{\text{O}}} = \left\{\Upsilon_1^{\text{O}^1}, \Upsilon_1^{\text{O}^2}, ..., \Upsilon_N^{\text{O}^N}\right\}$ непротиворечиво, т.е. существуют $\overline{\Phi}_\Upsilon : \overline{\Upsilon} \to \overline{\text{K}}$, $\overline{\Phi}_{\text{K}} : \overline{\text{K}} \to 2^{\overline{\text{A}}}$, $\overline{\Phi}_{\text{A}} : \overline{\text{A}} \to \overline{\Gamma}$, $\overline{\Phi}_{\text{P}} : \overline{\Upsilon} \times \overline{\Upsilon} \to \overline{\text{M}}$, являющиеся расширением соответствующих отображений:

$$\Phi_{\text{K}_i}, \Phi_{\text{A}_i}, \Phi_{\Upsilon_i} \ (1 \le i \le N).$$

Для осуществления согласованного изменения данных в ИИСУЭЭК необходимо установление между онтологиями семантических зависимостей, которые определяют семантическую близость концептов. Таким образом, цель интеграции заключается в сохранении соответствия множества онтологий информационных систем заданному набору семантических зависимостей.

Под семантической зависимостью, заданной на онтологии **O**, предполагается *Z*-предикат, заданный на O.

Множество семантических зависимостей

$$Z = \{z^1, z^2, z^3, z^4, z^5\} \tag{8}$$

непротиворечиво, если существует онтология **O**, которая удовлетворяет зависимости z_i.

Для численной оценки семантической близости концептов онтологий выбран подход, основанный на результатах исследований A. Maedche, профессора университета Мангейма (Германия) [9, 10]. В соответствии с этим рассматриваются атрибутивная, таксономическая и реляционная меры, результаты измерений с использованием каждой из них с учётом весовых коэффициентов и используются для комплексной оценки семантической близости.

Предлагается определять атрибутивную меру не как пересечение диапазонов числовых значений атрибутов концептов, а как отношение пересечения множеств атрибутов к объединению множеств атрибутов концептов. Также определять весовые коэффициенты автоматически с использованием генетического алгоритма. Основные преимущества предлагаемого подхода заключаются в выявлении ключевых концептов для построения результирующей онтологии, устранения субъективности описаний понятий онтологии и зависимости от точек зрения разработчиков онтологий.

К сформированной популяции потенциальных решений со следующими ограничениями t, r, $a \in [0, 1]$; $t + r + a + = 1$, *eltv* применять стандартные операторы отбора, кроссовера и мутации.

Критерий выбора – это максимизация суммы мер семантической близости между концептами двух онтологий:

$$f_{t,r,a} = \sum_{\substack{\text{к}_i,\ \text{к}_j \in \text{K} \\ \text{к}_i \ne \text{к}_j}} S\left(\text{к}_i,\ \text{к}_j\right). \tag{9}$$

Для выделения меры семантической близости, при которой концепты эквивалентны, необходимо выбрать пороговое значение меры близости. Разработан метод определения критерия подобия концептов для классификации отображений в пять групп: эквивалентность, частичная эквивалентность, обобщение, уточнение, неопределённость:

$$b = \max\left(S(\text{к}_i, \text{к}_j) \middle| \forall \text{к}_i \in \text{O}_1, \forall \text{к}_j \in \text{O}_2\right) \times \left(1 - \rho_1\right), \tag{10}$$

где ρ_1 – процент, при котором b считается порогом подобия для определения эквивалентности концептов:

$$q = \min\left(S(\kappa_i, \kappa_j) \middle| \forall \kappa_i \in O_1, \forall \kappa_j \in O_2 \right) \times (1 - \rho_2), \quad (11)$$

где ρ_2 – процент, при котором считается порогом подобия для определения отсутствия эквивалентности концептов [1].

Заключение

Построенная математическая модель интеграции онтологий ИИСУЭЭК адекватно описывает их семантические особенности. Алгоритм интеграции с использованием онтологий в целом лишен многих недостатков, присущих чисто техническим методам, и предоставляет возможность разработки интегрированных систем, работающих с информацией на семантическом уровне.

Практическое использование разработанного метода моделирования позволяет оптимальным образом объединять локальные базы интегрированных информационно-измерительных систем управления перетоками мощности в электроэнергетических системах/комплексах (при различных режимах работы, в т.ч. с учётом финансового планирования энергопотребления). При этом исключается дублирование информационно-управляющих потоков и обеспечивается целостность и непротиворечивость представленных в них сведений.

Необходимо отметить, что универсального подхода к построению онтологических моделей не существует, а созданная онтология является базисным элементом для дальнейшего моделирования энергетической системы территории (региона) [3, 4] и служит для более структурированного исследования данной отрасли.

Список литературы

1. Бубарева О.А., Попов Ф.А. Математическая модель процесса интеграции информационных систем на основе онтологий // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2; URL: www.science-education.ru/102-6030 (дата обращения: 19.09.2014).

2. Интеграция информационных технологий в системных исследованиях энергетики / Л.В. Массель, Е.А. Болдырев, А.Ю. Горнов и др. / под ред. Н.И Воропая. – Новосибирск: Наука, 2003. – С. 32.

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

4. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.

5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И. Об одном формализованном методе оценки управленческих решений (на примере управления электротехническими объектами) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 166–171.

6. Приказ Министерства промышленности и энергетики РФ от 22.02.2007 № 49 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения)»; URL: zakonbase.ru/content/nav/103038 (дата обращения: 19.09.2014).

7. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю. Модель системы ситуационного управления гибкими линиями электропередачи в нормальных режимах работы // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 193.

8. Смирнов С.В. Онтологии в задачах моделирования сложных систем // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды II международной конференции (Самара, июнь 2000). – Самара: СНЦ РАН, 2000. – С. 66.

9. Botzenhardt A., Maedche, A. & Wiesner, J. Developing a Domain Ontology for Software Product Management // Proceedings of the 5th International Workshop on Software Product Management (IWSPM-2011), Trento, Italy. IEEE Xplore, Digital Library, 2011.

10. Maedche A., Zacharias V. Clustering ontology-based metadata in the semantic web // Principles of Data Mining and Knowledge. Proceedings of the 6th European Conference (PKDD 2002), LNCS 2431. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – P. 348.

References

1. Bubareva O.A., Popov F.A. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2012, no. 5, available at: www.science-education.ru/102-6030 (accessed 19 September 2014).

2. Massel L.V., Boldyrev E.A, Gornov A.Yu., Makogonova N.N., Triputina V.V., Voropay N.I. (Ed.). *Integratsiya informatsionnykh tekhnologiy v sistemnykh issledovaniyakh energetiki*. Novosibirsk: Nauka, 2003. pp. 32.

3. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. *Elektrotekhnika – Russian Electrical Engineering*, 2010, no. 6, pp. 49a–54.

4. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. *Elektro. Elektrotekhnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost*, 2013, no. 4, pp. 20–25.

5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V., Khoroshev N.I. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*, 2009, no. 87, pp. 166–171.

6. Decree No. 49 of the Ministry of Industry and Energy of the Russian Federation of 22 February 2007. *O poryadke rascheta znacheniy sootnosheniya potrebleniya aktivnoy i reaktivnoy moschnosti dlya otdelnykh energoprinimayuschikh ustroystv (grupp energoprinimayuschikh ustroystv) potrebiteley elektricheskoy energii, primenyaemykh dlya opredeleniya obyazatelstv storon v dogovorakh ob okazanii uslug po peredache elektricheskoy energii (dogovorakh energosnabzheniya)*, available at: zakonbase.ru/content/nav/103038 (accessed 19 September 2014).

7. Romodin A.V., Leyzgold D.Yu. Sovremennye problem nauki i obrazovaniya, 2013, no. 6, pp. 193.

8. Smirnov S.V. *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh: Trudy II mezhdunarodnoy konferencii* (Proceedings of the 2nd International Conference «Issues of control and modeling in complicated systems», Samara, June 2000). Samara: SNTS RAN, 2000, pp. 66.

9. Botzenhardt A., Maedche A., Wiesner J. Developing a Domain Ontology for Software Product Management. *Proceedings of the 5th International Workshop on Software Product Management (IWSPM-2011)*, Trento, Italy. IEEE Xplore, Digital Library, 2011.

10. Maedche A., Zacharias V. Clustering ontology-based metadata in the semantic web. *In: Principles of Data Mining and Knowledge. Proceedings of the 6th European Conference (PKDD 2002), LNCS 2431.* Springer-Verlag, Berlin, 2002. pp. 348.

Рецензенты:

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

Закиров Д.Г., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН «Горный институт» Уральского отделения Российской академии наук (ГИ УрО РАН), г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 06.11.2014.