

УДК 621.311.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ 220 КВ С ЦЕЛЬЮ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСТВОРЁННЫХ ГАЗОВ, С ПОМОЩЬЮ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОГО РЕГУЛЯТОРА

Тихонов В.А.*ФГАОУ ВО «Братский государственный университет», Братск, e-mail: tikhonovva00@mail.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию влияния содержания растворённых газов в масле трансформатора и систематизации базы хранения знаний о состоянии трансформатора по динамике развития этих газов. В настоящее время существующие методики использования данных по анализу растворённых газов разобщены и зависят от уровня их подготовки соответствующим экспертом. Они не систематизируются в единую систему и не могут влиять быстро на процесс диагностики. Разработанный метод использования базы знаний и работы экспертного регулятора позволяет накапливать многократно условия работы контролируемого электрического оборудования, что позволяет проводить самообучение экспертного регулятора и достигать чёткого вывода при определении состояния электрооборудования, в частности трансформаторов 220 кВ. Выполнен анализ и сравнение методов обработки информации на основе нейросетевого регулятора и регулятора на основе нечёткой логики. Обусловлено это неоднозначным выводом экспертного заключения при изменяющейся ситуации. При этом определено количество вершин графа знаний. Оптимальное число вершин для обеспечения непрерывной работы регулятора выбрано нечётным. Разработанный метод оценки эксплуатационных параметров электрооборудования и трансформаторов напряжением 220 кВ с помощью базы знаний экспертного регулятора позволяет получить достоверную информацию о техническом состоянии и обоснованно выбрать рациональный срок проведения профилактических работ.

Ключевые слова: диагностика, анализ, сбор данных, экспертный регулятор

INVESTIGATION OF 220 KV TRANSFORMERS WITH THE PURPOSE OF CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS OF SOLUBLE GASES, BY USING THE KNOWLEDGE OF EXPERT REGULATOR KNOWLEDGE

Tikhonov V.A.*Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Bratsk State University, Bratsk, e-mail: tikhonovva00@mail.ru*

This article is devoted to the study of the effect of the content of dissolved gases in the transformer oil and the systematization of the knowledge base on the state of the transformer in terms of the dynamics of these gases. Currently, existing methods for using data on the analysis of dissolved gases are disconnected and depend on the level of their preparation by the relevant expert. They are not systematized into a single system and can not affect quickly the process of diagnosis. The developed method of using the knowledge base and the work of the expert regulator allows accumulating the conditions for the operation of the monitored electrical equipment many times, which makes it possible to carry out the self-training of the expert regulator and achieve a clear conclusion when determining the state of electrical equipment, in particular 220 kV transformers. The analysis and comparison of information processing methods based on a neural network controller and a controller based on fuzzy logic is performed. This is due to the ambiguous conclusion of the expert opinion in the changing situation. The number of vertices of the knowledge graph is determined. The optimal number of vertices to ensure continuous operation of the regulator is selected – odd. The developed method for estimating the operational parameters of electrical equipment and transformers with a voltage of 220 kV using the knowledge base of the expert regulator allows obtaining reliable information on the technical condition and reasonably choosing a rational period for carrying out preventive works.

Keywords: diagnostics, analysis, data collection, expert regulator

Электрическое оборудование является неотъемлемой частью жизни нашего общества. Поэтому владение в совершенстве эксплуатацией этого оборудования является важнейшим вопросом в настоящее время. В силу многих обстоятельств в нашей стране используется большое количество средств диагностики силового электрооборудования, находящегося в эксплуатации [1]. Но их применение сводится к определению параметров контроля и устранению несоответствий объекта исследования. Тогда как подробный анализ полученных данных и состояний объекта проводится крайне редко. В основном его проведение зависит

от субъективных факторов и комплектации и количества АСУ на объекте. Данное положение дел с каждым годом перестает удовлетворять все более увеличивающиеся требования к надёжности электроснабжения. Плохая экономическая ситуация на рынках не позволяет приобретать дорогостоящее высоковольтное оборудование, которое на многих объектах отработало свой нормативный ресурс и в основном было пущено в эксплуатацию в 1960–1980-х гг. Между тем после этого периода большинство российских электрозаводов закрылось из-за отсутствия заказов или работает на грани существования с потерей квалифицирован-

ных кадров. При продолжении такой ситуации через 10 лет старое оборудование будет массово выходить из строя, а новое оборудование заводы восполнить в короткие сроки будут не в состоянии. Поэтому резонно встает вопрос о срочном введении программы замены высоковольтного оборудования. Но делать это необходимо эффективно и грамотно. Для этого всецело используя передовые разработки в области системного анализа и построив новую модель анализа и обработки данных, а также новый подход к управлению эксплуатацией высоковольтного оборудования, решаются поставленные задачи.

В качестве приоритетных методов исследований первичной оценки состояния оборудования, используется его диагностика, как в отключенном, так и в работающем под нагрузкой состоянии. В работе рассматриваются методы исследования трансформаторов, с целью высоковольтных испытаний трансформаторов и с целью хроматографического анализа растворенных газов. Метод высоковольтных испытаний проводится в отключенном и выведенном в ремонт состоянии трансформатора. Он неудобен с точки зрения цикличности замера и сложности отключения трансформатора. Метод хроматографического анализа газов проводится на работающем состоянии трансформатора и очень удобен, так как не зависит от отключения трансформатора, не имеет цикличности и даёт более полную картину о состоянии трансформатора. В работе выбран хроматографический метод.

Для управления данными хроматографического анализа масла разрабатывается система управления состоянием и эксплуатацией электрооборудования. Так как данные о состоянии трансформатора постоянно меняются и зависят от его режима работы, в системе использован искусственный интеллект. Актуальность проблемы использования систем искусственного интеллекта [2] в диагностике высоковольтного электрооборудования для промышленных предприятий определяется важностью в бесперебойном обеспечении электрической энергии, а также наличием сложной структуры преобразования, распределения и потребления с огромным количеством оборудования разного типа. При определении параметров диагностики электрооборудования наиболее широкое применение получают системы, в основе которых используются экспертный регулятор. Такие системы получили название экспертных систем. Экспертные системы решают задачу автоматизации использования базы знаний, накопления опыта конкретных операторов. Несмотря на развитие данного направления

в науке, экспертные системы не позволяют в данное время заменить существующие системы на предприятиях электроэнергетики и позволить безошибочно работать эксплуатационному персоналу [3]. Во многом это связано с большим объёмом меняющейся информации об оборудовании и учётом опыта работы конкретных специалистов.

При таком подходе к анализу данных, уже недостаточно одного только их архивирования. Необходима разработка подсистемы в большой системе базы и архивирования знаний, экспертной системы. Все знания хранятся в базе знаний и структурированы по графу знаний. Экспертная система должна подключаться к базе знаний и постоянно обновлять её выводы. Впоследствии она сможет сама вывести необходимый вывод без участия человека. Рассматривая нейросетевые регуляторы и регуляторы с нечётким выводом знаний, выбран экспертный регулятор на основе нечёткого вывода. Обусловлено это неоднозначным выводом экспертного заключения при изменяющейся ситуации. При этом определено количество вершин графа знаний. Оптимальное число вершин для обеспечения непрерывной работы регулятора выбрано нечётным. При таком подходе регулятор сможет самостоятельно накапливать знания на основе выводов экспертов и сохранять их у начала графа знаний, так как сможет вернуться к истоку формирования заданных параметров.

Целью метода является разработка функциональных принципов организации экспертной системы для диагностики электрооборудования. Она должна анализировать неоднозначные ситуации. А также самообучаться новым знаниям из базы знаний и накопленного опыта, и применять эти знания для эффективной [4] эксплуатации электрооборудования.

В условиях эксплуатации преобразовательных трансформаторов в алюминиевом производстве возникают различные режимы работы, такие как прохождение токов короткого замыкания, сверхнормативный срок эксплуатации, режимы резко-переменных нагрузок. Эти режимы требуют постоянного контроля за состоянием преобразовательных трансформаторов. В итоге появляется большой массив данных при различных работах и нагрузках, что требует сопоставления многих параметров и их анализа. Поэтому создание разного рода архивов ускоряет процесс анализа, но не исключает ошибочных выводов и зависит от времени обработки данных экспертом. В данном исследовании предлагается разработать метод сбора и хранения информации в виде графа знаний (рис. 1).

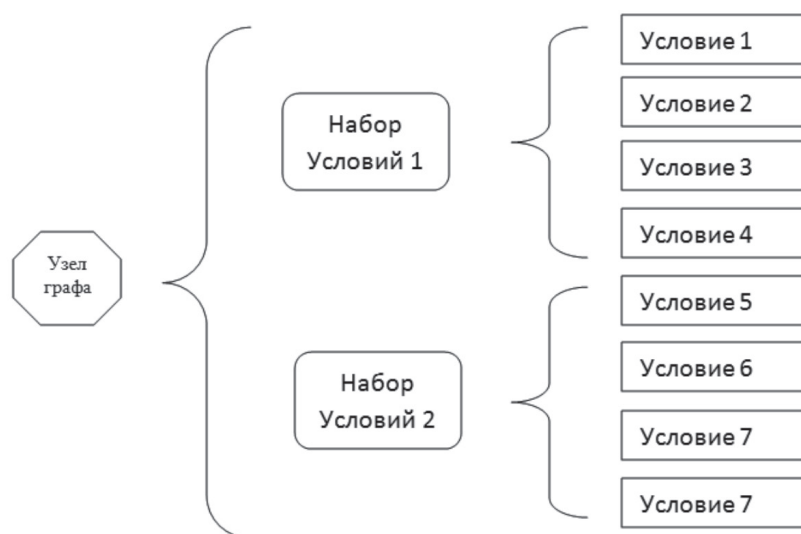


Рис. 1. Узел трехпозиционной части графа

В предложенном графе знаний (рис. 1) расположены три позиции – каждая из своих элементов:

1-я позиция – наименование параметра для оценки. Это величина числовая, например, наличие газов в масле, температура контактов;

2-я позиция – именное число; необходимый оценочный параметр – это свойство объекта. Цвет, наличие примесей характеризующее его как светлое, прозрачное, матовый, грязное или наличие – отсутствие и т.д.

3-я позиция – взаимоотношение от двух предыдущих позиций. Для количественных – «больше» или «меньше» («>», «<») для качественных это условие может быть только «равно» («=»). Нечисловая позиция – связи «больше» и связи «меньше» принимают отношение «неравно» либо отсутствие условия как такового.

Все эти условия уникальны и их сочетания характеризуют уникальность исследуемого объекта. Но если уже есть такое условие, можно просто ввести его повторно.

Далее условия удобно хранятся в таблице позиций объекта.

В результате исследования мы получили отношение «ИЛИ» на двух позициях: между элементами условий и между группами элементов условий (рис. 1). Утверждение «И» – это ребра графа. Наборы условий параметров объекта исследования хранятся в вершинах графа [5].

Результатом программы экспертного регулятора является получение вывода о вариантах состояния эксплуатации обо-

рудования и о вариантах его времени ремонта. В ходе использования система осуществляет движение по узлам и рёбрам графа знаний. В случае, когда достигается ряд определённых условий, операционный регулятор выводит на экран ясный результат. При несовпадении набора условий параметров работы объекта результат выводится неясный и выводится неопределённое решение. Но для его вывода происходит поиск решения – начало определения параметров системы происходит от третьего уровня и так далее до вершины графа. Если не происходит определения параметра, то запускается режим рекурсии. Рекурсия ограничивается 50 повторениями. Причём рекурсия проходит как внутри узлов графа, так и по его рёбрам. Определяющим позиционированием хода от узла – позиции к узлу – подпозиции характеризуется прохождение узлом – позиции проверки узел – позиции с ближайшим ребром к корню дерева. Узел – подпозиции, связанный ребром с данным набором. Каждый узел может иметь одну позицию и более одной подпозиции. Корневой узел не имеет узла – позиции. Конкретный узел проверяется на группу наборов условий. Параметры набора условий будут ясными, если сумма одного набора совпадёт с позициями этой группы. Проверка позиций с числовыми и нечисловыми значениями различна. При проверке наборов позиций с числом необходимо выполнение каждой позиции из набора позиций. Совпадение измерений из набора принимает значения из согласованного в таблице условия.

Условия позиций объекта

Имя условия	Имя параметра	Отношение	Значение параметра
1	Температура	>	100
2	Температура	<	250
3	Состояние	=	удовлетворительно
4	Состояние	=	неудовлетворительно

Правила, записанные в наборы условий графа, формируются по нормативной базе. Нормативная база включает в себя типы и марки электрического оборудования 220 кВ. В основном это электрические характеристики, такие как: мощность, напряжение, сила тока, сопротивление, величина испытательного напряжения и соответствующий ей ток утечки, сопротивление изоляции, омическое сопротивление контактов и обмоток трансформаторов и другие. По трансформаторам в наборы заносятся значения хроматографического анализа газов, растворённый в масле трансформатора, как нормируемые значения, так и экспертные данные. Заносятся данные по химическому анализу масла трансформаторов и т.д. К примеру, измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь может характеризовать загрязнение масла трансформатора. Также температура вспышки – это испаряемость масла. При эксплуатации из-за улетучивания низкокипящих фракций температура вспышки немного увеличивается. В отношении пожарной безопасности огромную роль влияет температура самовоспламенения, при которой при наличии воздуха над поверхностью масла оно может самовоспламениться. Особое значение имеет кислотное число. Количество едкого калия на 1 грамм масла. Данный показатель характеризует степень окисления масла. На трансформаторах 220 кВ измеряется значение частичных разрядов. Измерения проводятся методами электрическими и акустическими. Данные заносятся в наборы условий и указывается их допустимый диапазон. Значения контролируемого электрического оборудования 220 кВ заносятся в таблицу ввода данных экспертного регулятора. Далее данные начинают сравниваться с условиями правил по алгоритму работы, основанному структурно на графе знаний. Проверка позиций с нечисловыми параметрами сводится к совпадению хотя бы одной позиции из наборов позиций. В случае неудачной проверки узла-подпозиции, т.е. когда неясный результат позиций, включается реверс программы в набор-позиции. Ход программы переходит к набору-позиции. Результатами работы могут быть ясные и неясные решения, в любом случае результат выводится на экран оператора.

Ясный результат помогает заново сформировать и укрепить базу знаний [6], а неясный позволяет оператору внести соответствующие коррективы и записать знания в параметры набора, что и позволяет обучать экспертный регулятор.

В узле графа хранятся наборы условий, которые отвечают разным правилам, позволяющим оценить состояние оборудования. Правила заносятся экспертами, так же как и наборы условий. Также правила могут сформироваться от наборов условий. При сопоставлении результатов базы знаний с исходными данными методом сравнения и подбора разных наборов условий они формируются с учётом однозначности определения того или иного правила. Однозначность правила помогает сформировать чёткий вывод результатов, который отвечает за качество определения вывода. Данный метод закладывается в основу работы экспертного регулятора. Экспертный регулятор представляет собой систему хранения, обработки и анализа информации. Основу его составляет обширная база знаний и сформированные экспертами правила, состоящие из наборов условий. Правила занимают места в вершинах графа знаний. Сам регулятор содержит графы знаний с нечётным количеством вершин N1. В вершинах графа знаний также содержатся правила по определённым параметрам состояния оборудования (рис. 2).

На рис. 2: при ясном результате набор является соответствующим. Объединяющие линии ребра N2 графа знаний несут функцию логики «И». Если все наборы будут истинными, то только в этом случае граф знаний считается истинным. Все узлы графа не будут иметь значения, если набор будет неясным.

База знаний используется экспертным регулятором для совпадающего набора условий. Вся эта статистика укладывается в рамки одного набора. Наборы условий содержат в себе много похожих ситуаций. Значит, результат может быть достигнут ясный и вывод о работе оборудования будет качественным. Для увеличения скорости работы системы и исключения повторов по пути следования программы операционного регулятора, количество вершин графа знаний должно быть нечётным.

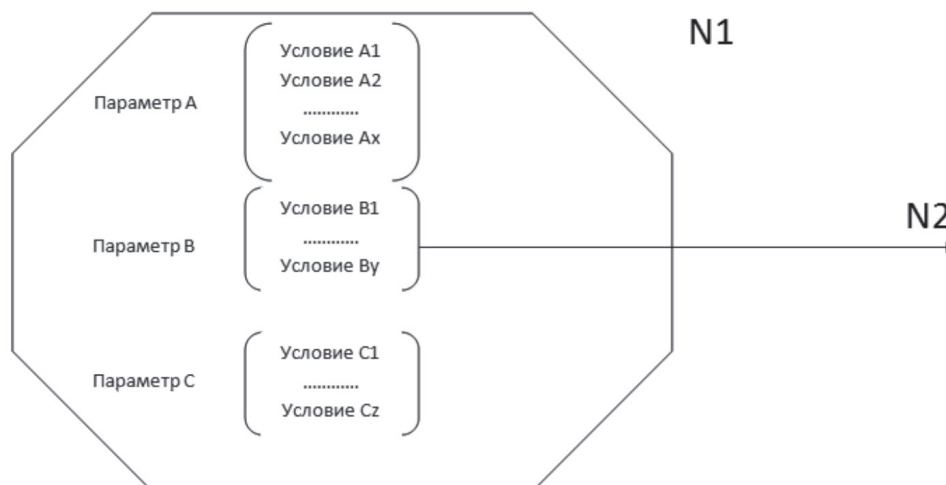


Рис. 2. Набор правил

Нетрудно представить, что ситуаций сравнения будет много, в которых это правило имеет место быть. Те ситуации, которые происходили, накапливаются в статистике экспертного регулятора. Для оценки повышения качества правил экспертного регулятора необходимо обозначить критерии, по которым мы сможем оценить их результативность. При его работе будет набираться статистика, результатами которой будет являться критерий – оценка его работы при ясных результатах и оценка при неясных результатах. Для более полного отчёта рассматриваются все факты.

В заключение надо сказать, что разработанный метод оценки эксплуатационных параметров электрооборудования и трансформаторов напряжением 220 кВ с помощью базы знаний экспертного регулятора позволяет получить достоверную информацию о техническом состоянии и обоснованно выбрать рациональный срок проведения профилактических работ. При наличии новых правил происходит самообучение экспертного регулятора и его базы знаний. Таким образом, все знания структурируются и находятся в упорядоченных правилах, отвечающих определённым параметрам со-

стояния оборудования. Такой способ позволяет качественно и быстро определить чёткий вывод результатов и исключить ошибки операторов.

Список литературы

1. Вильданов Р.Г. Перспективы внедрения интеллектуальной электрической сети в России / Р.Г. Вильданов, Е.И. Буланкин // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля. Материалы Международной научно-методической конференции / редкол.: Н.Г. Евдокимова и др. – Уфа: изд-во УГНТУ. – 2016. – С. 150–153.
2. Пупков А.Н. Двухконтурное управление линейными динамическими системами и настройка параметров типовых регуляторов с использованием непараметрической модели / Н.Ф. Телешева, Р.Ю. Царев, А.В. Чубаров, О.В. Шестернева // Проблемы управления. – Красноярск: ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», 2013. – 190 с.
3. Power D. J., Sharda R., Burstein F. Decision support systems. – John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
4. Михеев М.Ю., Прокофьев О.В., Семочкина Ю.И. Методы анализа данных и их реализация в системах поддержки принятия решений: учебное пособие. – Пенза, 2014. – С. 118.
5. Добаев А.З. Использование методов математической статистики для анализа данных систем учета электроэнергии // Материалы VI международной конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». – Владикавказ: Литера, 2014. – С. 37–41.
6. Остроух А.В. Интеллектуальные системы: уч. пособие. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 110 с.