

УДК 621.31

DOI 10.46960/39255930\_2020\_90

**Д.М. Кочеганов, А.В. Серебряков****СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья описывает модель системы мониторинга технического состояния ветроэнергетической установки с использованием средств нечеткой логики. Для разработки применен программный пакет Matlab Simulink с расширением Fuzzy Logic Toolbox. В статье приведена структура и принцип работы модели, перечень лингвистических переменных, сформированных логических правил, поверхности нечеткого вывода системы. Модель может использоваться при расширении функционала систем управления ветроэнергетическими установками с целью получения оценки технического состояния оборудования и определения необходимости технического обслуживания.

The article describes a model of a system for monitoring the technical condition of a wind power plant using fuzzy logic. For development, the Matlab Simulink software package with the Fuzzy Logic Toolbox extension was used. The article describes the structure and principle of operation of the model, a list of linguistic variables, formed logical rules, and output surfaces of the fuzzy inference system. The model can be used to expand the functionality of control systems for wind power plants in order to obtain an assessment of the technical condition of the equipment and determine the need for maintenance.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, ветроэнергетика, нечеткая логика, система мониторинга.

**Key words:** mathematical modeling, wind power, fuzzy logic, monitoring system.

Ухудшение глобальной экологической обстановки, а также геополитические риски приводят к тому, что многие государства увеличивают долю использования возобновляемых источников энергии в своем энергетическом балансе. По данным International Renewable Energy Agency (IRENA), энергия ветра является одним из самых широко используемых возобновляемых источников энергии с суммарной установленной мощностью 623 ГВт [1]. В энергетической системе России доля использования ветровой энергии также увеличивается, о чем свидетельствует недавнее значимое событие в данной сфере - начало поставки электрической энергии Адыгейской ВЭС на оптовый рынок электроэнергии и мощности [2].

Ветроэнергетическая установка, как и любой другой современный энергетический комплекс, должна обладать развитой системой мониторинга технического состояния и удаленной диагностики для уменьшения численности обслуживающего персонала и снижения расходов на проведение планового технического обслуживания. В рамках данного исследования разработана имитационная модель системы мониторинга технического состояния ветро-

энергетической установки, предназначенная для поддержки принятий решений оператором электротехнического комплекса при оценке работоспособности оборудования и необходимости проведения технического обслуживания.

В качестве объекта диагностики рассматривается ветроэнергетическая установка малой мощности (номинальная выходная мощность 5 кВт). Установка включает в себя синхронный генератор с постоянными магнитами, вал которого соединяется с ветроколесом напрямую без редуктора. Система ориентации ветроколеса по направлению ветра – пассивная, регулировка скорости вращения ветроколеса осуществляется при помощи центробежного регулятора.

Задачей системы диагностики является формирование оценки технического состояния ветроэнергетической установки, состоящей из ветроколеса и синхронного генератора, на основе информации о параметрах оборудования, характеризующих качество его работы, и руководствуясь правилами, сформированными экспертным сообществом [3, 4, 5]. Поскольку в настоящее время нет возможности получения всей необходимой информации для однозначной оценки технического состояния устройства (степень старения материалов и деградации внутренней структуры элементов, стохастический характер изменения нагрузок и условий работы), принятие решений о проведении технического обслуживания и превентивной замене устаревшего оборудования осуществляется в условиях неполноты и несовершенства исходных данных. Для решения подобного класса задач эффективным методом является применение методов нечеткой логики. Данный подход позволяет увеличить эффективность методов классической логики при помощи использования набора правил, представляющих формализованный опыт экспертного сообщества, что позволяет построить систему, оказывающую поддержку при принятии управленческих решений даже при неполноте исходных данных.

На рис. 1 приводится структура системы. Для создания модели применен программный пакет Matlab Simulink с расширением Fuzzy Logic Toolbox [6, 7].

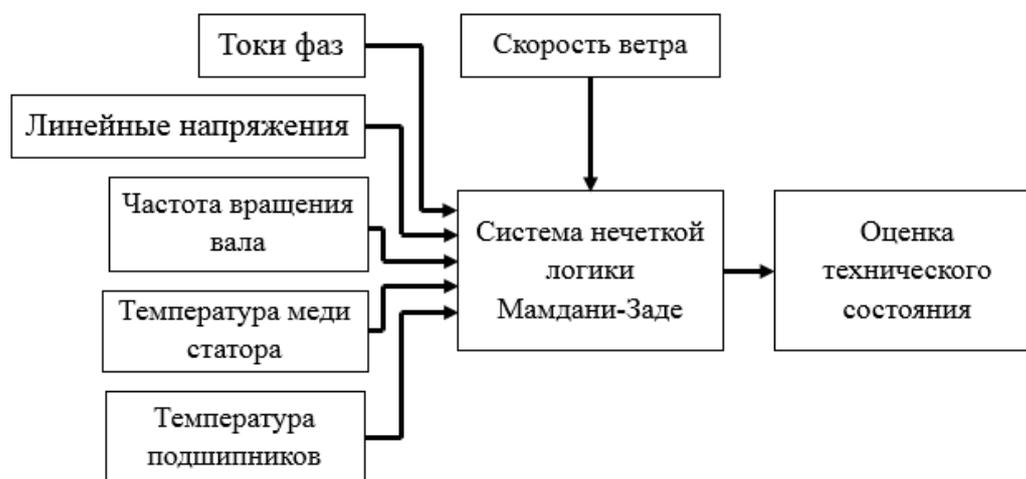
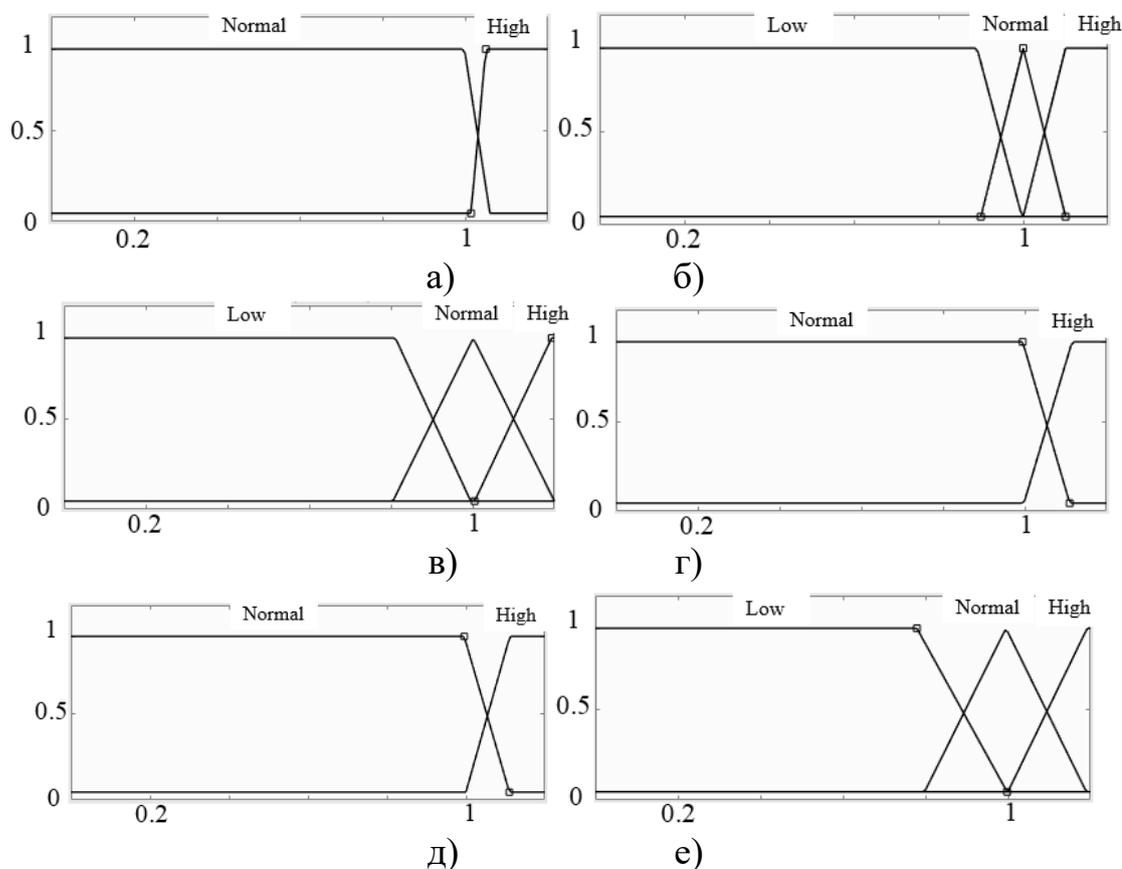


Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга технического состояния ветроэнергетической установки

Перечень задействованных диагностических параметров включает: токи фаз статора СГ, линейные напряжения статора СГ, частоту вращения вала СГ, температуру меди статора СГ, температуру подшипников и скорость ветра. Выходным сигналом является оценка технического состояния ветроустановки, формируемая системой нечеткого вывода по алгоритму Мамдани – Заде [8]. Физические величины выражаются в относительных единицах. На рис. 2 приведен вид функций принадлежности используемых диагностических параметров. Для переменной «Токи фаз» используются термины «Нормальный» («Normal») и «Высокий» («High»). Для переменной «Линейные напряжения» используются термины «Низкий» («Low»), «Нормальный» («Normal») и «Высокий» («High»). Для переменной «Частота вращения вала» используются термины «Низкий» («Low»), «Нормальный» («Normal») и «Высокий» («High»). Для переменной «Температура меди статора» используются термины «Нормальный» («Normal») и «Высокий» («High»). Для переменной «Температура меди статора» используются термины «Нормальный» («Normal») и «Высокий» («High»). Для переменной «Температура подшипников» используются термины «Нормальный» («Normal») и «Высокий» («High»). Для переменной «Скорость ветра» используются термины «Низкий» («Low»), «Нормальный» («Normal») и «Высокий» («High») [9, 10].



**Рис. 2. Функции принадлежности переменных:**

а – токи фаз; б – линейные напряжения; в – частота вращения вала; г – температура меди статора; д – температура подшипников; е – скорость ветра

На рис. 3 представлены функции принадлежности выходной переменной «Оценка технического состояния», которая характеризуется терминами «Аварийный» («Alarm»), «Предупредительный» («Warning») и «Нормальный» («Normal») уровень.

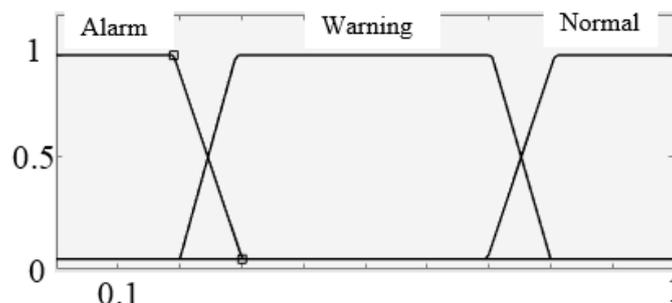


Рис. 3. Функции принадлежности выходной переменной

Визуально оценить взаимосвязь между входными сигналами системы и выходной величиной можно при помощи построенных поверхностей нечеткого вывода системы. При построении графиков величины неиспользуемых переменных принимаются равными единице. Поверхности нечеткого вывода системы представлены на рис. 4.

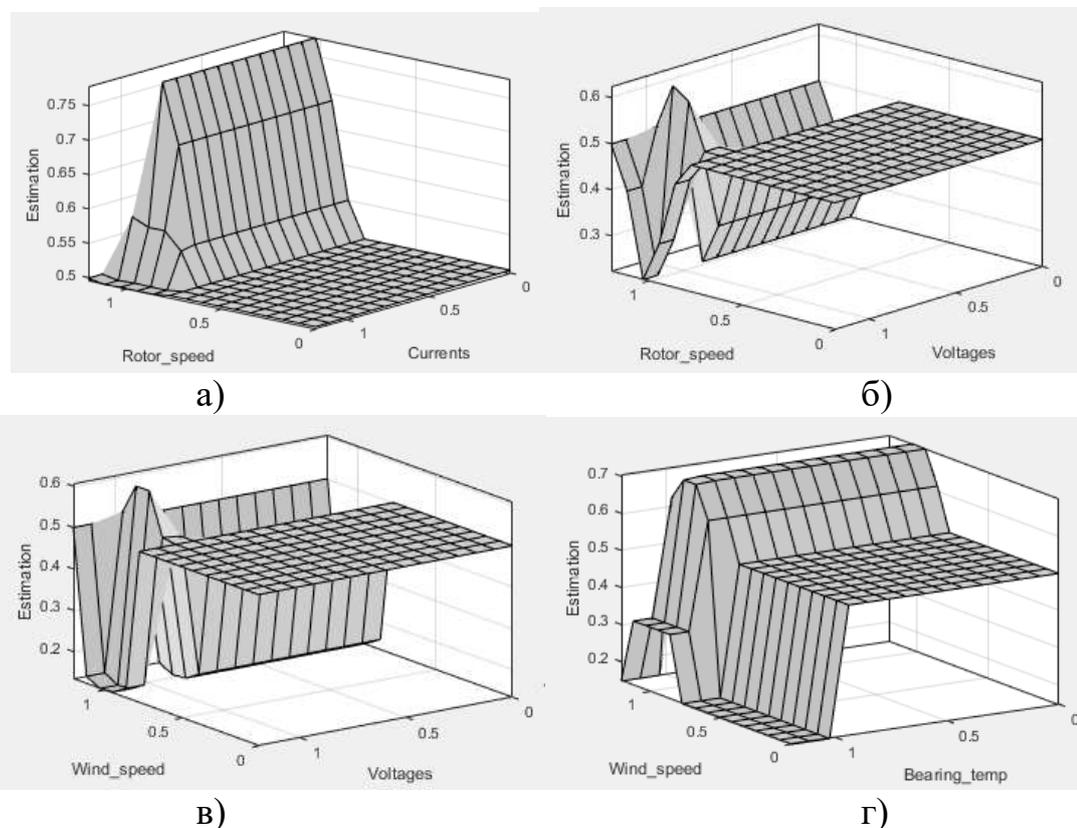


Рис. 4. Поверхности нечеткого вывода системы:

а – частота вращения вала - токи фаз; б – частота вращения вала - линейные напряжения; в – скорость ветра - линейные напряжения; г – скорость ветра - температура подшипников

## Выводы

Данная система мониторинга технического состояния ветроэнергетической установки может быть использована для поддержки оператора при анализе диагностических данных электротехнического комплекса и принятии решений о проведении технического обслуживания и замене агрегатов. Методы нечеткой логики, используемые в системе, позволяют формализовать опыт экспертов в данной области, а также применить к полученной в результате работы системы оценке процедуры статистической обработки и прогнозирования с целью предупреждения аварийных ситуаций.

## Библиографический список

1. Renewable capacity highlights 31 March 2020, International Renewable Energy Agency (IRENA), [Электронный ресурс]. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Highlights\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf) (дата обращения 19.03.2020).
2. Электроэнергия первого ветропарка Росатома поступила на оптовый рынок [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosatom.ru/journalist/news/elektroenergiya-pervogo-vetroparka-rosatoma-postupila-na-optovyy-rynok/> (дата обращения 19.03.2020).
3. **Стеклов, А.С.** Применение экспертных систем для обработки результатов диагностирования / А.С. Стеклов, В.Г. Титов, А.В. Серебряков // Научный альманах. – 2015. - 10–3. – Тамбов, 2015. – С. 247–250.
4. **Саушев, А. В.** Области работоспособности электротехнических систем / А. В. Саушев. - СПб.: Политехника, 2013. - 412 с.
5. **Серебряков, А.В.** Мониторинг и прогнозирование технического состояния автономных электротехнических комплексов / А. В. Серебряков, А. С. Стеклов, В. Г. Титов. - Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2018. - 174 с.
6. FuzzyLogicToolbox™ User'sGuide [Электронный ресурс]. – URL: [https://au.mathworks.com/help/releases/R2015b/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy.pdf](https://au.mathworks.com/help/releases/R2015b/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf) (дата обращения 10.03.2020).
7. Fuzzy Logic Toolbox [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy> (дата обращения 11.03.2020).
8. What Is Mamdani-Type Fuzzy Inference? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-mamdantype-fuzzy-inference.html/> (дата обращения 10.03.2020).
9. **Кочеганов, Д.М.** Применение аппарата нечеткой логики для оценки качества функционирования синхронного генератора / Д.М. Кочеганов, А.В. Серебряков // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019): сб. тр. – 2019. - С. 186 – 189.
10. **Кочеганов, Д.М.** Система оценки качества функционирования преобразователя частоты с использованием нечеткой логики/ Д.М.Кочеганов, А.В. Серебряков // Интеллектуальная электротехника. – 2019. - №4 (8). - С. 27 – 34.