

Онтологическая модель данных для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети

Бендик Надежда Владимировна, Полковская Марина Николаевна

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,

Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, *starkovan@list.ru*

Аннотация. Статья посвящена разработке онтологической модели данных для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети. Модель включает в себя иерархически упорядоченные классы, которые подробно характеризуют аварийные отключения, а также различные параметры объектов наблюдения: напряжение, дату и время отключения/включения, причины и др.; математические модели для вероятностной оценки и прогнозирования и пр. Полученная онтология позволяет анализировать причины и продолжительность аварийных отключений, потери электроэнергии, выявлять внутрирядные связи, определять регрессионные зависимости и осуществлять прогноз отказов с использованием различных моделей. Созданная онтологическая модель данных ориентирована на сети г. Иркутска, однако она может быть использована и для сетей других населенных пунктов. На основании разработанной онтологической модели построена инфологическая модель, которая реализована в базе данных информационной системы оценки повторяемости отказов элементов электрической сети. С помощью реализованной информационной системы существует возможность осуществлять вероятностную оценку и прогнозирование числа отказов элементов электрических сетей на основании различных моделей.

Ключевые слова: электрическая сеть, онтологическая модель, аварийное отключение, класс

Цитирование: Бендик Н.В. Онтологическая модель данных для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети / Н.В. Бендик, М.Н. Полковская // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 4(28). – С. 170-180. – DOI:10.38028/ESI.2022.28.4.013.

Введение. Основной задачей функционирования энергетических компаний является бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией. В связи с этим уменьшение числа отказов элементов электрической сети – актуальная проблема, требующая своевременного решения. Для прогнозирования аварийных отключений часто используются методы теории вероятностей и математической статистики, а также корреляционно-регрессионного анализа [1-4 и др.].

Для эффективного использования математического аппарата при прогнозировании отказов элементов электрической сети необходимы хорошо формализованные информация и знания. Онтологическое моделирование является одним из способов описания семантических аспектов предметной области и представляет особый интерес в формализации информации и знаний для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети [5]. Семантическое описание предметной области является начальным этапом представления знаний, позволяющим выявить основные понятия и их взаимосвязи [5].

Следует отметить, что онтологические модели нашли широкое применение в различных отраслях: промышленности [6], сельском хозяйстве [7-9], образовании [10-12] и энергетике [13]. Вместе с тем работы, связанные с семантическим моделированием энергетического комплекса, не описывают применение математического аппарата для моделирования показателей надежности электрооборудования. Поскольку систематизацию данных по аварийным отключениям для их прогнозирования и предупреждения необходимо осуществлять во всех энергоснабжающих предприятиях независимо от их расположения и размера, построение онтологической модели, реализующей эти возможности, является актуальной задачей [14-16].

В связи с этим целью работы является построение онтологической модели данных для вероятностной оценки и прогнозирования аварийных отключений в электрических сетях.

В соответствии с целью сформулированы следующие задачи: 1) выделить модели для вероятностной оценки и прогнозирования рядов исследуемого показателя; 2) спроектировать онтологическую модель аварийных отключений в электрических сетях; 3) осуществить ретроспективный прогноз аварийных отключений с помощью онтологической модели.

Материалы и методы. В качестве материалов для составления онтологической модели данных применены журналы отключений на подстанциях Южных электрических сетей г. Иркутска. Данные о средних месячных температурах, влияющих на работу электрических сетей в г. Иркутске, взяты в ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

На основании исследований, приведенных в работах [2, 17, 18], для моделирования отказов элементов электрических сетей выделены методы теории вероятностей, математической статистики и корреляционно-регрессионного анализа. Для описания модели данных использована онтологическая модель [19, 20].

Основные результаты. Для оценки надежности систем электроснабжения зачастую используются законы распределения вероятностей [1]. В ранее проведенных исследованиях выявлено, что для описания вероятности возникновения отказов наиболее подходящим является трехпараметрическое степенное гамма-распределение [17]. Однако недостатком вероятностных моделей является невозможность прогнозирования исследуемых параметров. Значения показателя можно оценить лишь с некоторой заданной вероятностью.

Наибольший интерес представляют прогностические модели, с помощью которых можно получать прогнозы на краткосрочную перспективу. В работе [2] при оценке наличия тренда за 2008-2017 гг. применена методика выделения выступающих точек. Помимо этого, для прогнозирования значений аварийных отключений по месяцам можно использовать нелинейные (полиномиальный, степенной) и тренд-сезонные модели [2].

Учету воздействия природно-климатических факторов на отказы элементов оборудования в электрических сетях посвящено большое количество исследований [21, 22 и др.]. Применительно к исследуемым сетям рассмотрено влияние средних месячных температур [18].

Следует отметить, что наличие ёмкого математического обеспечения, используемого для моделирования аварийных отключений, требует создания программного обеспечения, упрощающего расчеты, и доступного для пользователей, не владеющих навыками построения приведенных выше моделей. В связи с этим на первом этапе с помощью программного средства Protégé [23] разработана иерархия классов онтологии, которая представлена на рисунке 1.

Проектирование онтологии. Построение онтологической модели для вероятностной оценки и прогнозирования аварийных отключений в электрической сети является актуальной и сложной задачей [24-26]. Сложность поставленной задачи определяется наличием множества межклассовых связей и различными целями конечных пользователей системы.

Приведенные в модели классы, в большинстве своем, имеют множество подклассов. Например, класс «Аварийное отключение» состоит из девяти подклассов (рис. 2).

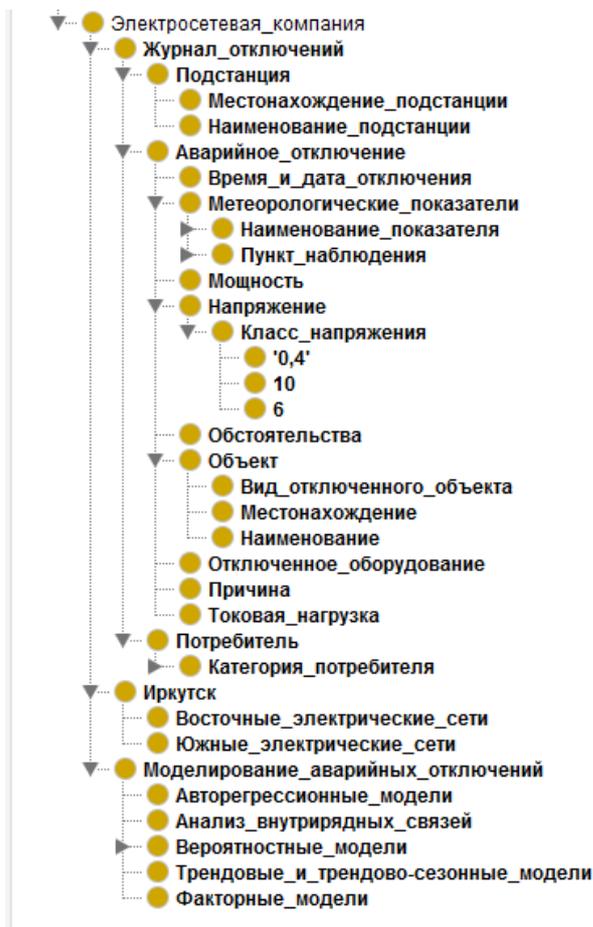


Рис. 1. Иерархия классов моделирования аварийных отключений в электрической сети

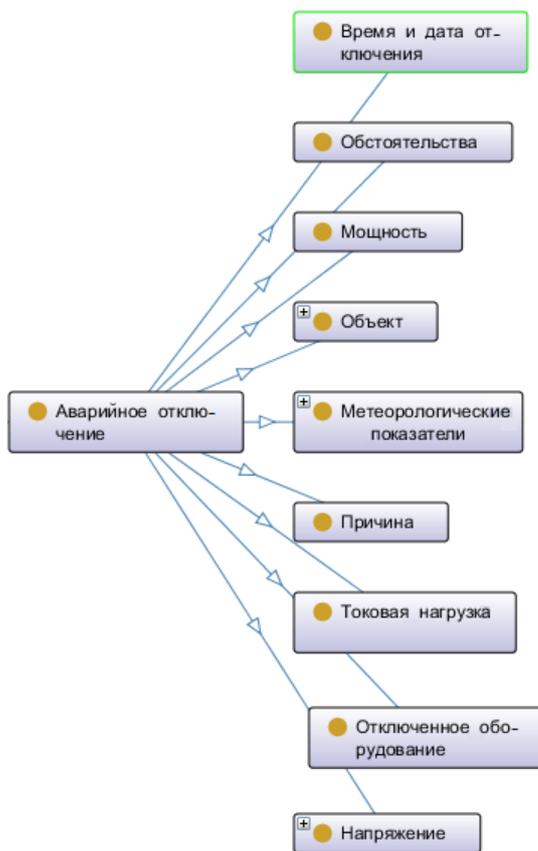


Рис. 2. Описание класса «Аварийное отключение»

Класс «Метеорологические показатели» состоит из двух основных подклассов. В свою очередь, подкласс «Наименование показателя» содержит характеристики климатических параметров (рис. 3).



Рис. 3. Описание класса «Метеорологические показатели»

Класс «Моделирование аварийных отключений» включает в себя различные модели для оценки и прогнозирования исследуемого параметра (рис. 4).

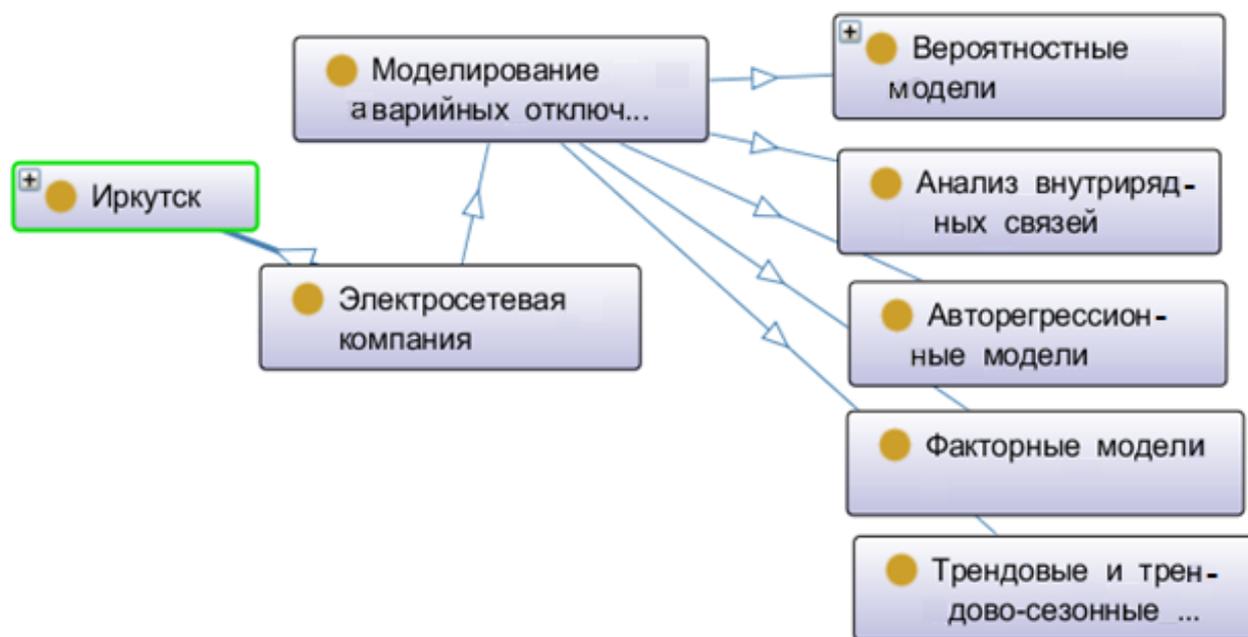


Рис. 4. Описание класса «Моделирование аварийных отключений»

Созданная семантическая сеть представляет собой ориентированный граф, вершинами (узлами) которого являются классы, а дугами – направленные отношения, соединяющие эти узлы (рис. 5). Несмотря на то, что созданная онтологическая модель ориентирована на сети г. Иркутска, она может быть использована и для других сетей. Модель включает в себя аварийные отключения, а также различные характеристики объектов наблюдения: напряжение, дату и время отключения/включения, причины и др.; математические модели для вероятностной оценки и прогнозирования и пр.

На основе онтологической модели создана инфологическая модель данных предметной области, которая содержит 9 сущностей: Журнал отключений, Категория потребителя, Класс напряжения, Наименования объекта, Вид отключения, Отключенный объект, Метеорологические показатели, Значение метеопоказателя, Пункт наблюдения. Инфологическая модель данной предметной области преобразована в даталогическую модель и сгенерирована в СУБД PostgreSQL. Реализованная база данных является основой информационной системы оценки повторяемости отказов элементов электрической сети [27]. К основным функциям разработанной информационной системы относятся:

- анализ внутрирядных связей, предназначенный для оценки возможности построения авторегрессионных моделей (если коэффициент автокорреляции превышает значение $\pm 0,70$);
- построение законов распределения вероятностей;
- расчет параметров трендовых, тренд-сезонных и факторных моделей;
- оценка качества моделей с помощью критериев точности и адекватности (критериев согласия);
- вероятностная оценка и прогнозирование числа отказов элементов электрических сетей.

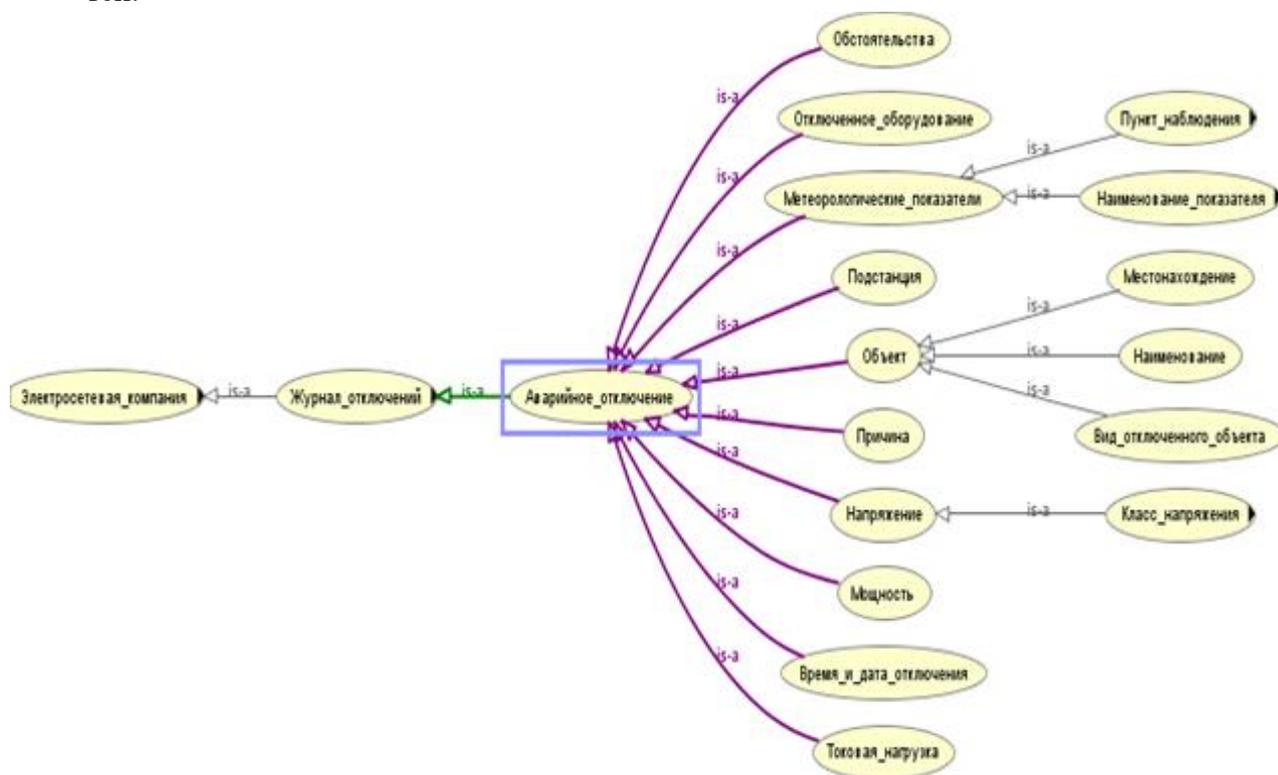


Рис. 5. Онтология моделирования аварийных отключений в электрической сети

Математическое обеспечение информационной системы. Ранее отмечалось, что для оценки надежности систем электроснабжения зачастую используются законы распределения вероятностей, среди которых выделим нормальное, гамма, Вейбулла, Пирсона III типа, трехпараметрическое степенное и др. [1]. В работе [17] для описания вероятности возникновения аварийных отказов использовано трехпараметрическое степенное гамма-распределение

$$f(x) = \frac{\alpha^\alpha}{a^{\alpha/\beta} \Gamma(\alpha) b} e^{-\alpha(x/a)^{1/b}} x^{(\alpha/b)-1}, \quad (1)$$

где α , a и b – параметры, связанные с коэффициентами вариации и асимметрии, $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция.



Рис. 6. Инфологическая модель данных

Согласно полученной функции распределения для вероятностей 0,05, 0,5 и 0,95 количество аварийных отключений соответствует значениям $x_{0,05}=27$, $x_{0,5}=61$, $x_{0,95}=170$.

Помимо вероятностных моделей, интерес представляют тренды. При этом зависимости могут быть получены для значений аварийных отключений по месяцам за весь исследуемый период или для каждого месяца. Кроме того, в работе [2] предложено оценивать с помощью тренда динамику выделенной последовательности высокого числа аварий, полученной на основании определения пиков ряда (рис. 7).

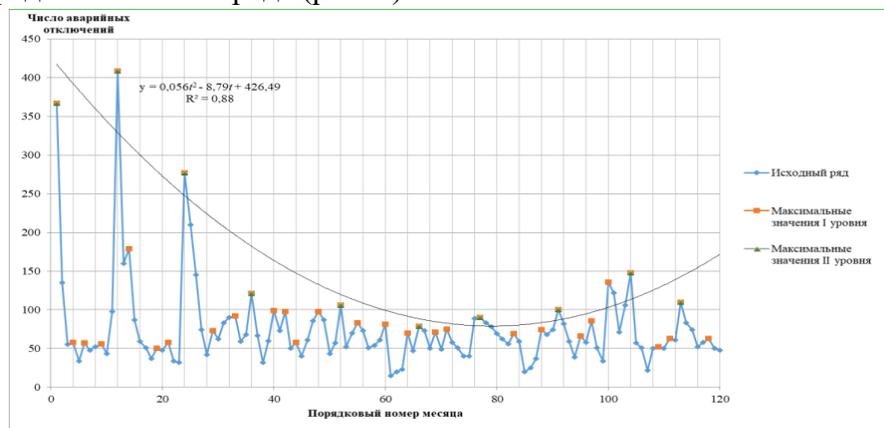


Рис. 7. Выступающие значения аварийных отключений I и II уровня

Следует отметить, что тренды, полученные для значений отказов по некоторым месяцам, имеют линейный и нелинейный (полиномиальный, степенной) вид.

Поскольку на возникновение аварийных отключений влияют неблагоприятные погодные условия, была оценена их сезонная составляющая [2]. Согласно тренду, количество аварийных отключений со временем незначительно уменьшается.

$$y = -0,0557 t + 74,327 \quad (2)$$

Согласно индексам сезонности, наибольший рост аварийных отключений имеет место в апреле и июле (рис. 8). Увеличение числа аварий в апреле, вероятно, вызвано неблагоприятными климатическими условиями (сильный ветер, снег с дождем), а в июле – нагрузкой на сети в связи со значительным повышением температуры воздуха.

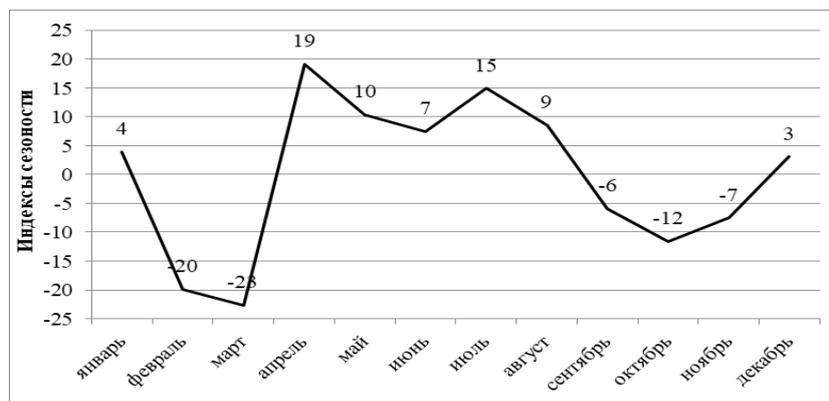


Рис. 8. Индексы сезонности аварийных отключений в Правобережном округе г. Иркутска за 2010-2017 гг.

Помимо сезонности, оценено влияние на аварийные отключения средних месячных значений суточных температур [18]. Поскольку в рядах аварийных отключений в июле и декабре имеет место значимый линейный тренд, в качестве дополнительного параметра в факторную модель включено время. Помимо линейных регрессионных моделей, в работе [18] предложены нелинейные, в которых использован полиномиальный тренд. При этом коэффициент детерминации нелинейных уравнений значительно выше, чем у линейных. Соответственно значение критерия Фишера, оценивающего значимость уравнения, также высокое.

Поскольку для исходных данных получены различные зависимости, удовлетворяющие критериям точности и адекватности, для подбора модели, наиболее точно описывающей фактические значения исследуемого параметра, использован ретроспективный прогноз (табл. 1).

Таблица 1. Результаты ретроспективного прогноза аварийных отключений на электрических сетях за 2017 г. на основе различных моделей

Модель	Месяцы											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Тренд-сезонная	74	50	47	89	80	77	84	78	63	58	62	72
Полиномиальный тренд	80	65	57	-	122	-	-	-	-	-	-	51
Степенной тренд	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48
Однофакторная	-	-	-	-	-	-	90	-	-	59	-	68
Факторная с учетом времени	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	50	49
Нелинейная факторная с учетом времени	81	68	59	-	-	-	108	-	-	65	44	61
Фактические значения	52	50	63	61	110	83	74	52	58	63	50	48

Исходя из полученных данных, прогнозные значения аварийных отключений в январе, августе и сентябре значительно отличаются от фактических данных. В этом случае может быть использована вероятностная оценка при условии случайности рядов отказов в эти месяцы. Наиболее точный прогноз числа отказов на электрических сетях в феврале, апреле, мае, июне и июле согласно ретроспективному прогнозу, дает тренд-сезонная модель. Значения, рассчитанные по линейному тренду, наиболее близки к фактическим в декабре, по фак-

торной модели с учетом времени – в октябре, а по нелинейному регрессионному уравнению – в марте и ноябре. Отметим, что для прогнозирования аварийных отключений нельзя использовать определенный вид модели, поскольку исследуемый показатель подвержен воздействию многих факторов.

Заключение. На основе исследований, касающихся моделирования аварийных отключений, построена онтологическая модель данных для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети применительно к электрическим сетям г. Иркутска. Разработанная онтологическая модель реализована в информационной системе и может быть использована для вероятностной оценки и краткосрочного прогноза исследуемого параметра с учетом наличия автокорреляции, зависимости исследуемого параметра от времени, сезонности и метеорологических факторов. Несмотря на то, что онтологическая модель ориентирована на сети г. Иркутска, она может быть использована и для других сетей.

Список источников

1. Волков Н.Г. Надежность электроснабжения: учебное пособие / Н.Г. Волков, А.А. Сивков, А.С. Сайгаши // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.
2. Иваньо Я.М. Моделирование отказов элементов городской электрической сети (10 кВ) на примере правобережного округа города Иркутска / Я.М. Иваньо, И.В. Наумов, М.Н. Полковская // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2021. – № 9(203). – С. 87-98.
3. Карамов Д.Н. Математическое моделирование отказов элементов электрической сети (10 кВ) автономных энергетических систем с возобновляемой распределенной генерацией / Д.Н. Карамов, И.В. Наумов, С.М. Пержабинский. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2018. – вып. 329. – № 7. – С. 116-130.
4. Xie K. Reliability forecasting models for electrical distribution systems considering component failures and planned outages. International journal of electrical power & energy systems, 2016, v. 79, pp. 228-234.
5. Shunkevich D. Ontology-based design of knowledge processing machines. Open semantic technologies for intelligent systems, 2017, vol. 1, pp. 73-94.
6. Kizim A., Matokhina A., Nesterov B. Development of ontological knowledge representation model of industrial equipment. Communications in Computer and Information Science, 2015, v. 535, pp. 354-366.
7. Бендик Н.В. База знаний интеллектуальной системы поддержки производства продукции растениеводства / Н.В. Бендик, О.В. Борхошкин // Теория и практика современной аграрной науки: сб. III нац. (все-рос.) науч. конф. с междунар. участием. – Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2020. – Т. 1. – С. 26-29.
8. Bova V.V., Kureichik V.V., Scheglov S.N., Kureichik L.V. Multi-level ontological model of big data processing. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, vol. 874, pp. 171-181.
9. Musina D.R., Yangirov A.V., Kharitonov S.V. Ontological model of agro-industrial complex of the region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, “International Science and Technology Conference “Earth Science”, ISTC EarthScience 2022 - Chapter 2”, 2022, pp. 032004.
10. Конев К.А. Принятие решений на основе онтологической модели учебной дисциплины / К.А. Конев // Информатизация образования и науки, 2020. – № 4 (48). – С. 124-134.
11. Федоров О.Д. Онтологическая модель наставничества молодых учителей / О.Д. Федоров, Н.Р. Ящук // Ярославский педагогический вестник, 2021. – № 5 (122). – С. 38-49.
12. Черных С.И. Интеллектуальный капитал регионального вуза: опыт построения онтологической модели / С.И. Черных, К.Ю. Казанцев // Философия образования, 2020. – Т. 20. – № 2. – С. 5-17.
13. Petrochenkov A.V., Bochkarev S.V., Ovsyannikov M.V., Bukhanov S.A. Construction of an ontological model of the life cycle of electrotechnical equipment. Russian Electrical Engineering, 2015, v. 86, no. 6, pp. 320-325.
14. Ворожцова Т.Н. Онтологический подход к проектированию базы данных для оценки влияния энергетики на окружающую среду / Т.Н. Ворожцова, Н.Н. Макагонова, Л.В. Массель // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2019. – № 3 (15). – С. 31-41.
15. Ворожцова Т.Н. Семантическое моделирование в исследованиях устойчивости энергетических и социо-экологических систем / Т.Н. Ворожцова, Д.В. Пестерев, В.Р. Кузьмин // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2021. – № 4(24). – С. 31-43. – DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.003.
16. Massel L., Massel A. Ontologies as a basis for constructing digital twins in energy. 2021 International symposium on knowledge, ontology, and theory, KNOTH 2021, pp. 1-5.

17. Ланин А.В. Статистический анализ аварийных отключений в электрических сетях 10 кВ / А.В. Ланин, М.Н. Полковская, А.А. Якупов // Актуальные вопросы аграрной науки: электрон. науч.-практ. журн., 2019. – Вып. 30. – С. 5-12.
18. Polkovskaya M. Modelling of failures of electric network elements based on regression models accounting the trend. International Multi-conference on industrial engineering and modern technologies, FarEastCon 2020, 9271371.
19. Давыденко И. Т. Средства структуризации семантических моделей баз знаний / И.Т. Давыденко // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): материалы VI междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГУИР, 2016. – С. 93-106.
20. Скворцов Н.А. Концептуальное моделирование предметных областей с интенсивным использованием данных / Н.А. Скворцов, Л.А. Калиниченко, Д.Ю. Ковалев // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: XVIII межд. конф. DAMDID RCDL2016. – Москва: Изд-во ФИЦ «Информатика и управление» РАН, 2016. – С. 7-15.
21. Шаулева Н.М. Влияние природно-климатических факторов на эксплуатационную надежность распределительных сетей угольных разрезов. / Н.М. Шаулева, А.Г. Захарова, Д.К. Стариченко // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – № 1. – С. 114-116.
22. Reed D. Electric utility distribution analysis for extreme winds. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 2008, 96, 123-140.
23. Платицын В.А. Практический справочник по построению Онтологий OWL в Protégé 4 URL: <http://www.co-ode.org>. (дата обращения: 25.02.2022).
24. Голенков В.В. Проект открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. Часть 1 / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина // Принципы создания. Онтология проектирования, 2014. – № 1. – С. 42-64.
25. Мокрозуб В.Г. Представление продукционных знаний в реляционных базах данных / В. Г. Мокрозуб // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XV междунар. науч.-метод. конф. – Воронеж: Изд-во Воронежский государственный университет, 2015. – С. 114-117.
26. Осипов Г. С. Методы искусственного интеллекта / Г.С. Осипов // Москва: Физматлит, 2015. – 296 с.
27. Иванько Я.М. Визуализация результатов моделирования отказов элементов в электрической сети / Я.М. Иванько, М.Н. Полковская // Электрические станции, 2021. – № 12(1085). – С. 46-52.

Бендик Надежда Владимировна. Доцент, кандидат технических наук, зав.кафедрой информатики и математического моделирования, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, ORCID: 0000-0002-3097-8953, SPIN: 6088-4232, starkovan@list.ru, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный.

Полковская Марина Николаевна. Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, ORCID: 0000-0002-9646-1818, SPIN: 4833-9212, polk_mn@mail.ru, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный.

UDC 620.9:519.2; 004.9

DOI:10.38028/ESI.2022.28.4.013

Ontological data model for assessing the repeatability of failures of electrical network elements

Nadezhda V. Bendik, Marina N. Polkovskaya

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,

Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, starkovan@list.ru

Abstract. The article is devoted to the development of an ontological data model for assessing the frequency of failures of electrical network elements. The model includes hierarchically ordered classes that characterize emergency shutdowns in detail, as well as various parameters of monitored objects; log of emergency shutdowns; substations; voltage; mathematical models for probabilistic estimation and forecasting, etc. The resulting ontology makes it possible to analyze the causes and duration of emergency shutdowns, power losses, identify in-row relationships, determine regression dependencies, and predict failures using various models. The created ontological data model is focused on the networks of the city of Irkutsk, but it can also be used for networks of other settlements. Based on the developed ontological model, an infological model was built, which is implemented in the database of the information system for assessing the repeatability of failures of electrical

network elements. With the help of the implemented information system, it is possible to carry out a probabilistic assessment and prediction of the number of failures of electrical network elements using various models.

Keywords: electrical network, ontological model, emergency shutdown, class

References

1. Volkov N.G., Sivkov A.A., Saygash A.S. Nadezhnost' elektrosnabzheniya: uchebnoye posobiye [Reliability of power supply]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Publishing house of Tomsk Polytechnic University], 2011, 160 p.
2. Ivanyo Ya.M., Naumov I.V., Polkovskaya M.N. Modelirovaniye otkazov elementov gorodskoy elektricheskoy seti (10 kV) na primere pravoberezhnogo okruga goroda Irkutsk [Modeling of failures of elements of the urban electrical network (10 kV) on the example of the right-bank district of the city of Irkutsk]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2021, no. 9 (203), pp. 87-98.
3. Karamov D.N., Naumov I.V., Perzhabinskiy S.M. Matematicheskoye modelirovaniye otkazov elementov elektricheskoy seti (10 kV) avtonomnykh energeticheskikh sistem s vozobnovlyayemoy raspredelennoy generatsiyey [Mathematical modeling of failures of electrical network elements (10 kV) of autonomous energy systems with renewable distributed generation]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources], 2018, vol. 329, no. 7, pp. 116-130.
4. Xie K., Zhang H., Singh C. Reliability forecasting models for electrical distribution systems considering component failures and planned outages. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2016, vol. 79, pp. 228-234.
5. Shunkevich D. Ontology-based design of knowledge processing machines. Open semantic technologies for intelligent systems, 2017, vol. 1, pp. 73-94.
6. Kizim A., Matokhina A., Nesterov B. Development of ontological knowledge representation model of industrial equipment. Communications in Computer and Information Science, 2015, vol. 535, pp. 354-366.
7. Bendik N.V., Borkhoshkin O.V. Baza znaniy intellektual'noy sistemy podderzhki proizvodstva produktsii rasstaniyevodstva [Knowledge base of the intellectual system to support the production of crop production]. Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki : sb. III nats. (vseros.) nauch. konf. s mezhdunar. uchastiyem. Izdatel'skiy tsentr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta «Zolotoy Kolos» [Publishing Center of the Novosibirsk State Agrarian University "Zolotoy Kolos"], 2020, vol. 1, pp. 26-29.
8. Bova V.V., Kureichik V.V., Scheglov S.N., Kureichik L.V. Multi-level ontological model of big data processing. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, vol. 874, pp. 171-181.
9. Musina D.R., Yangirov A.V., Kharitonov S.V. Ontological model of agro-industrial complex of the region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 - Chapter 2", 2022, pp. 032004.
10. Konev K.A. Prinyatiye resheniy na osnove ontologicheskoy modeli uchebnoy distsipliny [Decision making based on the ontological model of academic discipline]. Informatizatsiya obrazovaniya i nauki [Informatization of education and science], 2020, vol. 4 (48), pp. 124-134.
11. Fedorov O.D., Yashchuk N.R. Ontologicheskaya model' nastavnichestva molodykh uchiteley [Ontological model of mentoring young teachers]. Yaroslavskiy pedagogicheskii vestnik [Yaroslavl Pedagogical Bulletin], 2021, vol. 5 (122), pp. 38-49.
12. Chernykh S.I., Kazantsev K.Yu. Intellektual'nyy kapital regional'nogo vuza: opyt postroyeniya ontologicheskoy modeli [Intellectual capital of a regional university: experience in building an ontological model]. Filosofiya obrazovaniya [Philosophy of education], 2020, vol. 20, no. 2, pp. 5-17.
13. Petrochenkov A.B., Bochkarev S.V., Ovsyannikov M.V., Bukhanov S.A. Construction of an ontological model of the life cycle of electrotechnical equipment. Russian Electrical Engineering, 2015, v. 86, no. 6, pp. 320-325.
14. Vorozhtsova T.N., Makagonova N.N., Masse' L.V. Ontologicheskii podkhod k proyektirovaniyu bazy dannykh dlya otsenki vliyaniya energetiki na okruzhayushchuyu sredu [Ontological approach to database design for assessing the impact of energy on the environment]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and Mathematical Technologies in Science and Management], 2019, no. 3 (15), pp. 31-41.
15. Vorozhtsova T.N., Pesterev D.V., Kuz'min V.R. Semanticheskoye modelirovaniye v issledovaniyakh ustoychivosti energeticheskikh i sotsio-ekologicheskikh sistem [Semantic modeling in studies of the sustainability of energy and socio-ecological systems]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and Mathematical Technologies in Science and Management], 2021, no. 4 (24), pp. 31-43, DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.003.

16. Massel L., Massel A. Ontologies as a basis for constructing digital twins in energy. 2021 International Symposium on Knowledge, Ontology, and Theory, KNOTH 2021, pp. 1-5.
17. Lanin A.V., Polkovskaya M.N., Yakupov A.A. Statisticheskii analiz avariynykh otklyucheniy v elektricheskikh setyakh 10 kV [Statistical analysis of emergency shutdowns in electrical networks 10 kV]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki: elektron. nauch.-prakt. zhurn. [Topical issues of agricultural science: electron. scientific-practical journal], 2019, vol. 30, pp. 5-12.
18. Polkovskaya M. Modelling of failures of electric network elements based on regression models accounting the trend. International Multi-conference on industrial engineering and modern technologies, FarEastCon 2020, 9271371.
19. Davydenko I.T. Sredstva strukturizatsii semanticheskikh modeley baz znaniy [Means of structuring semantic models of knowledge bases]. Otkrytyye semanticheskiye tekhnologii proyektirovaniya intellektual'nykh sistem (OSTIS-2016): materialy VI mezhd. nauch.-tekhn. konf., Minsk, BGUIR, 2016, pp. 93-106.
20. Skvortsov N.A., Kalinichenko L.A., Kovalev D.Yu. Kontseptual'noye modelirovaniye predmetnykh oblastey s intensivnym ispol'zovaniyem dannykh [Conceptual modeling of subject areas with intensive use of data]. Analitika i upravleniye dannyimi v oblastiakh s intensivnym ispol'zovaniyem dannykh: XVIII mezhd. konf. DAMDID RCDL'2016, Moskva: Izd-vo FITS «Informatika i upravleniye» RAN [Moscow: Publishing House of the Federal Research Center "Informatics and Control" RAS], 2016, pp. 7-15.
21. Shauleva N.M., Zakharova A.G., Starichenko D.K. Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh faktorov na ekspluatatsionnyu nadezhnost' raspredelitel'nykh setey ugol'nykh razrezov [Influence of natural and climatic factors on the operational reliability of distribution networks of coal mines]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2020, no. 1, pp. 114-116.
22. Reed D. Electric utility distribution analysis for extreme winds. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 2008, 96, 123-140.
23. Platitsyn V.A. Prakticheskiy spravochnik po postroyeniyu Ontologiy OWL v Protégé 4. Available at: <http://www.co-ode.org>. (accessed: 25.02.2022).
24. Golenkov V.V., Gulyakina N.A. Projekt otkrytoy semanticheskoy tekhnologii komponentnogo proyektirovaniya intellektual'nykh sistem. [The project of open semantic technology of component design of intelligent systems]. Printsipy sozdaniya. Ontologiya proyektirovaniya [Principles of creation. Design ontology], 2014, no. 1, pp. 42-64.
25. Mokrozub, V. G. Predstavleniye produktsionnykh znaniy v relyatsionnykh bazakh dannykh [Representation of production knowledge in relational databases]. Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii : materialy XV mezhdunar. nauch.-metod. konf., Voronezh: Izd-vo Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet [Voronezh: Voronezh State University Publishing House], 2015, pp. 114-117.
26. Osipov G. S. Metody iskusstvennogo intellekta [Methods of artificial intelligence]. Moscow: Fizmatlit [Moscow: Fizmatlit], 2015, 296 p.
27. Ivan'o Ya.M., Polkovskaya M.N. Vizualizatsiya rezul'tatov modelirovaniya otkazov elementov v elektricheskoy seti [Visualization of the results of simulation of failure of elements in the electric network]. Elektricheskiye stantsii [Electric stations]. 2021, no. 12 (1085), pp. 46-52.

Nadezhda Vladimirovna Bendik. Docent, Ph.D, Head of the department of informatics and mathematical modeling, FSBEI HE Irkutsk SAU, ORCID: 0000-0002-3097-8953, SPIN: 6088-4232, starkovan@list.ru, 664038, Russia, Irkutsk Region, Irkutsk region, Molodezhny.

Marina Nikolaevna Polkovskaya. Docent, Ph.D, Docent of the department of informatics and mathematical modeling, FSBEI HE Irkutsk SAU, ORCID: 0000-0002-9646-1818, SPIN: 4833-9212, polk_mn@mail.ru, Russia, Irkutsk Region, Irkutsk region, Molodezhny.

Статья поступила в редакцию 22.07.2022; одобрена после рецензирования 11.10.2022; принята к публикации 01.11.2022.

The article was submitted 07/22/2022; approved after reviewing 10/11/2022; accepted for publication 11/01/2022.