

ДИАГНОСТИКА СИМПТОМОВ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Дж.С. Ахъев¹, Ш.М. Султонзода¹, Д.В. Орлов², И.Х. Махмудов¹

¹Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

²Новосибирский государственный технический университет

Предлагается новый метод экспертной диагностики технического состояния электрооборудования, основанный на аналитическом иерархическом процессе и нечеткой логике. Доказано, что на основе некоторых симптомов и парных сравнений экспертных оценок можно сделать правдоподобный прогноз о причинах отказов и неисправностей силового оборудования.

Ключевые слова: техническая диагностика, текущее состояние оборудования, анализ иерархий, попарные сравнения, метод Саати.

ТАШХИСИ НИШОНАҶОИ КОРНОШОЯМИИ ТАҶҲИЗОТИ БАҶӢ БО ИСТИФОДА АЗ УСУЛИ ТАҲЛИЛИ ИЕРАРХӢ

Ҷ.С. Ахъев, Ш.М. Султонзода, Д.В. Орлов, И.Х. Махмудов

Усули нави ташхиси экспертии ҳолати техникии таҷҳизоти барқӣ пешниҳод шудааст, ки ба раванди иерархии таҳлилии ва мантиқи муғлақ асос ёфтааст. Бо тақия ба нишонаҳои муайян ва муқоисаҳои ҷуфтӣ арзёбиҳои коршиносон, имконпазирии пешгӯии боэътимоди сабабҳои корношоямӣ ва азқорбароии таҷҳизоти барқӣ исбот шудааст.

Калидвожаҳо: ташхиси техникӣ, ҳолати ҷори таҷҳизот, таҳлили иерархӣ, муқоисаҳои ҷуфтӣ, усули Саати.

DIAGNOSIS OF POWER EQUIPMENT FAULT SYMPTOMS USING THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD

J.S. Ahyoev, Sh.M. Sultonzoda, D.V. Orlov, I.H. Mahmudov

A new method for expert diagnosis of the technical condition of electrical equipment is proposed, based on an analytical hierarchical process and fuzzy logic. It has been proven that, based on certain symptoms and pairwise comparisons of expert assessments, it is possible to make a plausible prediction about the causes of failures and malfunctions in power equipment.

Keywords: technical diagnostics, current technical condition of equipment, analytic hierarchy process, pairwise comparison, Saaty method.

Введение

Передача электроэнергии включает в себя трансформацию напряжения электроэнергии, генерируемой на шинах электрической станции, до экономически целесообразной величины, транспорт энергии к центрам потребления и преобразование до номинальной величины напряжения электрических приемников. Транспорт электрической энергии к центрам энергопотребления, как правило, осуществляется посредством воздушных линий электропередачи.

Силовые трансформаторы служат для преобразования величины переменного напряжения. В качестве устройств регулирования реактивной мощности применяют шунтирующие реакторы. Конструкция и виды неисправностей этих устройств схожи, хоть их задачи различны. Схожесть строения и дефектов трансформаторов и шунтирующих реакторов позволяет нам объединить их под одним термином «трансформаторное оборудование».

Диагностика неисправностей трансформатора с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками (ВТСП) представляет собой разветвленную многоступенчатую задачу. Также необходимо проводить диагностику смежного коммутационного оборудования: отделители, короткозамыкатели, выключатели, разъединители и другие.

Термин «трансформаторное оборудование» включает в себя все виды трансформаторов с различными диэлектрическими средами: маслонполненные, криогенные, где в качестве диэлектрической среды выбран жидкий азот, а также сухие.

Иерархия представляет собой зависимость низших звеньев (ступеней иерархии) от высших, и их организацию в структуру типа «дерево».

Предложенный Томасом Л. Саати математический инструмент системного анализа для принятия решений метод анализа иерархий (МАИ) позволяет осуществлять поиск подходящей альтернативы в интерактивном режиме. Найденная альтернатива должна наилучшим образом

определять его понимание задачи и требования к ее решению [1, 2]. Таким образом, эксперт принимает решение, основываясь на собственных знаниях и накопленном опыте.

Постановка задачи

Вид деятельности, который включает в себя процесс сбора, анализа информации, выбор наиболее оптимального варианта из имеющихся возможных, представляет собой процесс принятия решений. Оценки экспертов могут быть составлены после осмотра электрооборудования и выявления признаков неисправности [3].

Введем термин «диагностика фактического состояния». Термин включает получение данных с ВТСП-трансформаторов, которые находятся в работе и их анализ для получения определенного вывода о действительном состоянии оборудования. Эта диагностика может проводиться только после осмотра трансформаторов и выявления признаков неисправности [4].

Далее, основываясь на оценках попарных сравнений, необходимо определить вектор-столбец приоритетов (ВСП) признаков неисправностей для каждой из причин, находящейся на более высоком уровне иерархии, который, с математической точки зрения, является главным собственным вектором и называется вектором приоритетов [5]. Этот вектор-столбец показывает отношения признаков данного уровня к элементам более высокого уровня иерархии в численном эквиваленте.

На следующем этапе путем умножения матрицы попарных сравнений на ВСП, получим новый вектор. Разделив первую компоненту этого вектора на первую компоненту оценки вектора решения, вторую компоненту нового вектора на вторую компоненту оценки вектора решения и т. д. Таким образом, определяем вектор-столбец собственных значений матрицы [6, 7]. Разделив сумму компонент этого вектора на число компонент, найдем приближение к числу λ_{\max} (называемому максимальным или главным собственным значением), используемому для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений. Чем ближе λ_{\max} к n (числу объектов или видов действия в матрице), тем более согласованным будет результат. Отклонение от согласованности может быть вычислено следующим образом

$$(\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

Полученная величина является индексом согласованности (ИС). Затем по методу анализа иерархий требуется определить отношение согласованности (ОС) путем деления ИС на константу, которая зависит от размерности матрицы (для матрицы размерностью 4x4 const=0,9; при 5x5 const=1,12; при 6x6 const=1,24, при 7x7 const=1,32). Значение ОС, меньшее или равное 0,1, считается приемлемым [1]. Под согласованностью понимается то, что при наличии основного массива обработанных данных все другие могут быть получены из них путем логических рассуждений [8, 9].

Математическая модель для трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводящей обмоткой

Принята следующая модель технической диагностики ВТСП-трансформаторов с использованием матрицы нечетких отношений. Такая матрица, в свою очередь, требует некоторых экспертных оценок. Данные вербальные оценки представляют собой некоторые точки функции принадлежности, которая отражает субъективное восприятия неисправности ВТСП-трансформатора экспертом, основываясь на его опыте и знаниях [8].

В качестве параметров, которые можно выделить как факторы для обобщенного анализа состояния ВТСП-трансформаторов, выделим наиболее распространенные и построим иерархию [9, 10].

Главной целью, которая является верхней ступенью иерархии является определение кратчайшего времени, за которое ВТСП-трансформатор выйдет из строя. [5].

Вторая ступень иерархии: X1 – неправильная настройка устройств релейной защиты, автоматики и электроники (РЗАиЭ) или их бездействие; X2 – повреждение кожуха ВТСП-трансформатора; X3 – неисправность или отсутствие разрядника РВС или нелинейного ограничителя перенапряжения (ОПН); X4 – несоблюдение норм эксплуатации устройства.

Следующая (третья) ступень иерархии представляет собой следующие характеристики: Y1 – малый остаток жидкого азота; Y2 – продолжительное воздействие неликвидированного сквозного тока K3; Y3 – перенапряжение; Y4 – неисправность охлаждающего устройства; Y5 – низкая электродинамическая стойкость трансформатора с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками.

Четвертая ступень – основные причины возникновения дефектов ВТСП-трансформаторов являются: G1 – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора; G2 – кипение жидкого азота; G3 – физическое старение изоляции обмоток; G4 – пробой в обмотках.

Пятая (последняя) ступень иерархии – основные признаки неисправностей ВТСП-трансформатора: P1 – утрата свойства сверхпроводимости устройства; P2 – изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора; P3 – снижение возможности бесперебойного электроснабжения;

Построенная модель иерархии представлена на рисунке 1.

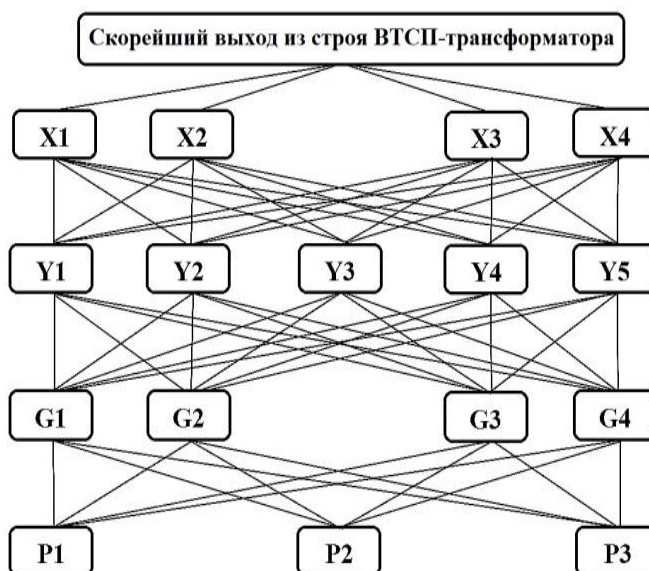


Рисунок 1 – Иерархическая модель причин и признаков неисправностей ВТСП-трансформаторов

На основе МАИ [1] рассчитаны таблицы попарных сравнений признаков неисправностей по числу возможных причин для каждого уровня иерархии. Также, для каждой матрицы рассчитано главное собственное значение (λ_{max}), индекс согласованности (ИС) и отношение согласованности (ОС).

Результаты расчетов для каждой из пяти возможных причин, перечисленных ранее, представлены ниже.

А. *Нижний (пятый) уровень иерархии*

Таблица 1 – Попарные сравнения признаков при разрушении межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора

| | | | | |
|----|----|-----|-----|-------|
| | P1 | P2 | P3 | BCP |
| P1 | 1 | 1/7 | 1/5 | 0,075 |
| P2 | 7 | 1 | 2 | 0,560 |
| P3 | 5 | 1/2 | 1 | 0,364 |

Наиболее вероятным признаком является изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,560. На втором месте – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,364. На третьем – утрата свойства сверхпроводимости устройства с приоритетом 0,075. Отношение согласованности $OC=0,021$, что меньше 0,100 и удовлетворяет условию согласованности метода анализа иерархий Саати. $ИС=0,012$. Главное собственное значение $\lambda_{max}=3,025$.

Таблица 2 – Парные сравнения признаков при кипении жидкого азота

| | P1 | P2 | P3 | BCП |
|----|-----|-----|----|-------|
| P1 | 1 | 5 | 7 | 0,696 |
| P2 | 1/5 | 1 | 3 | 0,225 |
| P3 | 1/7 | 1/3 | 1 | 0,079 |

Наиболее вероятным признаком является утрата свойства сверхпроводимости с приоритетностью 0,696. На втором месте – изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,225. На третьем – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,079. ОС=0,083, ИС=0,048, $\lambda_{\max}=3,097$.

Таблица 3 – Парные сравнения признаков при физическом старении изоляции обмоток

| | P1 | P2 | P3 | BCП |
|----|----|-----|-----|-------|
| P1 | 1 | 1/5 | 1/3 | 0,103 |
| P2 | 5 | 1 | 3 | 0,605 |
| P3 | 3 | 1/3 | 1 | 0,291 |

Здесь наиболее вероятным признаком является изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора приоритетностью 0,605. На втором месте – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,291. На третьем – утрата свойства сверхпроводимости с приоритетом 0,103. ОС=0,048, ИС=0,028. Главное собственное значение $\lambda_{\max}=3,055$.

Таблица 4 – Парные сравнения признаков при пробое в обмотках

| | P1 | P2 | P3 | BCП |
|----|-----|-----|----|-------|
| P1 | 1 | 3 | 5 | 0,641 |
| P2 | 1/3 | 1 | 2 | 0,238 |
| P3 | 1/5 | 1/2 | 1 | 0,121 |

Наиболее вероятным признаком является утрата свойства сверхпроводимости с приоритетностью 0,641. На втором месте – изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,238. На третьем – снижение возможности бесперебойного электроснабжения с приоритетом 0,121. ОС=0,004, ИС=0,002, $\lambda_{\max}=3,005$.

В. Следующий (четвертый) уровень иерархии

Таблица 5 – Парные сравнения повреждений при малом остатке жидкого азота

| | G1 | G2 | G3 | G4 | BCП |
|----|-----|-----|-----|----|-------|
| G1 | 1 | 3 | 5 | 7 | 0,555 |
| G2 | 1/3 | 1 | 2 | 3 | 0,220 |
| G3 | 1/5 | 1/2 | 1 | 3 | 0,163 |
| G4 | 1/7 | 1/3 | 1/3 | 1 | 0,063 |

Здесь наиболее вероятным повреждением является разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,555. На втором месте – кипение жидкого азота с приоритетом 0,220. На третьем – физическое старение изоляции обмоток с приоритетом 0,163. ОС=0,040, ИС=0,036, $\lambda_{\max}=4,109$.

Таблица 6 – Парные сравнения повреждений при продолжительном воздействии неликвидированного сквозного тока КЗ

| | G1 | G2 | G3 | G4 | BCП |
|----|-----|-----|-----|----|-------|
| G1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 0,481 |
| G2 | 1/2 | 1 | 1 | 3 | 0,241 |
| G3 | 1/3 | 1 | 1 | 2 | 0,190 |
| G4 | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 1 | 0,089 |

Наиболее вероятным повреждением является разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,481. На втором месте – кипение жидкого азота с приоритетом 0,241. На третьем – физическое старение изоляции обмоток с приоритетом 0,190. ОС=0,010, ИС=0,009, $\lambda_{\max}=4,027$.

Таблица 7 – Попарные сравнения повреждений при перенапряжении

| | G1 | G2 | G3 | G4 | ВСП |
|----|-----|----|-----|-----|-------|
| G1 | 1 | 3 | 1/5 | 1/3 | 0,131 |
| G2 | 1/3 | 1 | 1/9 | 1/7 | 0,046 |
| G3 | 5 | 9 | 1 | 2 | 0,491 |
| G4 | 3 | 7 | 1/2 | 1 | 0,332 |

Здесь наиболее вероятным повреждением является физическое старение изоляции обмоток с приоритетностью 0,491. На втором месте – пробой в обмотках с приоритетом 0,332. На третьем – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,131. ОС=0,022, ИС=0,020, $\lambda_{\max}=4,059$.

Таблица 8 – Попарные сравнения повреждений при неисправности охлаждающей установки

| | G1 | G2 | G3 | G4 | ВСП |
|----|-----|-----|----|----|-------|
| G1 | 1 | 1/5 | 3 | 5 | 0,256 |
| G2 | 5 | 1 | 7 | 9 | 0,611 |
| G3 | 1/3 | 1/7 | 1 | 1 | 0,069 |
| G4 | 1/5 | 1/9 | 1 | 1 | 0,064 |

Наиболее вероятным повреждением является кипение жидкого азота с приоритетностью 0,611. На втором месте – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,256. На третьем – физическое старение изоляции обмоток с приоритетом 0,069. ОС=0,068, ИС=0,061, $\lambda_{\max}=4,183$.

Таблица 9 – Попарные сравнения повреждений при низкой электродинамической стойкости ВТСП-трансформатора

| | G1 | G2 | G3 | G4 | ВСП |
|----|-----|----|----|-----|-------|
| G1 | 1 | 5 | 5 | 1/5 | 0,281 |
| G2 | 1/5 | 1 | 1 | 1/9 | 0,058 |
| G3 | 1/5 | 1 | 1 | 1/9 | 0,058 |
| G4 | 5 | 9 | 9 | 1 | 0,603 |

Наиболее вероятным повреждением является пробой в обмотках с приоритетностью 0,603. На втором месте – разрушение межвитковой изоляции ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,281. На третьем – физическое старение изоляции обмоток и кипение жидкого азота с одинаковым приоритетом 0,058. ОС=0,075, ИС=0,067. Главное собственное значение $\lambda_{\max}=4,201$.

С. Третий уровень иерархии

Таблица 10 – Попарные сравнения причин повреждений при неправильной настройке устройств РЗАИЭ или их бездействии

| | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | ВСП |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Y1 | 1 | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1/7 | 0,039 |
| Y2 | 9 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0,348 |
| Y3 | 5 | 1/2 | 1 | 2 | 1/3 | 0,192 |
| Y4 | 3 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1/2 | 0,116 |
| Y5 | 7 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0,305 |

Наиболее вероятная причина – продолжительное воздействие неликвидированного сквозного тока КЗ с приоритетностью 0,348. На втором месте – низкая электродинамическая стойкость ВТСП-

трансформатора с приоритетом 0,305. На третьем – перенапряжение с приоритетом 0,192. ОС=0,026, ИС=0,029, $\lambda_{\max}=5,114$.

Таблица 11 – Попарные сравнения причин повреждений при повреждении кожуха ВТСП-трансформатора

| | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | ВСП |
|----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| Y1 | 1 | 7 | 5 | 3 | 9 | 0,544 |
| Y2 | 1/7 | 1 | 1 | 1/2 | 2 | 0,101 |
| Y3 | 1/5 | 1 | 1 | 1/2 | 3 | 0,124 |
| Y4 | 1/3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0,181 |
| Y5 | 1/9 | 1/2 | 1/3 | 1/3 | 1 | 0,050 |

Наиболее вероятная причина – малый остаток жидкого азота с приоритетом 0,544. На втором месте – неисправность охлаждающего устройства с приоритетом 0,181. На третьем – перенапряжение с приоритетом 0,124. ОС=0,016, ИС=0,018, $\lambda_{\max}=5,070$.

Таблица 12 – Попарные сравнения причин повреждений при отсутствии или несрабатывании ОПН

| | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | ВСП |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Y1 | 1 | 1/3 | 1/9 | 1/5 | 1/7 | 0,038 |
| Y2 | 3 | 1 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 0,115 |
| Y3 | 9 | 3 | 1 | 3 | 2 | 0,387 |
| Y4 | 5 | 2 | 1/3 | 1 | 1/2 | 0,190 |
| Y5 | 7 | 2 | 1/2 | 2 | 1 | 0,269 |

В данном случае наиболее вероятной причиной является перенапряжение с приоритетностью 0,387. На втором месте – низкая электродинамическая стойкость ВТСП-трансформатора с приоритетом 0,269. На третьем – неисправность охлаждающего устройства с приоритетом 0,190. ОС=0,021, ИС=0,023, $\lambda_{\max}=5,094$.

Таблица 13 – Попарные сравнения причин повреждений при несоблюдении норм эксплуатации ВТСП-трансформатора

| | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | ВСП |
|----|-----|----|-----|-----|-----|-------|
| Y1 | 1 | 5 | 1/3 | 1/5 | 3 | 0,171 |
| Y2 | 1/5 | 1 | 1/7 | 1/9 | 1/2 | 0,035 |
| Y3 | 3 | 7 | 1 | 1/2 | 5 | 0,296 |
| Y4 | 5 | 9 | 2 | 1 | 7 | 0,431 |
| Y5 | 1/3 | 2 | 1/5 | 1/7 | 1 | 0,066 |

Наиболее вероятной причиной является неисправность охлаждающего устройства с приоритетностью 0,431. На втором месте – перенапряжение с приоритетом 0,296. На третьем – малый остаток жидкого азота с приоритетом 0,171. ОС=0,048, ИС=0,054, $\lambda_{\max}=5,215$.

D. Второй уровень иерархии

Таблица 14 – Попарные сравнения дефектов, влияющих на скорейший выход из строя ВТСП-трансформатора

| | X1 | X2 | X3 | X4 | ВСП |
|----|----|-----|-----|-----|-------|
| X1 | 1 | 1/7 | 1/3 | 1/5 | 0,060 |
| X2 | 7 | 1 | 3 | 2 | 0,464 |
| X3 | 3 | 1/3 | 1 | 1/2 | 0,172 |
| X4 | 5 | 1/2 | 2 | 1 | 0,303 |

Дефектом, который с наибольшей вероятностью приведет к скорейшему выходу из строя ВТСП-трансформатора, является повреждение кожуха ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,464. На втором месте – несоблюдение норм эксплуатации устройства с приоритетом 0,303. На третьем – неисправность или отсутствие разрядника РВС или нелинейного ограничителя перенапряжения (ОПН) с приоритетом 0,172. ОС=0,010, ИС=0,009, $\lambda_{\max}=4,028$.

Верхний уровень иерархии, представляющий главную цель руководителя проекта, определяет кратчайшее время, в течение которого ВТСП-трансформатор выйдет из строя.

С помощью умножения матриц вектор-столбцов от низшего уровня к верхнему найден результирующий вектор-столбец влияния каждого из признаков на скорейший выход из строя ВТСП-трансформатора.

Таблица 15 – Итоговый вектор-столбец

| | |
|----|-------|
| P1 | 0,349 |
| P2 | 0,421 |
| P3 | 0,229 |

Таким образом, признаком неисправности (дефектом), которая с наибольшей вероятностью в кратчайшее время приведет ВТСП-трансформатор в неработоспособное состояние, является изменение заявленных характеристик ВТСП-трансформатора с приоритетностью 0,421. Второе место занимает утрата свойства сверхпроводимости устройства в диэлектрической среде жидкого азота с приоритетом 0,349. На третьем – снижение возможности бесперебойного электроснабжения, имеющее приоритет 0,229.

Заклучение

Предложенный метод диагностики текущего технического состояния трансформаторного оборудования, включая трансформаторы с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками, не использует широко распространенный метод хроматографического анализа масла, и поэтому хорошо применим для сухих и ВТСП-трансформаторов. Процесс принятия решений по результатам технической диагностики может быть основан на симбиозе теории нечетких множеств и фундаментальной шкалы попарных сравнений Саати.

Простота представленного метода и достоверность полученных результатов открывает возможность для внедрения в программные комплексы краткосрочного прогнозирования и диагностики текущего технического состояния в режиме реального времени [11-12]. Предложенный метод свидетельствует о возможности итогового принятия решений на новом уровне иерархии для трех возможных исходов:

- Исправное состояние;
- Возможна эксплуатация ВТСП-трансформатора с учащенным контролем фактического состояния;
- Неисправное состояние.

Проведенные исследования для криогенных ВТСП - и маслонаполненных трансформаторов показывают, что предложенный метод эффективен особенно в случаях, когда хроматография анализов растворенных газов может быть нецелесообразна. Особая значимость метода заключается в возможности проведения диагностики текущего технического состояния любого электрооборудования и в его простоте. Проведенные исследования для ВТСП-трансформаторов показывают, что при некоторых признаках неисправностей, а также нечеткой лингвистической оценки этих признаков экспертами можно сделать достаточно правдоподобные выводы о причинах неисправностей.

Рецензент: Киргизов А.К., —к.т.н., доцент кафедры «Электрические станции» ЛЭПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Т.Л. Саати, Принятие решений, метод анализа иерархий, Питтсбургский университет, г. Москва, 1993 г., пер. с англ. - М.: Радио и связь, 278 с.
2. О.В. Пугач, Математические методы оценки рисков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. г. Москва. - 2013. - Т. 79, №7. - С. 64-69.
3. С.Д. Штовба, Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. С.А. Хрусталева, А.И. Орлов, В.Д. Шаров, Математические методы оценки эффективности управленческих решений //Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2013. - Т. 79, № 11. - С. 67-72.

5. Манусов, В. З. Диагностика признаков неисправностей трансформаторного оборудования по методу анализа иерархий / В. З. Манусов, Д. В. Орлов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3-4. – С. 198-203.
6. V.Z. Manusov, D.V. Orlov, J.S. Ahyoev, Fault Symptom Diagnostics for Coupling Capacitors using the Analytic Hierarchy Process / 19th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. – June 29 - July 3, 2018. – 482-487 pp.
7. Диагностика технического состояния электрооборудования по методу анализа иерархий / В. З. Манусов, Д. С. Ахьеев, Д. В. Орлов, Д. Б. Рахимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 4(44). – С. 13-17.
8. Orlov, D. V. Diagnostics of fault symptoms of power equipment using the analytic hierarchy process / D. V. Orlov // *Aspire to Science: Материалы Международной научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Новосибирск, 18 апреля 2019 года / Ответственный редактор Е.Т. Китова.* – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – Р. 208-213.
9. Dmitriev, S.; Safaraliev, M.; Gusev, S.; Ismoil, O.; Ahyoev, J.; Khujasaidov, J.; Zicmane, I. Analysis and evaluation of experts judgements consistency during electrical equipment diagnostics. In Proceedings of the 2020 IEEE 61st Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON, Riga, Latvia, 5–7 November 2020; doi:10.1109/RTUCON51174.2020.9316577.
10. Ахьеев, Д. С. Диагностика технического состояния электрооборудования на основе нечетких признаков / Д. С. Ахьеев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2021. – № 1(53). – С. 10-14.
11. Махмудов, И. Х. Анализ методов мониторинга и диагностики гидроагрегатов гидроэлектростанций / И. Х. Махмудов, Ш. М. Султонзода, Д. С. Ахьеев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 4(68). – С. 40-48.
12. Джураев, Ш. Д. Обеспечение качества электрической энергии в энергосистемах, содержащих нелинейную нагрузку / Ш. Д. Джураев, Ш. М. Султонов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 1(41). – С. 20-34. – EDN XSBYYR.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

| TJ | RU | EN |
|---|---|--|
| Ахъёев Чавод Саламшоевич | Ахъёев Джавод Саламшоевич | Ahyoev Javod Salamshoevich |
| н.и.т. дотсент | к.т.н., доцент | Candidate of technical sciences, Associate Professor |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E.mail: Javod@ttu.tj https://orcid.org/0000-0002-9869-288X | | |
| TJ | RU | EN |
| Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо | Султонзода (Султонов) Шерхон Муртазо | Sultonzoda (Sultonov) Sherkhon Murtazo |
| н.и.т., дотсент | к.т.н., доцент | Candidate of technical sciences, Associate Professor |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E.mail: sultonzoda.sh@mail.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Орлов Дмитрий Викторович | Орлов Дмитрий Викторович | Orlov Dmitry Viktorovich |
| Аспирант | Аспирант | postgraduate student |
| Донишгоҳи Давлатии техникии Новосибирск | Новосибирский государственный технический университет | Novosibirsk State Technical University |
| E.mail: 4eel@inbox.ru | | |
| TJ | RU | EN |
| Махмудов Илхом Хотамович | Махмудов Илхом Хотамович | Mahmudov Ilhom Hotamovich |
| Докторант PhD | Докторант PhD | PhD |
| ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ | ТТУ имени академика М.С. Осими | TTU named after Academician M.S. Osimi |
| E.mail: imahmudov640@gmail.com | | |