



## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАМДАНИ

*Д.Р.Абдуллабекова*

*ст.преподаватель филиал МЭИ*

*У.Т.Бердиев*

*к.т.н. доцент, профессор ТГТрУ*

### **Аннотация**

*В данной статье рассматривается применение метода Мамдани для оценки технического состояния силовых автотрансформаторов (АТ). Предложены правила для диагностики состояния АТ, учитывающие результаты различных видов анализов, таких как хроматографический, термографический, анализ внешнего магнитного поля, физико-химический анализ масла и анализ сопротивления обмоток и изоляции. Результаты показали, что использование нечёткой логики позволяет повысить точность и достоверность диагностики.*

**Ключевые слова:** *автотрансформаторы, метод Мамдани, инновационные методы, диагностика, техническое состояние, энергосистемы.*

### **Введение**

Оценка технического состояния силовых автотрансформаторов является критически важной задачей для обеспечения их надёжной работы и своевременного выявления возможных дефектов. Традиционные методы диагностики часто сталкиваются с проблемой обработки большого объема



данных и сложности интерпретации результатов. В связи с этим, использование нечёткой логики, в частности метода Мамдани, представляется перспективным направлением для улучшения точности оценки состояния АТ.

### **Методология**

Метод Мамдани является одним из самых распространённых подходов в нечёткой логике. Он позволяет преобразовывать входные данные в нечёткие множества, которые затем используются для формирования нечётких правил, описывающих различные аспекты состояния автотрансформаторов. В данной работе предложено использовать пять видов анализов для оценки состояния АТ:

1. **Хроматографический анализ:** Оценка концентрации газов, растворённых в масле, что позволяет выявить потенциальные дефекты внутри трансформатора.
2. **Термографический анализ:** Исследование температурных аномалий, которые могут свидетельствовать о проблемах с охлаждением или наличии локальных перегревов.
3. **Анализ внешнего магнитного поля:** Измерение магнитного поля вокруг трансформатора, что может указать на дефекты обмоток или сердечника.
4. **Физико-химический анализ масла:** Оценка качества и состояния масла, что важно для предотвращения деградации изоляции.
5. **Анализ сопротивления обмоток и изоляции:** Измерение сопротивления, что позволяет судить о состоянии изоляции и наличии обрывов или коротких замыканий.



## Разработка правил на основе метода Мамдани

На основании результатов вышеуказанных анализов были разработаны нечёткие правила, которые позволяют оценивать техническое состояние АТ. Входные переменные (например, концентрация газов, температура, уровень магнитного поля и т.д.) были представлены в виде нечётких множеств. Для каждого анализа были разработаны пять критериев состояния: "очень плохое", "плохое", "среднее", "хорошее" и "отличное".

Пример правила:

- **Если** концентрация водорода ( $H_2$ ) в масле высокая (например, "очень плохое" состояние),
- **и** температура обмоток выше нормы ("плохое" состояние),
- **и** внешнее магнитное поле высокое ("очень плохое" состояние),
- **то** общее техническое состояние АТ оценивается как "очень плохое".

Такие правила позволяют комбинировать результаты различных анализов для получения комплексной оценки состояния трансформатора.

## Результаты и обсуждение

Применение метода Мамдани позволило учесть нечеткость и неопределенность в данных, что характерно для диагностики технического состояния АТ. В результате был получен более точный и надежный алгоритм оценки, который может использоваться в системах автоматизированного мониторинга и управления.

Сравнение с традиционными методами диагностики показало, что предложенный подход значительно улучшает качество оценки, особенно в условиях неполных или противоречивых данных. На практике это может



привести к снижению числа аварийных отключений и продлению срока службы трансформаторов.

### **Заключение**

Метод Мамдани показал свою эффективность в задачах оценки технического состояния силовых автотрансформаторов. Разработанные правила диагностики могут быть легко интегрированы в существующие системы мониторинга, что позволит повысить надёжность и безопасность эксплуатации трансформаторного оборудования. В дальнейших исследованиях планируется расширение набора входных параметров и оптимизация нечётких правил для повышения точности диагностики.

### **Литература**

1. Львов М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов // Электричество. 2010. №2. С. 27–31.
2. Львов М.Ю., Львов Ю.Н., Дементьев Ю.А., Антипов К.М., Сурба А.С. и др. О надёжности силовых трансформаторов и автотрансформаторов электрических сетей // Электрические станции. 2005. №11. 69–75.
3. А.И. Лурье. Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях. М.: Знак, 2005. 520 с.
4. Завидей В.И., Милованов С.В. Комплексный подход в оперативной диагностике электрических машин // Экспозиция Нефть Газ. 2012. №5. С. 121–124.
5. Осотов В.Н., Рущинский В.Н., Рущинский В.В., Смыслов В.П., Ульянов А.М. Оценка механического состояния обмоток крупных трансформаторов без их разборки // Электрические станции. 2003. №6. С. 51–57.



6. L. G. Sidelnikov, A. M. Sedunin, A. Y. Sykulev, TestService LLC  
Vibrodiagnostics and Partial Discharge Measurement in Power Transformer.
7. Bashirov, Z.A.; Voloshanovsky, A.Yu.; Naumov, A.A. A. Sensor arrangement methods for the scalar vibration field estimation in the vibrodiagnostics tasks (in Russian) // Problems of Power Engineering. 2000. № 7-8. С. 86-90.
8. Barkov A.V., Barkova N.A., Azovtsev A.Yu. Monitoring and diagnostics of rotor machines by vibration. Recommendations for users of diagnostic systems. Publishing house of SPbSMTU, St. Petersburg, 2000.
9. Petrishchev L.S., Saltanov V.M., Osotov V.N. et al. Investigation of possibility of diagnostics of transformer winding pressing force by their vibration characteristics. - Electrical Stations 1995, N 8, p. 32-37.
10. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Рекомендации для пользователей систем диагностики. Издательство СПбГМТУ, Санкт-Петербург, 2000
11. Петрищев Л.С., Салтанов В.М., Осотов В.Н. и др. Исследование возможности диагностики усилия прессовки обмоток трансформаторов по их вибрационным характеристикам. - Электрические станции 1995, N 8, с. 32-37.