

УДК 519.711.3

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-6-110-119

Онтология процесса управления ремонтами в электросетевой компании

О.М. Проталинский, А.А. Ханова, И.А. Щербатов, И.О. Проталинский,
О.Н. Кладов, Н.С. Уразалиев, П.В. Степанов

Состояние распределительных электрических сетей характеризуется значительным физическим и технологическим устареванием. Производственные активы электросетевых компаний характеризуют семантическая, синтаксическая, структурная и системная гетерогенность, что затрудняет взаимодействие на всех уровнях управления с целью предотвращения аварийных ситуаций и повышения эффективности.

Показана актуальность представления процессов управления ремонтами электросетевой компании в виде концептуальной онтологической модели на основе системно-когнитивного подхода. Проведена формализация задачи повышения эффективности деятельности компании. Выделены управляемые субъекты, т. е. процессы диагностики состояния технологического оборудования, формирования оптимальной ремонтной программы и оптимизации логистических процессов при выполнении ремонтной программы. Разработана концептуальная структура управления процессами технического обслуживания и ремонта оборудования в виде онтологической базы знаний. Построена когнитивная двухуровневая онтологическая модель в виде совокупности концептуальной конфейнмент-модели и множества иерархических конфейнмент-моделей процессов диагностики технического состояния, формирования и оптимизации ремонтной программы, а также оптимизации логистических процессов при выполнении ремонтной программы. Сделаны выводы о практическом применении онтологического подхода для повышения эффективности процессов управления ремонтами, а также упрощения структуры получаемых моделей в сравнении с традиционными методами построения баз знаний. Дана характеристика программного продукта, позволяющего контролировать техническое состояние оборудования, планировать техническую диагностику и ремонты, обеспечивающего снижение затрат при управлении ремонтами за счет построения оптимальных ремонтных программ на основе онтологического подхода.

Ключевые слова: онтология, конфейнмент-модель, техническое обслуживание, ремонт оборудования, ремонтная программа, производственный актив.

Для цитирования: Проталинский О.М., Ханова А.А., Щербатов И.А., Проталинский И.О., Кладов О.Н., Уразалиев Н.С., Степанов П.В. Онтология процесса управления ремонтами в электросетевой компании // Вестник МЭИ. 2018. № 6. С. 110—119. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-6-110-119.

Repair Management Ontology in an Electric Grid Company

O.M. Protalinsky, A.A. Khanova, I.A. Shcherbatov, I.O. Protalinsky, O.N. Kladov,
N.S. Urazaliev, P.V. Stepanov

The condition of electric distribution networks is characterized by a significant degree of physical and technological obsolescence. The production assets of electric grid companies are characterized by semantic, syntactic, structural and system heterogeneity, a circumstance that complicates interaction at all levels of management aimed at preventing emergencies and improving the efficiency.

The importance of representing repair management processes in an electric grid company in the form of a conceptual ontological model based on a systematic cognitive approach is shown. The objective of improving the company performance efficiency is formalized. The managed subjects, namely, process equipment state diagnostics activities, activities aimed at elaborating the optimal program of repairs, and activities aimed at optimizing logistic processes in accomplishing the repair program, are identified. A conceptual structure for managing the equipment maintenance and repair processes is developed. The method for structuring information about the equipment maintenance and repair processes in the form of an ontological knowledge base is proposed. A cognitive two-level ontological model is constructed, which comprises a conceptual confinement model and a set of hierarchical confinement models representing technical condition diagnostic activities, elaboration and optimization of the repair program, and optimization of logistic processes in accomplishing the repair program. Conclusions about practical application of the ontological approach for achieving more efficient management of repairs and about a simpler structure of the obtained models in comparison with the conventional knowledge base development methods are drawn. The software product allowing one to monitor the equipment technical condition and to schedule technical diagnostics and repairs in a way ensuring lower repair management costs through elaborating the optimal repair programs on the basis of applying the ontological approach is characterized.

Key words: ontology, confinement model, maintenance, equipment repair, repair program, production asset.

For citation: Protalinsky O.M., Khanova A.A., Shcherbatov I.A., Protalinsky I.O., Kladov O.N., Urazaliev N.S., Stepanov P.V. Repair Management Ontology in an Electric Grid Company. MPEI Vestnik. 2018;6:110—119. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-6-110-119.

Введение

Энергетическая политика России направлена на максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов, потенциала энергетического сектора и способствует устойчивому росту экономики, повышению качества жизни населения страны и укреплению внешнеэкономических позиций страны [1]. Структура электросетевого комплекса включает в себя организацию по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью, 14 межрегиональных распределительных сетевых организаций и около 3000 территориальных сетевых организаций. На межрегиональные распределительные сетевые организации (МРСК) приходится 70% рынка электросетевых услуг. Основным направлением развития электросетевого комплекса является консолидация всех объектов, входящих в единую национальную (общероссийскую) электрическую сеть [1]. Отсутствие необходимых инвестиций в электросетевой комплекс в последние 20 лет привело к значительному физическому и технологическому устареванию электрических сетей. Общий износ распределительных электрических сетей достиг 70% [2]. Показатели качества и надежности — одни из основных критериев при формировании ремонтных программ электросетевых организаций [3].

Производственные активы МРСК отличает семантическая гетерогенность — множественность групп и марок оборудования, несогласованность и противоречивость уровней описания единиц оборудования, параметров, дефектов, размерностей измеряемых характеристик и параметров, а также используемой терминологии. Производственные процессы МРСК, связанные с приобретением, хранением, вводом в эксплуатацию, техническим обслуживанием, ремонтами производственных активов, характеризуются структурной гетерогенностью (разные типы процессов и стандартов в подразделениях), часто не имеют четкой связи между собой и требуют анализа, позволяющего установить системные взаимосвязи между бизнес-процессами МРСК. Использование программных и технических средств анализа бизнес-процессов в энергетическом комплексе нестандартизированы [4]. Синтаксическая (различные языки и системы моделирования) и системная гетерогенности (разные типы носителей, программные продукты и платформы) также обуславливают сложность моделирования бизнес-процессов МРСК. Естественным следствием гетерогенности является нарастающий хаос, при этом бессистемное моделирование вносит еще большую энтропию в процессы управления ремонтами МРСК. Интероперабельность становится невозможной, в то время как в современных МРСК необходимо взаимодействие на всех уровнях управления бизнес-процессами с целью предотвращения аварийных ситуаций во время функционирования объектов.

Формализовано представить процессы управления ремонтами МРСК в виде концептуальной модели

знаний в терминах классов, экземпляров, атрибутов и связей между ними позволяет онтологический подход [5]. В настоящее время существует более десятка теоретических подходов к формированию корпоративных онтологий в различных областях среди российских [5 — 12] и зарубежных ученых [13, 14]. Для их проектирования разработан ряд специализированных компьютерных систем: Ontolingua, Protégé, OntoEdit, OilEd, WebOnt [6]. Перспективными считаются исследования по построению онтологий на основе интерпретации когнитивных моделей специального вида — конфайнмент-моделей, основанных на системно-когнитивном подходе [7]. Известны конфайнмент-модели в различных предметных областях: управления информационно-интеллектуальными ресурсами организации [9], личности специалиста [10], контроля качества работы персонала [11], стратегического управления социально-экономических систем [12] и др.

В области энергетики онтологическому инжинирингу посвящены работы Л.В. Массель, в которых в графическом виде представлены онтологии, отражающие основные понятия ситуационного управления, включая ситуационный анализ и ситуационное моделирование, а также вариант онтологии ситуации, рассмотренной с позиции исследования проблемы энергетической безопасности. [15, 16]. Актуальна разработка системы онтологий для обеспечения взаимосвязей и согласованности исследований, связанных с процессами технического обслуживания и ремонтом оборудования (ТОиР), а также управления производственными активами МРСК.

Общие положения об управлении процессами технического обслуживания и ремонтом оборудования

Структура системы управления процессами ТОиР и производственными активами электросетевой компании изображена на рис. 1 и представлена в виде:

- управляющего органа (центра);
- управляемых субъектов: процессов диагностики состояния технологического оборудования (ДСТО), формирования оптимальной ремонтной программы (ФОРП); оптимизации логистических процессов при выполнении ремонтной программы (ОЛП);
- управляемого объекта (электросетевой компании) на входе которого имеются управляющие $u = (y_1, y_2, y_3) \in A = (A_1, A_2, A_3)$ и внешние $\theta \in \Theta$ воздействия, на выходе — результат деятельности объекта (состояние оборудования электросетевой компании) $z \in A_0$, зависящий от действия $u \in A$ и обстановки $\theta \in \Theta$ следующим образом: $z = w(u, \theta)$. Обратная связь позволяет электросетевой компании, процессу ТОиР и центру получить информацию о состоянии оборудования.

Модель принятия решений управляемыми субъектами процессов ДСТО, ФОРП, ОЛП описывается следующим кортежем [17]:

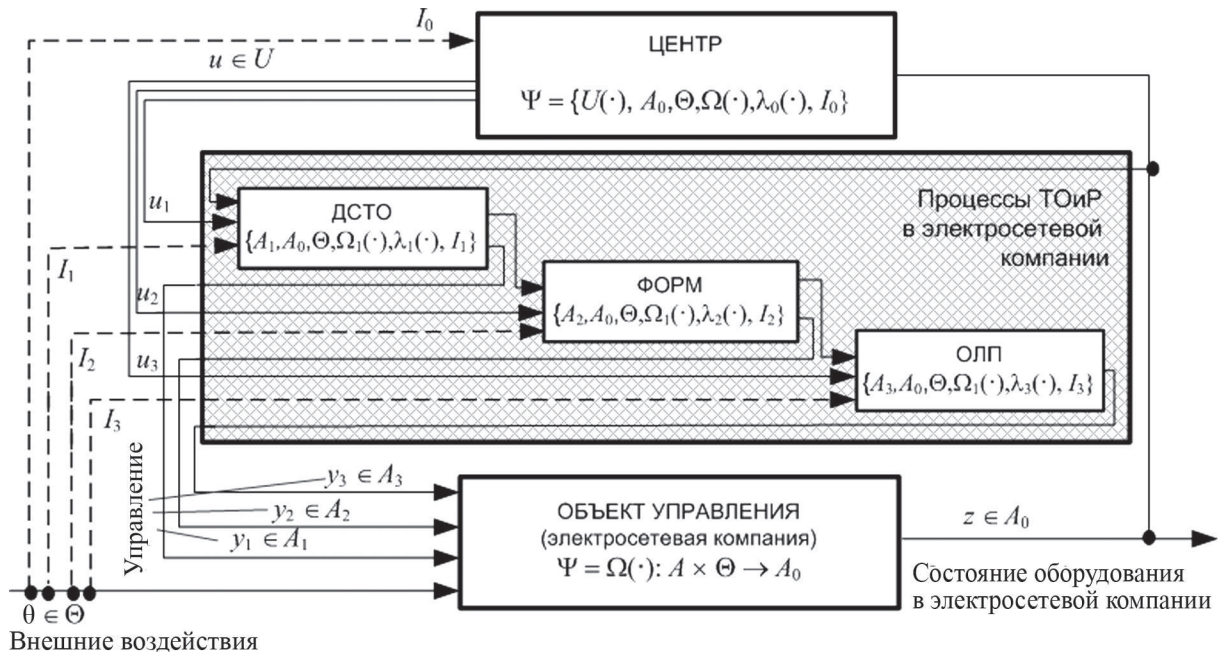


Рис. 1. Структура системы управления ТОиР и производственными активами в электросетевой компании

$\Psi_i = \{A_i, A_0, \Theta, \Omega_i(\cdot), I(\cdot), I_i\}$, где $i \in N = \{1, 2, 3\}$,

то есть множествами допустимых действий $A = (A_1, A_2, A_3)$ и результатов деятельности A_0 , возможных значений обстановок (неопределенности) Θ , функциями полезности $\lambda_1(\cdot), \lambda_2(\cdot), \lambda_3(\cdot)$ для управляемых субъектов процессов ДСТО, ФОРП, ОЛП и связи между действиями, обстановкой и результатом деятельности $\Omega_1(\cdot), \Omega_2(\cdot), \Omega_3(\cdot)$ для процессов ДСТО, ФОРП, ОЛП, а также информацией $I = (I_1, I_2, I_3)$, которой обладают управляемые субъекты процессы ДСТО, ФОРП, ОЛП на момент принятия решений.

Законы $\Omega_1(\cdot), \Omega_2(\cdot), \Omega_3(\cdot)$ известны всем участникам системы и не могут быть изменены. Это предположение соответствует фиксированной технологии функционирования управляемых объектов (межрегиональной распределительной сетевой компании, филиала, района электрических сетей, подстанции, группы и марки оборудования, кабельной линии и т.д.). Можно считать, что множество возможных обстановок Θ в функционировании электросетевой компании известно всем участникам системы и фиксировано (для выполнения этого предположения всегда можно выбрать это множество достаточно широким, ограничивая в каждом конкретном случае возможные значения обстановок имеющейся у управляемых субъектов информацией) [17].

Выделим три группы переменных (элементов кортежей Ψ , которые могут меняться) — допустимые множества A и A_0 , функции полезности $\lambda_1(\cdot), \lambda_2(\cdot), \lambda_3(\cdot)$ и информацию $I = (I_1, I_2, I_3)$. Модель принятия решений центром описывается кортежем:

$$\Psi_0 = \{U(\cdot), A_0, \Theta, \Omega(\cdot), \lambda_0(\cdot), I_0\},$$

где $U(\cdot)$ — управление; A_0 — множество допустимых результатов деятельности управляемых субъектов; Θ — множество обстановок; $\Omega(\cdot)$ — зависимость результата деятельности от действия и обстановки; $\lambda_0(\cdot)$ — функция полезности; I_0 — информация, имеющаяся у центра для принятия решения.

Действиями центра (выбираемыми им стратегиями) являются управления $u = (u_1, u_2, u_3) \in U = (U_1, U_2, U_3)$.

Действия управляемых субъектов процессов ДСТО, ФОРП, ОЛП называют стратегиями $y_i \in A_p$, а совокупность стратегий $y_{-i} = (y_1, K, y_{i+1}, y_{i-1}, K, y_4) \in A_{-i} = \prod_{j \neq i} A_j$ —

обстановкой для i -го управляемого субъекта (ДСТО, ФОРП, ОЛП). Задача управления процессами ТОиР и производственными активами электросетевой компании формально может быть сформулирована следующим образом: найти допустимое управление, имеющее приемлемые издержки при выполнении ремонтной программы [17], т. е. $E(u) \rightarrow \max_{u \in U}$. Интересы и предпочтения участников системы электросетевая компания — центр и управляемые субъекты выражаются их целевыми функциями.

Правило индивидуального рационального выбора управляемого субъекта (процессов ДСТО, ФОРП, ОЛП) заключается в выборе действий, доставляющих максимум его целевой функции, в зависимости от выбора той или иной стратегии центра. Для описания коллективного поведения управляемых субъектов (процессов ДСТО, ФОРП, ОЛП), входящих в многоэлементную систему электросетевой компании, недо-

статочны определить их предпочтения и соответствия рационального индивидуального выбора по отдельности, так как следует описать модель совместного поведения, учитывая взаимное влияние. Онтологический подход позволяет создавать принципиально единую модель процессов управления ТОиР и производственными активами электросетевой компании как сумму онтологий.

Применение онтологического подхода для процессов управления ремонтами электросетевой компании

Для анализа сложных ситуаций управления процессами ТОиР в электросетевой компании предложен метод определения главных компонентов системы и исследования их влияния друг на друга Т.В. Гагина [7]. Он основан на конфайнмент-моделировании, позволяет значительно снизить временные затраты на моделирование, облегчить выстраивание системных моделей, упростить исследование процессов управления ТОиР и производственными активами электросетевой компании с учетом взаимосвязанных предметных областей. Конфайнмент-моделирование отсеивает неважные (с позиции эксперта) факторы и сосредотачивается на тех, которые действительно оказывают влияние на ТОиР и управление производственными активами. Такой подход позволяет выявить неочевидные влияющие факторы, ключевые моменты и важные взаимосвязи еще до того, как это станет ясно на практике [7].

Построение онтологий с помощью конфайнмент-моделирования — процедура системно-когнитивного анализа. Спецификация пространства знаний в случае управления процессами ТОиР в электросетевых компаниях охватывает несколько взаимосвязанных предметных областей (электросетевые компании, управление ремонтами и производственными активами, надежность, логистику, эффективность, качество и т. д.) и представлена онтологической моделью в двухуровневом исполнении:

$$ML_o = \langle ML_o^{by}, \{ML_o^{ny}\}, MB \rangle,$$

где ML_o^{ny} — онтология верхнего уровня процесса управления ТОиР (в электросетевых компаниях представляется функциональной моделью, разработанной в методологии IDEF0); $\{ML_o^{ny}\}$ — множество онтологий нижнего уровня процесса управления ТОиР в электросетевых компаниях, разработанных в методологии IDEF5; MB — механизм вывода.

Каждый из уровней онтологической модели может быть представлен одной или несколькими конфайнмент-моделями (КМ) различных типов (таблица).

Каждая из КМ состоит из множества элементов и отношений между ними. На первом уровне КС всегда располагается ККМ, а каждый из последующих уровней представляет собой детализацию элемента (любо-

го, кроме центрального) предыдущего уровня КМ на модель любого из описанных четырех типов. При этом детализуемый элемент предыдущего уровня на новом уровне становится центральным элементом [10].

В результате построения онтологической модели в виде двухуровневой конфайнмент-модели эксперт может определить множество факторов, наиболее значимых для достижения цели и отношения между ними.

Онтологическая модель верхнего уровня

Рассмотрим интерпретацию ККМ с помощью нотации функционального моделирования IDEF0 в рамках методологии структурного анализа и проектирования SADT. Обычно при функциональном моделировании анализируется лишь синтаксический уровень. На входе имеется цель процесса, на выходе — результат, обеспечивающийся на основании нормативов и регламентов с применением мероприятий. Однако для более детального, выразительного описания процесса следует учитывать семантические и прагматические аспекты функционирования электросетевых компаний. Поэтому на семантическом уровне дополнительно рассматриваются интерпретации цели (на входе) и результата (на выходе) процесса, а при управлении учитываются ремонтная программа и при использовании инструментов — подходы к планированию системы. На прагматическом уровне включают состояние и измененное состояние системы, ресурсные ограничения, материальные и трудовые ресурсы [11].

Предложена обобщенная контекстная диаграмма, на которой представлены основные входы, выходы, механизмы и управляющие воздействия, которые должны быть формализованы для каждого системного процесса (рис. 2). Элементы модели связаны концептуальными отношениями «Вызывает»/«Зависит от» трех типов: управление (У), вход/выход (В), механизм (М).

Верхний уровень ОМ (рис. 2) в терминах IDEF0-модели представляет собой совокупность четырех множеств:

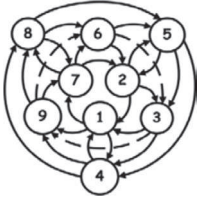
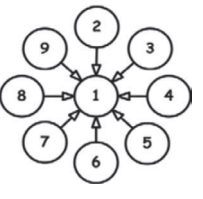
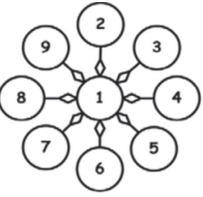
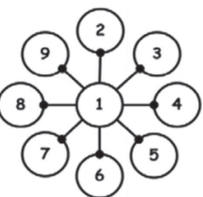
$$ML_o^{by} = \langle I_{ML_o}, U_{ML_o}, O_{ML_o}, M_{ML_o} \rangle,$$

где I_{ML_o} , U_{ML_o} , O_{ML_o} , M_{ML_o} — конечные множества дуг, называемых входами, управлением и выходами и объектами, называемых механизмами.

$$\begin{cases} I_{ML_o} = \{X_p, M_p\}; \\ U_{ML_o} = \{DL, P, St\}; \\ M_{ML_o} = \{R, DL, OP\}; \\ O_{ML_o} = \{S, X_f, M_f\}; \end{cases}$$

X_p , X_f — цель и результат процесса (издержки ТОиР по плану выполнения ремонтной программы); M_p , M_f — интерпретация цели и результата процесса (плановые и фактические характеристики оборудования);

Виды конфайнмент-моделей

Тип	Структура	Вид отношений	Назначение	Уровень
Концептуальная (ККМ)	 фиксированная	«вызывает»/ «зависит от» →	выделение основных факторов, необходимых для достижения сформулированной цели	онтология верхнего уровня ML_o^{vy}
Гиперонимическая (ГКМ)		«является» →	классификация видов понятий	онтологии нижнего уровня $\{ML_o^{ny}\}$, относятся к иерархическим КМ
Меронимическая (МКМ)		«является частью» ◊	классификация классов понятий	
Атрибутивная (АКМ)		«имеет свойство» ●—	классификация свойств (атрибутов) понятий	

DL — ограничения на ресурсы; P — нормативы и регламенты процесса управления ТООиР в электросетевых компаниях (технологические карты); St — ремонтная программа; R — материальные и трудовые ресурсы для реализации процессов ТООиР; OP — множество методов (подходов) к планированию, направленных на оптимизацию выполнения ремонтной программы в электросетевых компаниях; S — измененное техническое состояние актива.

В семиотическом плане элементы конфайнмент-модели (рис. 3) группируются в соответствии с принадлежностью к «кругам»: внутреннему (синтаксический уровень), парному ему внешнему (семантический уровень), а также дополняющему их среднему кругу (прагматический уровень).

Издержки ТООиР (переменные издержки) минимизируют путем проведения различного вида ремонтных мероприятий, учитывающих нормативы и регламенты (синтаксический уровень — внутренний круг). Базируясь на подходах к планированию и исходя из параметров ремонтной программ, интерпретируют характеристики оборудования, как результат процесса ТООиР

(семантический уровень — внешний круг). Изменение технического состояния производственных активов электросетевых компаний основано на выборе материальных и трудовых ресурсов с учетом ресурсных ограничений электросетевой компании (прагматический уровень — средний круг).

В онтологическом плане элементы группируются в соответствии с принадлежностью к «секторам»: пре-скриптивному, дескриптивному и реляционному. В первом случае с помощью элементов модели осуществляют императивное (2), декларативное (5) и ситуационное (3) представления содержания деятельности. Во втором случае составляют денотативное (1), концептуальное (4) и сопоставительное (9) описания конкретного результата деятельности. В третьем случае дают тактические (7), стратегические (8) и оперативные (6) оценки результата деятельности [10, 11].

Онтологическая модель нижнего уровня

Модель онтологии процесса управления ТООиР и производственными активами электросетевых компаний нижнего уровня представлена коротежем:

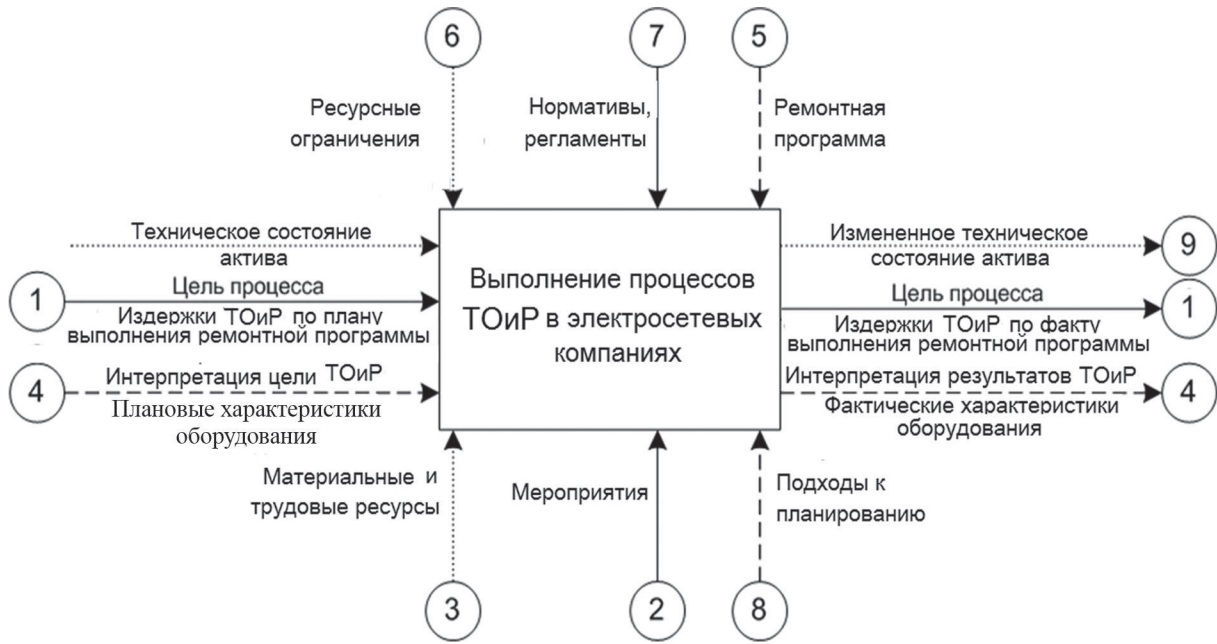


Рис. 2. Обобщенная контекстная диаграмма выполнения системного процесса управления ТОиР и производственными активами предприятий энергетики:

1 — цель и результат процесса (издержки ТОиР по плану и факту выполнения ремонтной программы); 2 — мероприятия ТОиР; 3 — материальные и трудовые ресурсы для реализации процессов ТОиР; 4 — интерпретации цели и результата процесса (плановые и фактические характеристики оборудования); 5 — ремонтная программа; 6 — ограничения на ресурсы; 7 — нормативы и регламенты процесса управления ТОиР в электросетевых компаниях (технологические карты); 8 — множество методов подходов к планированию, направленных на оптимизацию выполнения ремонтной программы в электросетевых компаниях; 9 — измененное техническое состояние актива



Рис. 3. Концептуальная конфайнмент-модель процесса управления ТОиР и производственными активами в электросетевых компаниях

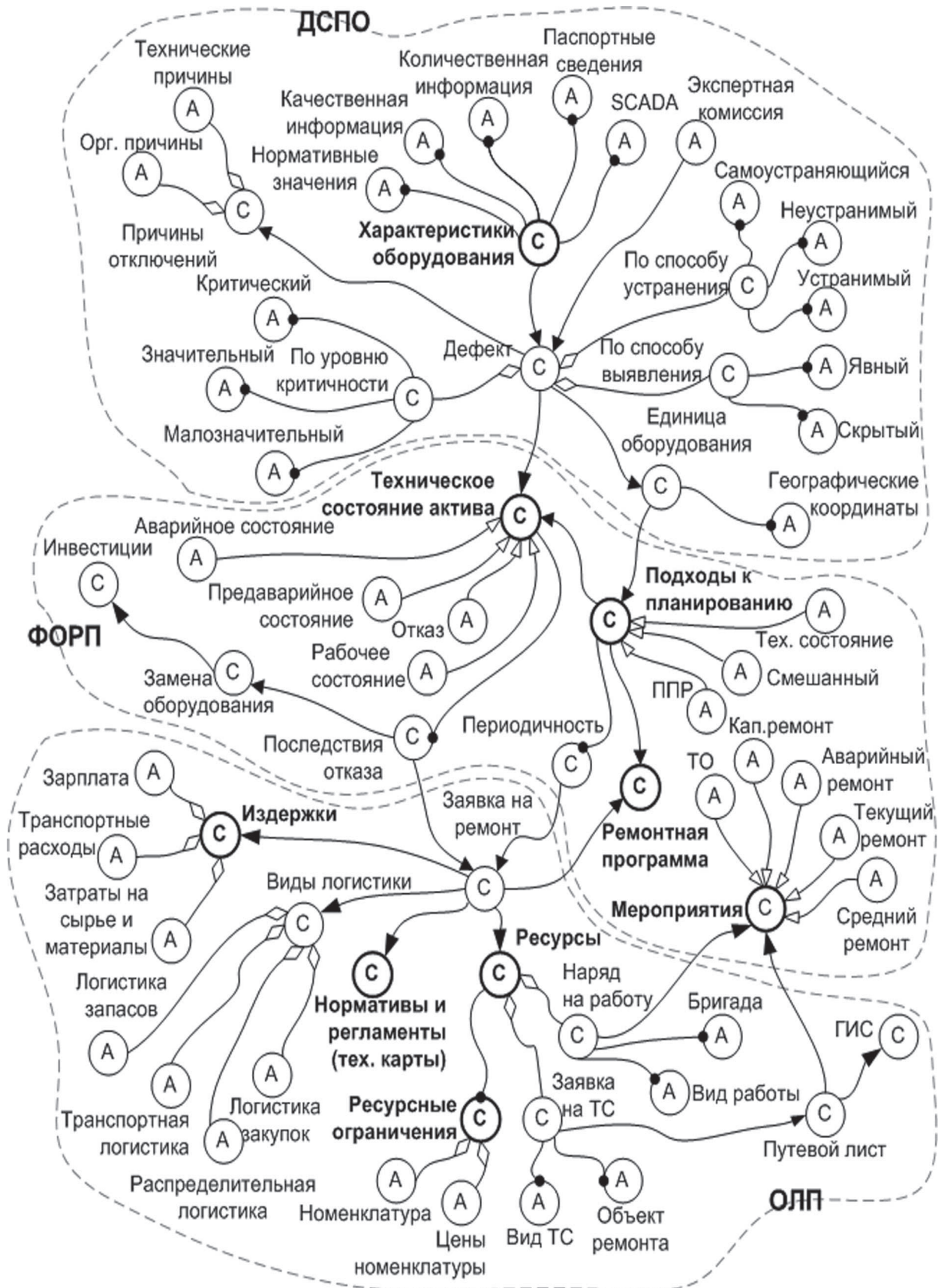


Рис. 4. Онтологическая модель нижнего уровня процесса управления ТОиР и производственными активами в электросетевых компаниях

$$ML_o^{ny} = \langle A, M, R \rangle,$$

где $A = \{a_i\}$ — множество понятий (концептов), образующих онтологию нижнего уровня процесса управления ремонтами электросетевой компании M_{L_o} , $i = \overline{1, I}$, т. е. $|A| = I$; $M_i = \{m_i, K, m_{d_i}\}$ — множество атрибутов понятия a_i (d — количество атрибутов, описывающих данное понятие); $R \subseteq A \times A$ — отношение непосредственного наследования.

Машинная модель понятия онтологии процесса управления ТООИР электросетевой компании включает в себя поля, содержащие имя понятия, состав атрибутов понятия и родовидовые связи понятия:

$$A = \{N, M, S, D\},$$

где N — имя понятия; M, S, D — множества атрибутов понятия, родительских (суперклассов) и дочерних (подклассов) понятий.

Атрибут понятия, в свою очередь, характеризуется именем, типом и значением:

$$A = \{N_A, T, V\},$$

где N_A, T, V — имя, тип и значение атрибута.

Атрибуты a_i понятий онтологии нижнего уровня процесса управления ремонтами электросетевой компании имеют определенный тип данных T . В качестве основных типов можно выделить числовой, текстовый, логический и тип ссылки на объект:

$$T \in \{\text{Int, Num, Txt, Bool, ObjR}\}.$$

Иерархия онтологической модели нижнего уровня процесса управления ТООИР и производственными активами электросетевой компании включает в себя понятия онтологии и множество атрибутов понятия (рис. 4).

Онтологическая модель нижнего уровня ML_o^{ny} с позиции процессной модели жизненного цикла процесса управления ремонтами электросетевой компании (см. рис. 1) может быть представлена в виде интеграции взаимосвязанных между собой онтологий:

$$ML_o^{ny} = ML_{o1}^{ny} \cup ML_{o2}^{ny} \cup ML_{o3}^{ny},$$

где $ML_{o1}^{ny}, ML_{o2}^{ny}, ML_{o3}^{ny}$ — онтологии процессов ДСПО (о1), ФОРП (о2) и ОЛП при выполнении ремонтной программы (о3).

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электрон. ресурс] <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 01.07.2017).
2. Захаренко С.Г. и др. Анализ аварийности в электросетевом комплексе // Вестник Кузбасского гос. техн. ун-та. 2016. № 4 (116). С. 94—99.
3. Воропай И.Н. и др. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. М.: Энергия, 2013.
4. Проталинский О.М., Проталинский И.О., Кладов О.Н. Система оптимального управления производственными активами энергетических предприя-

Каждая онтология единой онтологической модели нижнего уровня процесса управления ТООИР электросетевой компании представляет собой совокупность сущностей (концептов) и связей (отношений):

$$ML_{o1}^{ny} = \langle A1, M1, R \rangle;$$

$$ML_{o2}^{ny} = \langle A2, M2, R \rangle;$$

$$ML_{o3}^{ny} = \langle A3, M3, R \rangle.$$

Набор концептов выделяется в отдельную совокупность сущностей $A = A1 \cap A2 \cap A3$. Множество связей R имеет в своем составе следующие типы отношений: «вызывает», «является», «является частью», «имеет свойство» (см. таблицу).

Заключение

Предложен метод структурирования информации о процессах технического обслуживания и ремонта оборудования электросетевой компании в виде онтологической базы знаний, построенной на совокупности взаимосвязанных когнитивных двухуровневых моделей специального вида (конфайнмент-моделей), сочетании методов системного анализа и синтеза, вывода по аналогии и выявления системных триад.

Практическое применение предложенных моделей и методов показало повышение эффективности, выражающееся в снижении временных затрат, необходимых для взаимодействия аналитиков с экспертами на 30...50%, а также упрощении структуры получаемых моделей в сравнении с традиционными методами построения баз знаний на 40...80%.

Предложенный метод реализован в составе программного обеспечения «Бест: система управления производственными активами». Программный продукт позволяет контролировать техническое состояние оборудования, планировать техническую диагностику и ремонты и обеспечивает снижение затрат при управлении ремонтами за счет построения оптимальных (с точки зрения финансовых затрат) ремонтных программ.

Использование предлагаемого метода дает удобный инструментарий для эффективного управления процессами технического обслуживания и ремонта оборудования электросетевых компаний.

References

1. Energeticheskaya Strategiya Rossii na Period do 2030 Goda [Elektron. Resurs] <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (Data Obrashcheniya: 01.07.2017). (in Russian).
2. Zaharenko S.G. i dr. Analiz Avariynosti v Elektrosetevom Komplekse. Vestnik Kuzbasskogo Gos. Tekhn. Un-ta. 2016;4 (116):94—99. (in Russian).
3. Voropay I.N. i dr. Kontseptsiya Obespecheniya Nadezhnosti v Elektroenergetike. M.: Energiya, 2013. (in Russian).
4. Protalinskiy O.M., Protalinskiy I.O., Kladov O.N. Sistema Optimal'nogo Upravleniya Proizvodstvennymi

тий // Автоматизация и IT в энергетике. 2017. № 4 (93). С. 5—8.

5. **Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И.** Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы. СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008.

6. **Чистякова И.С.** Инженерия онтологий // Инженерия программного обеспечения. 2014. № 4 (20). С. 53—68.

7. **Гагин Т.В., Бородина С.С.** Как выделить главное: принципы конфайнмент-моделирования [Электрон. ресурс] <http://gagin.tv/index.php?page=28> (дата обращения: 01.07.2017).

8. **Ханова А.А., Григорьева И.О.** Предметная онтология как способ формирования семантической модели знаний грузового порта // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». 2009. № 1. С. 76—81.

9. **Мухачева Н.Н., Попов Д.В.** Онтологические модели и методы для управления информационно-интеллектуальными ресурсами организации // Вестник Уфимского гос. авиационного техн. ун-та. 2010. Т. 14. № 1. С. 123—135.

10. **Жукова Е.Д., Занин Д.С.** Полифункциональная модель педагога профессионального образования // Известия Волгоградского гос. пед. ун-та. 2014. № 4 (89). С. 108—114.

11. **Козлов Д.В., Жукова И.Г., Кульцова М.Б., Литовкин Д.В.** Генерация OWL-онтологии на основе конфайнмент-модели // Известия Волгоградского гос. техн. ун-та. 2015. № 6 (163). С. 58—65.

12. **Ханова А.А., Хортонен А.С., Парамзина Л.В.** Системные взаимосвязи стратегического управления и моделирования социально-экономических систем на основе сбалансированной системы показателей // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». 2014. № 2. С. 109—116.

13. **Euzenat J., Shvaiko P.** *Ontology Matching*. Heidelberg: Springer, 2013.

14. **Suarez-Figueroa M.C. e. a.** *Ontology Engineering in a Networked World*. Springer Science & Business Media, 2012.

15. **Массель Л.В., Ворожцова Т.Н., Пяткова Н.И.** Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике // Онтология проектирования. 2017. Т. 7. № 1 (23). С. 66—76.

16. **Массель Л.В., Массель А.Г., Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н.** Онтологический инжиниринг ситуационного управления в энергетике // Знания — Онтологии — Теории: Материалы Всеросс. конф. с междунар. участием. Новосибирск: Инст-т математики им. С.Л. Соболева, 2015. С. 36—43.

17. **Новиков Д.А.** Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005.

Aktivami Energeticheskikh Predpriyatij. Avtomatizatsiya i IT v Energetike. 2017;4 (93):5—8. (in Russian).

5. **Gavrilova T.A., Muromtsev D.I.** *Intellektual'nye Tekhnologii V Menedzhmente: Instrumenty i Sistemy*. SPb.: Vysshaya Shkola Menedzhmenta, 2008. (in Russian).

6. **Chistyakova I.S.** *Inzheneriya Ontologiy. Inzheneriya Programnogo Zabezpechennya*. 2014;4 (20);53—68.

7. **Gagin T.V., Borodina S.S.** *Kak Vydelit' Glavnoe: Printsipy Konfaynment-modelirovaniya* [Elektron. Resurs] <http://gagin.tv/index.php?page=28> (Data Obrashcheniya: 01.07.2017). (in Russian).

8. **Hanova A.A., Grigor'eva I.O.** *Predmetnaya Ontologiya kak Sposob Formirovaniya Semanticheskoy Modeli Znaniy Gruzovogo Porta*. Vestnik Astrahanskogo Gos. Tekhn. Un-ta. Seriya «Upravlenie, Vychislitel'naya Tekhnika i Informatika». 2009;1:76—81. (in Russian).

9. **Muhacheva N.N., Popov D.V.** *Ontologicheskie Modeli i Metody dlya Upravleniya Informatsionno-Intellektual'nymi Resursami Organizatsii*. Vestnik Ufimskogo Gos. Aviatsionnogo Tekhn. Un-ta. 2010;14;1:123—135. (in Russian).

10. **Zhukova E.D., Zanin D.S.** *Polifunktsional'naya Model' Pedagoga Professional'nogo Obrazovaniya*. Izvestiya Volgogradskogo Gos. Ped. Un-ta. 2014;4 (89):108—114. (in Russian).

11. **Kozlov D.V., Zhukova I.G., Kul'tsova M.B., Litovkin D.V.** *Generatsiya OWL-ontologii na Osnove Konfaynment-modeli*. Izvestiya Volgogradskogo Gos. Tekhn. Un-ta. 2015;6 (163):58—65. (in Russian).

12. **Hanova A.A., Hortonen A.S., Paramzina L.V.** *Sistemnye Vzaimosvyazi Strategicheskogo Upravleniya i Modelirovaniya Sotsial'no-ekonomicheskikh Sistem na Osnove Sbalansirovannoy Sistemy Pokazateley*. Vestnik Astrahanskogo Gos. Tekhn. Un-ta. Seriya «Upravlenie, Vychislitel'naya Tekhnika i Informatika». 2014;2:109—116. (in Russian).

13. **Euzenat J., Shvaiko P.** *Ontology Matching*. Heidelberg: Springer, 2013.

14. **Suarez-Figueroa M.C. e. a.** *Ontology Engineering in a Networked World*. Springer Science & Business Media, 2012.

15. **Massel' L.V., Vorozhtsova T.N., Pyatkova N.I.** *Ontologicheskiy Inzhiniring dlya Podderzhki Prinyatiya Strategicheskikh Resheniy v Energetike*. Ontologiya Proektirovaniya. 2017;7;1 (23):66—76. (in Russian).

16. **Massel' L.V., Massel' A.G., Vorozhtsova T.N., Makagonova N.N.** *Ontologicheskiy Inzhiniring Situatsionnogo Upravleniya v Energetike*. Znaniya — Ontologii — Teorii: Materialy Vseross. Konf. s Mezhdunar. Uchastiem. Novosibirsk: Inst-t Matematiki im. S.L. Soboleva, 2015:36—43. (in Russian).

17. **Novikov D.A.** *Teoriya Upravleniya Organizatsionnymi Sistemami*. M.: MPSI, 2005. (in Russian).

Сведения об авторах:

Проталинский Олег Мирославович — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: protalinskiy@gmail.com

Ханова Анна Алексеевна — доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики Астраханского государственного технического университета, e-mail: akhanova@mail.ru

Щербатов Иван Анатольевич — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ «МЭИ», e-mail: ShcherbatovIA@mpei.ru

Проталинский Игорь Олегович — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и управления Астраханского государственного технического университета, e-mail: protalinskiy_igor@mail.ru

Кладов Олег Николаевич — аспирант кафедры прикладной математики Астраханского государственного технического университета, e-mail: kladovon@inbox.ru

Уразалиев Нурлан Салаватович — аспирант кафедры прикладной математики Астраханского государственного технического университета, e-mail: urazaliev.n.s@mail.ru

Степанов Павел Васильевич — аспирант кафедры автоматизации и управления Астраханского государственного технического университета, e-mail: stepanov.pavel.v@inbox.ru

Information about authors:

Protalinsky Oleg M. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: protalinskiy@gmail.com

Khanova Anna A. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Applied Mathematics Dept., Astrakhan State Technical University, e-mail: akhanova@mail.ru

Shcherbatov Ivan A. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: ShcherbatovIA@mpei.ru

Protalinsky Igor O. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Automation and Control Dept., Astrakhan State Technical University, e-mail: protalinskiy_igor@mail.ru

Kladov Oleg N. — Ph.D.-student of Applied Mathematics Dept., Astrakhan State Technical University, e-mail: kladovon@inbox.ru

Urazaliev Nurlan S. — Ph.D.-student of Applied Mathematics Dept., Astrakhan State Technical University, e-mail: urazaliev.n.s@mail.ru

Stepanov Pavel V. — Ph.D.-student of Automation and Control Dept., Astrakhan State Technical University, e-mail: stepanov.pavel.v@inbox.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 11.11.2017

The article received to the editor: 11.11.2017