

УДК 621.311

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Гладких Т.Д.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: txgl@yandex.ru

При эксплуатации оборудования распределительных электрических сетей необходимо выполнять мероприятия по поддержанию работоспособности системы электроснабжения. С этой целью обслуживающие предприятия выполняют восстановительные действия, а именно техническое обслуживание и ремонт электрооборудования. Важным является вопрос рациональной организации обслуживания. В статье предложен способ реализации механизма логического вывода для экспертной системы поддержки принятия решений по выбору стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей. Данный механизм является составляющей интеллектуальной системы, которая сопоставляет векторы входных величин с типовым выходным решением. А именно система рекомендует для рассматриваемого электрооборудования распределительных сетей применять одну из стратегий обслуживания: «до отказа», регламентированную (с плано-предупредительными ремонтами) или с учетом технического состояния объекта. В качестве математической основы интеллектуальной системы используется аппарат нечетких множеств. Для получения вывода о рациональной стратегии технического обслуживания входными переменными являются важность и категория потребителя, суммарная наработка и интенсивность отказов оборудования. Интеллектуальная составляющая системы представлена нечеткими продукционными правилами, для формирования которых используется экспертная оценка. Алгоритм нечеткого вывода базируется на методе Мамдани, который наиболее близок логическому мышлению человека.

Ключевые слова: экспертная система, обслуживание электрооборудования, важность потребителя, наработка, нечеткие множества, функции принадлежности

INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE ORGANIZATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT MAINTENANCE

Gladkikh T.D.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: txgl@yandex.ru

Measures to ensure the operability of the power supply system must be carried out during the operation of equipment of distribution electrical networks. For this purpose, service companies perform restoration actions, namely, maintenance of electrical equipment. The issue of rational organization of service is important. The article suggests a way to implement a logical inference mechanism for an expert decision support system for choosing a strategy for maintenance and repair of electrical network equipment. This mechanism is a part of intelligent system that compares the input quantities vectors to a typical output solution. Namely, for electrical equipment, the system recommends using one of the following maintenance strategies: «to failure», regulated (with scheduled preventive repairs) or taking into account the technical condition of the object. The apparatus of fuzzy sets is used as the mathematical basis of an intelligent system. To get a conclusion about a rational maintenance strategy, input variables are used: the importance and category of the consumer, the total operating time and the failure rate of the equipment. The intellectual component of the system is represented by fuzzy production rules, for the formation of which expert evaluation is used. The fuzzy inference algorithm is based on the Mamdani method, which is closest to human logical thinking.

Keywords: expert system, maintenance of electrical equipment, importance of the consumer, operating time, fuzzy sets, accessory functions

Для обеспечения надежного электроснабжения сетевым организациям необходимо выполнять техническое обслуживание (ТО) и ремонт оборудования. Выделяют три основные стратегии ТО и ремонта:

- стратегия «до отказа», при которой восстановление объекта происходит только после аварийного отказа оборудования;
- стратегия «регламентированная», при которой восстановительные мероприятия имеют вид превентивного обслуживания и осуществляются согласно графику плано-предупредительных ремонтов;
- стратегия «по техническому состоянию», при которой решение о необходимости восстановительных мероприятий принима-

ется на основе данных о текущем техническом состоянии объекта.

Наиболее качественным подходом к обслуживанию оборудования считается последняя из указанных стратегий, но не всегда рационально применять ее. Например, экономически нецелесообразно принимать уровень технического состояния в качестве критерия организации ТО для малозагруженных сетей или систем электроснабжения потребителей, не требующих высокого уровня надежности, отключение которых не вызовет значительного экономического ущерба, не повлечет опасности для экологии или жизни людей, не вызовет аварийные ситуации. Следовательно, перед эксплуатаци-

рующими организациями стоит вопрос рационального выбора стратегии ТО и ремонта для электрических сетей.

В настоящее время наиболее часто на предприятиях электроснабжения принята регламентированная стратегия обслуживания, а по факту лишь часть оборудования восстанавливается с установленной периодичностью. На обслуживание некоторого оборудования обслуживающему персоналу не хватает времени, и оно работает до аварийного отказа, часть оборудования восстанавливается при ухудшении технического состояния (независимо от графика планово-предупредительных ремонтов) с целью недопущения опасных ситуаций в сети или у потребителя.

Для координации действий по обслуживанию оборудования электрических сетей ИТР должны учитывать многие факторы и опираться на свой опыт. Для облегчения данной работы необходимо создание экспертных систем поддержки принятия решений (ППР) по эксплуатации электрооборудования. Системы ППР решают многие задачи в разных отраслях: для прогноза оптимальных режимов работы электрооборудования [1]; для выработки рекомендаций по оперативно-диспетчерскому управлению системой электроснабжения [2]; для решения задач по повышению надежности технических систем при эксплуатации [3, 4].

Типовая экспертная система содержит следующие функциональные блоки [5, 6]: база знаний и данных, блок хранения данных, пользовательский интерфейс и механизм логического вывода.

Экспертная система должна быть универсальной, чего можно достичь, если сделать ее многоуровневой. Определим некоторые возможные уровни для нашего случая:

- уровень принятия решений по стратегии обслуживания;
- уровень принятия решений по срокам проведения диагностирования оборудования (оценка технического состояния);
- уровень определения периодичности планово-предупредительных ремонтов;
- уровень оценки необходимого объема запасных частей и оборудования;
- уровень оценки трудоемкости ТО и ремонта с учетом состояния оборудования.

Разработка экспертной системы ППР является комплексной работой и не может быть рассмотрена в рамках одной статьи. Каждый блок системы имеет свою специфику и требует индивидуальной разработки.

Целью данного исследования является разработка механизма логического вывода для экспертной системы поддержки принятия решений по выбору стратегии

технического обслуживания и ремонта для оборудования распределительных электрических сетей.

Механизм («двигатель») логического вывода является ядром экспертной системы, так как на основании алгоритмов осуществляет сопоставление текущих данных с базой знаний и установленными правилами для получения наиболее подходящего решения. Тем самым имитируется процесс принятия решения человеком. Таким образом, механизм логического вывода является главной составляющей интеллектуальной системы.

Материалы и методы исследования

Системы поддержки принятия решений часто оперируют в областях со значительной неопределенностью и используют не только количественные, но и качественные показатели [7]. В связи с этим применение аппарата нечетких множеств обосновано как позволяющее оперировать качественными и неточными параметрами.

Входными данными для разрабатываемой интеллектуальной системы являются нечеткие множества:

- важность объекта электроснабжения;
- интенсивность отказов оборудования электрических сетей;
- суммарная наработка электрооборудования;
- категория потребителя по надежности электроснабжения.

Под важностью объекта электроснабжения понимаем относительную потребляемую мощность потребителя, которая характеризуется коэффициентом важности w_i , как отношение расчетной (или установленной) P_i мощности объекта электроснабжения к мощности потребителя P_{MAX} , характеризуемого максимальным потреблением из объектов данной сети: $w_i = P_i / P_{MAX}$ (отн.ед.).

Интенсивность отказов f_i (1 год) может быть определена по статистическим данным или по средней наработке оборудования, указанной в технической документации.

Суммарная наработка T_i (год) оборудования определяется по паспортам оборудования, исполнительным документам и актам допуска энергоустановки. В данной работе для количественного описания суммарной наработки используем коэффициент наработки $t_i = T_i / T_c$ (отн.ед.) как отношение суммарной наработки к сроку службы P_c оборудования, установленному НТД.

Категория потребителя $K_i = [0,1,2,3]$ определяется актами технологического присоединения.

Одной из проблем разработки системы ППР является формирование базы правил, которая опирается на экспертную оценку

нескольких специалистов. Решение данной задачи рассмотрено в [8], где применяется итерационный алгоритм на базе сети Петри.

Результаты исследования и их обсуждение

Для описания входных данных нечеткими множествами введем лингвистические переменные (ЛП): важность (W), интенсивность отказов (F), суммарная наработка (T) и категория потребителя (K).

Для фаззификации четких входных данных (коэффициента важности w_i , интенсивности отказов f_i , коэффициента наработки t_i и категории потребителей K_i) используем нечеткие интервалы, которые описываются следующими терминами:

– ЛП «важность» – терминами «высокая» W1, «средняя» W2, «низкая» W3, которые описываются треугольными функциями принадлежности, подмножества выделены экспертно;

– ЛП «интенсивность отказов» – терминами «высокая» F1, «средняя» F2, «низкая» F3. Множество определяется тремя равными подмножествами на интервале от 0 до интенсивности отказа оборудования с наихудшим показателем безотказности (как правило, это воздушные или кабельные линии с учетом их длины);

– ЛП «суммарная наработка» – терминами «новое» T1, «приработанное» T2, «длительно эксплуатируемое» T3, «старое» T4. Термы выделены с учетом «корытообразной» характеристики изменения интенсивности отказов для технических объектов;

– ЛП «категория потребителей» – «нулевая» (особая первая) K0, «первая» K1, «вторая» K2 и «третья» K3. Нечеткость данных подмножеств условна, так как входная величина четко определяет принадлежность к одному из термов с функцией принадлежности $\mu_{K_i} = 1$.

Универсум решений о рекомендуемой стратегии ТО и ремонта S (выходное множество) определяется следующими подмножествами: «обслуживание до отказа» S1, «регламентированная стратегия» S2, «обслуживание с учетом технического состояния» S3. Подмножества описываются следующим образом: $S_k = \{S_i, \mu_{S_i}(S_k); S_i \in S\}$, где S_k – типовая ситуация k -подмножества [S1, S2, S3]; S_i – текущая i -я ситуация; μ_{S_i} – степень принадлежности i -й ситуации к k -подмножеству.

При формировании продукционных правил использованы экспертные данные, полная база правил состоит из 144 комбинаций входных данных. Пример правил нечеткого вывода имеет вид:

- Если $w_i = W1$ & $f_i = F1$ & $t_i = T1$ & $K_i = K0$, то $S_i = S1$;
 Если $w_i = W1$ & $f_i = F2$ & $t_i = T2$ & $K_i = K0$, то $S_i = S1$;
 Если $w_i = W1$ & $f_i = F2$ & $t_i = T3$ & $K_i = K0$, то $S_i = S2$;
 Если $w_i = W2$ & $f_i = F2$ & $t_i = T3$ & $K_i = K1$, то $S_i = S2$;
 Если $w_i = W3$ & $f_i = F2$ & $t_i = T3$ & $K_i = K2$, то $S_i = S3$;
 Если $w_i = W3$ & $f_i = F3$ & $t_i = T3$ & $K_i = K3$, то $S_i = S3$.

В работе применяем нечеткий вывод по алгоритму Мамдани, который хорошо подходит в качестве основы для систем поддержки принятия решений, так как моделирует мыслительную деятельность человека. Тем не менее в некоторых случаях требуется корректировка правил нечеткого вывода.

Пример нечеткого вывода при входных параметрах $w_i = 0.6$, $f_i = 0.02$, $t_i = 0.8$, $K_i = 1$ представлен на рисунке 1. На данном рисунке видны результаты агрегирования и аккумуляции данных. Для определения численного значения выходного параметра применен центроидный метод. В результате получено нечеткое значение $S_i = 1.76$, определяющее решение о рекомендуемой стратегии ТО и ремонта. Полученный выходной параметр имеет наибольшую степень принад-

лежности к нечеткому подмножеству S2. На этапе дефаззификации получаем четкий вывод о рекомендуемой стратегии обслуживания, то есть для рассматриваемого электросетевого оборудования это регламентированная стратегия.

На рисунке 2 представлен график поверхности возможных значений множества S при наработке оборудования 50% от срока службы и потребителе 2-й категории по надежности электроснабжения. Анализ графика показывает, что для рассматриваемого оборудования можно применять стратегию ТО и ремонта «до отказа» только в случае малой важности потребителя ($w_i \leq 0.2$) и при малых значениях интенсивности отказов $f_i \leq 0.03$. Регламентированная стратегия может применяться для электрооборудования

с важностью потребителей $0.2 < w_i < 0.4$. Основная рекомендуемая стратегия обслуживания для данного случая «по техническому состоянию» S1.

На рисунке 3 представлен график поверхности множества значений S для потребителя 3-й категории по надежности электроснабжения при прочих равных ус-

ловиях относительно рисунка 2. График показывает целесообразность применения только стратегий «до отказа» или «регламентированной» для оборудования, характеризующегося указанными входными данными. Для данного типа объектов нерационально применять обслуживание с учетом технического состояния.

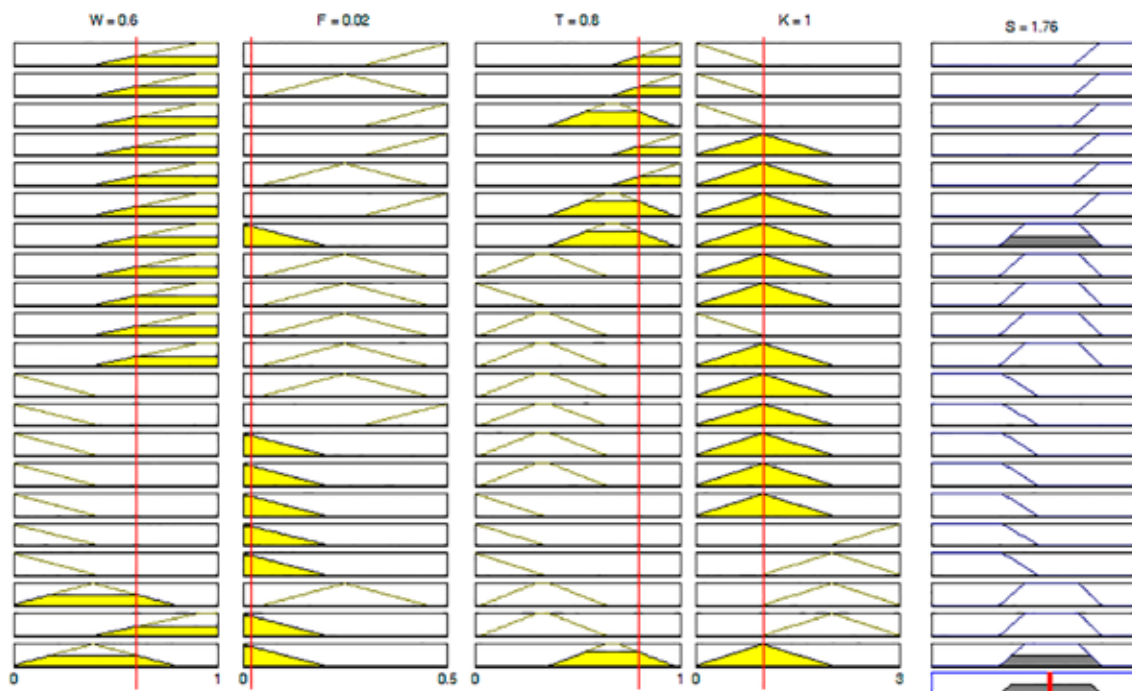


Рис. 1. Фрагмент результата нечеткого вывода

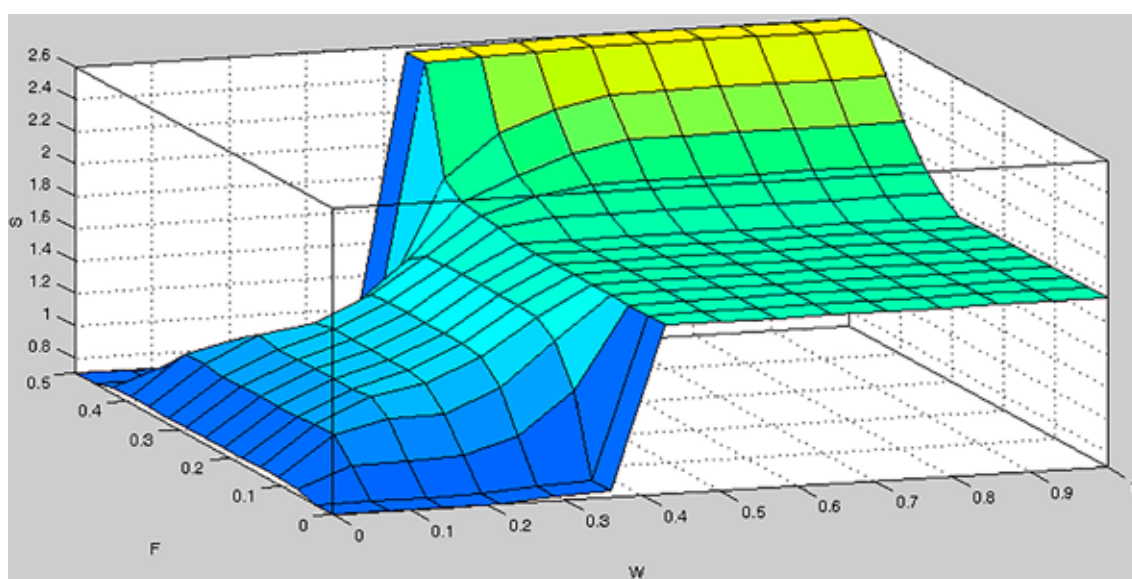


Рис. 2. График множества значений для универсума решений о рекомендуемой стратегии ТО и ремонта для потребителя 2-й категории при изменении коэффициента важности и интенсивности отказов оборудования

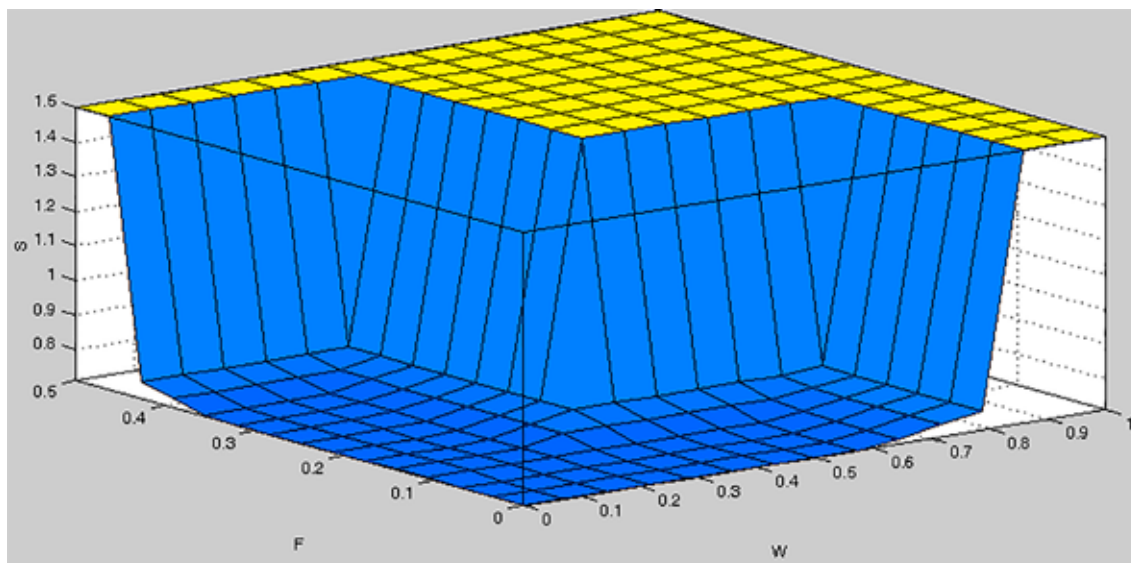


Рис. 3. График множества значений для универсума решений о рекомендуемой стратегии ТО и ремонта для потребителя 3-й категории при изменении коэффициента важности и интенсивности отказов оборудования

Заключение

Таким образом, предложен механизм логического вывода системы принятия решений, который может применяться для формирования экспертных систем по организации эксплуатации электрооборудования электрических сетей.

Предложенная интеллектуальная система может быть усовершенствована с учетом таких важных факторов, как техническое состояние оборудования, внешние условия функционирования объектов, имеющиеся трудовые ресурсы и др. Кроме того, подобную интеллектуальную систему можно реализовать на основе искусственных нейронных сетей, осуществляющих кластеризацию.

Развитие подобных систем поддержки принятия решений для сетевых компаний позволит снизить нагрузку на ИТР, осуществляющих организацию эксплуатации, и повысить эффективность деятельности ремонтных бригад.

Список литературы

1. Устюгов Н.В., Проталинский О.М., Андриюшин А.В. Система поддержки принятия решений в процессе электро-

потребления инженерного объекта // Датчики и системы. 2020. № 9-10(251). С. 14-20.

2. Карелин А.Е., Береза А.Н. Экспертная система для поддержки принятия решений оператора в системе электропитания города // Инженерный вестник Дона. 2019. № 4(55). С. 28.

3. Парашук И.Б., Ходунов А.А., Михайличенко А.В. Система поддержки принятия решений в задачах анализа надежности центров обработки данных // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. 2022. Т. 1. № 13. С. 12-19.

4. Проталинский О.М., Шведов А.Ю., Ханова А.А. Система поддержки принятия решений управления жизненным циклом электрооборудования // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2021. № 5. С. 108-116.

5. Agarwal M., Goel S. Expert system and its requirement engineering process. International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014). 2014. P. 1-4. DOI: 10.1109/ICRAIE.2014.6909306.

6. Peng L., Zhong M.X., Bin L. Application of expert system in mine power supply network fault diagnosis. 2017 Chinese Automation Congress (CAC). 2017. P. 7251-7254. DOI: 10.1109/CAC.2017.8244087.

7. Глушенко С.А., Долженко А.И. Нейро-нечеткая система поддержки принятия решений управления рисками проектов в условиях неопределенности // Научные труды Вольного экономического общества России. 2018. Т. 212. № 4. С. 481-502.

8. Pengfei P., Yating L., Linru Z. Research on Interactive Collaborative Decision-Making Method of Equipment Support Task Planning, 2020 5th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS). 2020. P. 533-537. DOI: 10.1109/ICCCS49078.2020.9118468.