

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дубров В.И.¹

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: rektorat@npi-tu.ru

Произведен обзор основных технологий обнаружения аномалий (anomaly detection). Выбраны две наиболее распространённые технологии для внедрения в предложенный ранее двухэтапный алгоритм диагностики высоковольтного коммутационного оборудования: более отложенный статистический подход и относительно новый метод, основанный на аппарате нечеткой логики. Был проведен сравнительный анализ выбранных технологий обнаружения аномалий (обнаружение отклонений от нормального состояния) по таким параметрам как сложность построения модели, ее адекватность, скорость обработки новых данных. Для подтверждения результатов анализируемый первый этап алгоритма диагностики смоделирован в системе математического моделирования Matlab с применением двух выбранных аппаратов обнаружения аномалий. Приведены результаты работы алгоритма, и определены условия применения каждой из технологий. Была обобщена структура двухэтапного алгоритма диагностики.

Ключевые слова: высоковольтное коммутационное оборудование, интеллектуальная диагностика, обнаружение аномалий, нечеткая логика, статистика.

APPLICATION TECHNOLOGY ANOMALY DETECTION IN THE PROBLEM OF DIAGNOSTICS OF THE HIGH SWITCHING EQUIPMENT

Dubrov V.I.¹

¹Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia (346428, Novocherkassk, street Prosvescheniya, 132), e-mail: rektorat@npi-tu.ru

By reviewing the basic technology for the detection of anomalies (anomaly detection). Selected the two most common technologies for implementation in the previously proposed two-step algorithm for diagnosis of high-voltage switching equipment: a deferred statistical approach and relatively new method based on fuzzy logic. A comparative analysis of selected technologies anomaly detection (detection of deviations from the normal state) as the complexity of the construction of the model, its relevance, speed of processing of new data. To confirm the results of the first phase analyzed the diagnostic algorithm is modeled in mathematical modeling system Matlab using two selected detect anomalies apparatus. Shows the results of the algorithm and defines the conditions the use of each technology. Was generalized structure of a two-stage the diagnostic algorithm.

Keywords: high-voltage switchgear, intelligent diagnostics, anomaly detection, fuzzy logic, statistics.

Введение

Раздел науки «идентификация аномалий» (anomaly detection) получил большое распространение за рубежом. К этому разделу относят различные математические аппараты, которые могут применяться для обнаружения отклонений от нормального состояния исследуемого объекта или системы. В этой области выделяют несколько основных направлений: статистические методы, экспертные системы, методы на основе нейронных сетей [8].

Одним из направлений применения данных математических технологий – это контроль и диагностика состояния объекта, при которых возникшая аномалия (отклонение от нормального состояния) системы свидетельствует о существующей неисправности в ней.

Сравнительный анализ трех основных разделов идентификации аномалий, представленный в [8] показал, что применение нейронных сетей для решения задачи диагностики наиболее предпочтительно. Ранее был разработан алгоритм диагностики высоковольтного коммутационного оборудования [4], основанный на применении аппарата вейвлет-анализа и нейронных сетей. Однако, в работе [5] были описаны существенные недостатки совместного применения вейвлет-анализа и нейронных сетей: большие объемы данных, долгое время обучения, и, следовательно, относительно большое время идентификации неисправностей и значительные затраты вычислительных ресурсов.

Был предложен двухэтапный алгоритм диагностики, представленный на рис. 1 [2, 3].



Рис. 1. Двухэтапный алгоритм для диагностики высоковольтного коммутационного оборудования

В представленном алгоритме описанные выше недостатки применения нейронных сетей к задаче диагностики высоковольтного коммутационного оборудования решаются разделением процесса диагностики на два этапа (рис. 1). В первом этапе диагностики

осуществляется идентификация неисправности по временным параметрам высоковольтного выключателя (собственное время отключения, полное время отключения и собственное время включения, разновременность включения фаз). На втором этапе нейронная сеть определяет вид неисправности по рассчитанному вейвлет-спектру скоростной характеристики. Переход ко второму этапу диагностики осуществляется после подтверждения первым этапом наличия какой-либо неисправности (обнаружения отклонений от нормального состояния).

В данной статье проводится сравнительный анализ применения на первом этапе алгоритма диагностики высоковольтного коммутационного оборудования статистической классификации и экспертной системы, построенной на базе нечеткой модели временных параметров высоковольтного коммутационного аппарата. Приводятся зависимости выхода нечеткой и статистической моделей (исправность/неисправность выключателя) от полученных входных переменных. Демонстрируются статистическая и нечеткая модели, построенные в пакете математического моделирования *Matlab*.

Цель работы: сравнительный анализ статистической и нечеткой моделей диагностики высоковольтного коммутационного оборудования по временным параметрам.

Материал и методы исследований: диагностика высоковольтных выключателей, статистическая классификация, нечеткая логика, математическое моделирование с использованием системы для математических вычислений *Matlab*.

Результаты и обсуждение

Для сравнительного анализа статистической и нечеткой моделей высоковольтного коммутационного аппарата был выбран высоковольтный выключатель ВПМ-10-20/630 У3 со следующими характеристиками [1]:

Номинальное напряжение, кВ: 10;

Наибольшее рабочее напряжение, кВ: 12;

Номинальный ток, А: 1000;

Номинальный ток отключения, кА: 20;

Номинальный ток включения, кА: 52;

Собственное время отключения, мс: 120;

Полное время отключения, мс: 140;

Собственное время включения, мс: 300.

Основными параметрами для сравнения выбираются сложность построения модели, ее адекватность, скорость обработки новых данных.

В качестве параметров для построения нечеткой модели были выбраны собственное время

отключения, полное время отключения и собственное время включения. Учитывая номинальные значения этих параметров, в нечеткой модели были заданы следующие возможные диапазоны их изменения:

Собственное время отключения ($t_{own.off}$), мс: 110-130;

Полное время отключения ($t_{complete.off}$), мс: 130-150;

Собственное время включения ($t_{own.on}$), мс: 290-310.

Также к этим трем основным параметрам были добавлены еще шесть дополнительных параметров, учитывающих разность во времени срабатывания фаз 1-2 ($t_{1-2.off}$), 2-3 ($t_{2-3.off}$), 3-1 ($t_{3-1.off}$) отключения и 1-2 ($t_{1-2.on}$), 2-3 ($t_{2-3.on}$), 3-1 ($t_{3-1.on}$) включения. Для этих шести параметров принят диапазон изменения 0-20 мс .

Для нечеткой модели были использованы треугольные функции принадлежности, оператор пересечения – MIN, оператор объединения – MAX [9].

С использованием описанных переменных экспериментальным путем были построены нечеткие правила:

1. Если $t_{own.off}=120$ И $t_{complete.off}=140$ И $t_{own.on}=300$ И $t_{1-2.off}=0$ И $t_{2-3.off}=0$ И $t_{3-1.off}=0$ И $t_{1-2.on}=0$ И $t_{2-3.on}=0$ И $t_{3-1.on}=0$ ТО выключатель исправен.
2. Если $t_{own.off}=110$ ИЛИ $t_{complete.off}=130$ ИЛИ $t_{own.on}=290$ ИЛИ $t_{1-2.off}=20$ ИЛИ $t_{2-3.off}=20$ ИЛИ $t_{3-1.off}=20$ ИЛИ $t_{1-2.on}=20$ ИЛИ $t_{2-3.on}=20$ ИЛИ $t_{3-1.on}=20$ ТО выключатель неисправен.
3. Если $t_{own.off}=130$ ИЛИ $t_{complete.off}=150$ ИЛИ $t_{own.on}=310$ ИЛИ $t_{1-2.off}=20$ ИЛИ $t_{2-3.off}=20$ ИЛИ $t_{3-1.off}=20$ ИЛИ $t_{1-2.on}=20$ ИЛИ $t_{2-3.on}=20$ ИЛИ $t_{3-1.on}=20$ ТО выключатель неисправен.

Работа полученной модели была смоделирована на графическом программном языке Simulink [6] (см. рис. 2). Данная модель может быть использована при построении интеллектуальных диагностических систем различных типов коммутационного оборудования электрических подстанций.

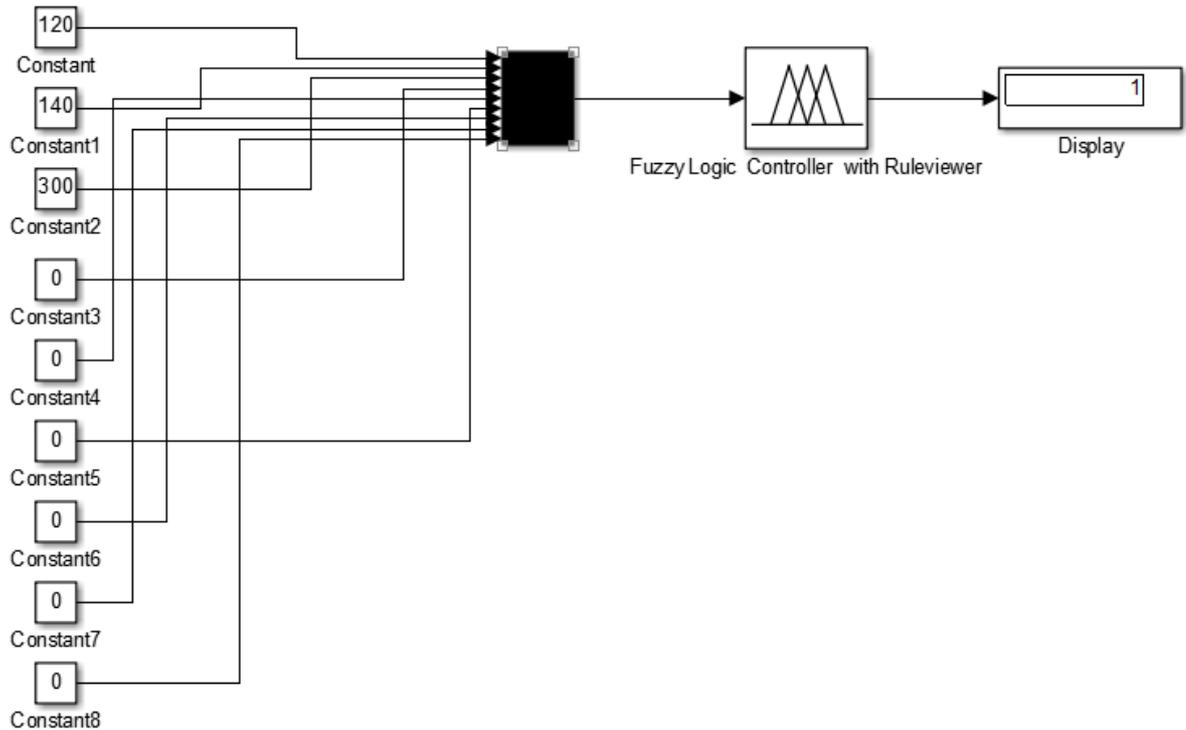


Рис. 2. Моделирование работы нечеткой модели в программной среде *Simulink*

Особенности построения нечеткой модели:

- отсутствует необходимость в библиотеке примеров;
- необходимо наличие априорной информации об объекте, заключающееся в кратком описании эксперта о примерных уровнях значений анализируемых параметров.

Алгоритм построения статистической модели обнаружения аномалий следующий [7]. Выбирается библиотека значений x , которые принимают аномальные значения. Затем на основании значений x рассчитываются математическое ожидание μ и дисперсия σ^2 по следующим формулам:

$$\mu = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m x_i,$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m (x_i - \mu)^2,$$

где m – количество значений x в библиотеке, i – номер элемента x из библиотеки.

Затем рассчитывается вероятность появления комбинации анализируемых параметров

$$p(x) = \prod_{j=1}^n p(x_j; \mu_j; \sigma_j^2) = \prod_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_j^2}} \exp\left(-\frac{(x_j - \mu_j)^2}{2 \cdot \sigma_j^2}\right),$$

где n – количество анализируемых параметров x , j – номер параметра x из библиотеки.

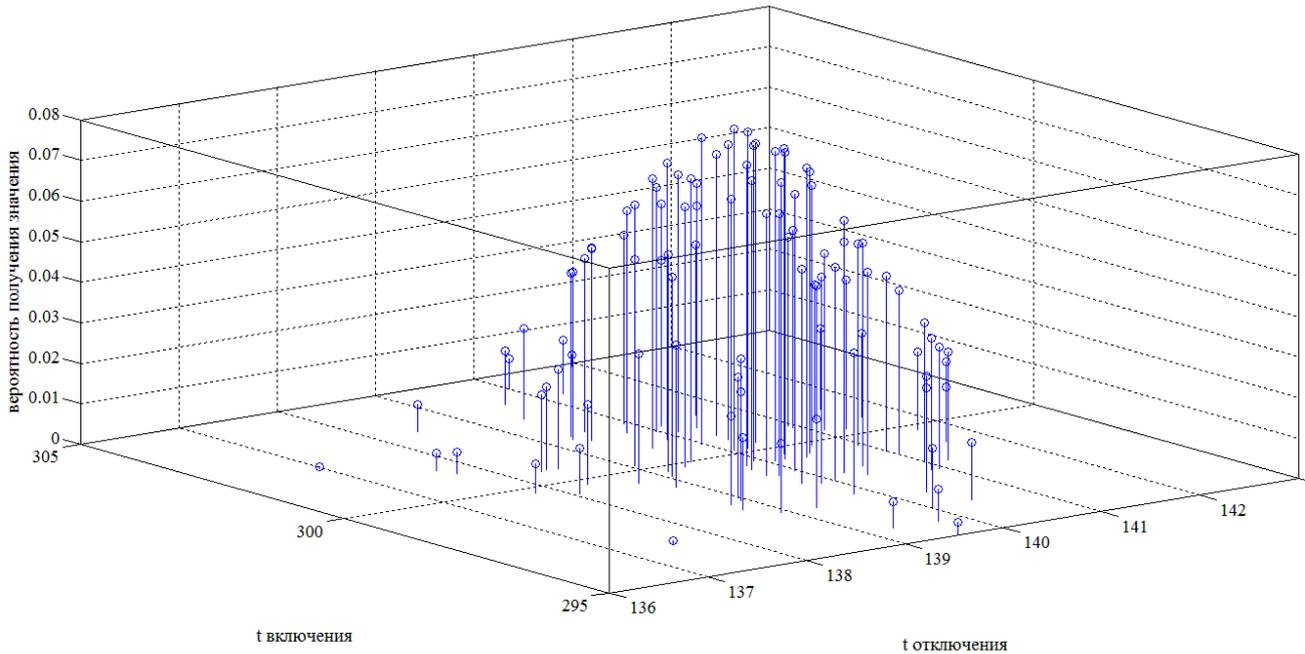


Рис. 3. Зависимость вероятности появления комбинации параметров время включения ($t_{\text{вкл}}$) и время отключения ($t_{\text{выкл}}$) от значений этих параметров

Устанавливается пороговое значение ε . Если условие $p(x) > \varepsilon$ не выполняется, то имеет место аномалия, в данном случае, в исследуемом объекте присутствует неисправность.

У статистического метода имеется ряд особенностей:

- необходимо наличие небольшого количества положительных примеров для построения модели;
- большое количество отрицательных примеров (с присутствием аномалии) для построения модели;
- наличие статистической информации об анализируемых параметрах;
- различает большое количество аномалий, соответственно неисправностей.

В таблице 1 приведены временные параметры работы обеих моделей.

Таблица 1.

Модель	Время выполнения, сек.	Наличие априорной информации
Нечеткая	0,004	Мнение эксперта
Статистическая	0,0009	1) Библиотека примеров; 2) Значения вероятностей.

Анализ полученных моделей на примере высоковольтного выключателя ВПМ-10-

20/630 УЗ позволил сделать следующие выводы.

Выводы

1. «Интеллектуализация» диагностических систем позволяет на основе эмпирического опыта с легкостью автоматизировать довольно сложные системы. В частности, применение нечеткой логики уменьшает вычислительные затраты в связи с использованием приближенных вычислений. Однако в случае, когда нечеткое моделирование можно заменить несколькими несложными формулами расчета вероятности, по скорости выполнения статистическая модель становится предпочтительной.
2. Как статистическая, так и нечеткая модели правильно выделяли аномальные примеры при тестировании, поэтому обе модели по точности диагностики находятся на одном уровне.
3. Статистическая модель в связи с особенностью построения наиболее предпочтительна к применению в случаях, когда имеется библиотека примеров с заранее известными статистическими параметрами, в частности, вероятностью получения значения данного параметра.
4. Нечеткая модель становится предпочтительной в случае отсутствия статистического описания объекта, при наличии подготовленного экспертом его априорного описания.

Статья подготовлена по результатам работ, полученным в ходе выполнения проекта № СП-1967.2013.1, реализуемого в рамках программы "Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики".

Список литературы

1. Выключатели. Масляные. ВПМ-10-20/630 УЗ // Энергетика. Оборудование. Документация. URL: <http://forca.ru/v/sobi2Task,sobi2Details/catid,0/sobi2Id,380/>. (Дата обращения: 07.02.2013).
2. Дубров В.И. Адаптация двухэтапного алгоритма диагностики высоковольтного коммутационного оборудования под задачу диагностики электромагнитных механизмов. // Студенческая научная весна - 2013 : материалы Межрегион. науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых Южного федерального округа / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013.
3. Дубров В.И., Кириевский В.Е. Двухэтапный алгоритм диагностики высоковольтных выключателей по скоростным характеристикам с использованием методов спектрального анализа // Контроль. Диагностика. - 2012. - № 10.
4. Дубров В.И., Кириевский В.Е. Применение вейвлет-анализа для диагностики

высоковольтных выключателей по скоростным характеристика // Контроль. Диагностика. - 2012. - № 7.

5. Дубров В.И. Оптимизация параметров интеллектуальной диагностической системы высоковольтных выключателей // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8256> (дата обращения: 31.01.2013).
6. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. СОЛОН-ПРЕСС, 2009. 454 с.
7. Chandola V.; Banerjee, A.; Kumar, V. (2009). "Anomaly detection: A survey". ACM Computing Surveys 41 (3): 1. doi:10.1145/1541880.1541882.
8. Hans-Peter Kriegel, Peer Kröger, Arthur Zimek (2009). "Outlier Detection Techniques (Tutorial)". 13th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD 2009) (Bangkok, Thailand). Retrieved 2010-06-05.
9. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control (Studies in Fuzziness and Soft Computing). Physica. 2001. P. 742.

Рецензенты:

Горбатенко Н.И., д.т.н., профессор, первый проректор, ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г.Новочеркасск.

Колпахчян П.Г., д.т.н., профессор кафедры "Электромеханика и электрические аппараты", ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г.Новочеркасск.