

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR INCREASING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL COMPLEXES

V. Antropova
V. Sushkov
I. Sukhachev
S. Sidorov
F. Losev

Summary. The modern development of digital technologies, artificial intelligence methods, methods of processing large data arrays makes it possible to create new decision support systems for the operation of electrical complexes based on technical information of electrical equipment obtained in real time. The paper considers the use of artificial neural networks for solving problems related to diagnostics, localization and search for damage sites of overhead power lines, the stability of electrical complexes and the assessment of the reliability of electrical equipment.

Keywords: artificial neural networks, electrical complex, reliability.

Антропова Виктория Романовна
Аспирант, Тюменский индустриальный
университет
antropovavr@tyuiu.ru

Сушков Валерий Валентинович
Д.т.н., профессор, Нижневартковский
государственный университет
sushkovvv@gray-nv.ru

Сухачев Илья Сергеевич
К.т.н., доцент, Тюменский индустриальный
университет
suhachevis@tyuiu.ru

Сидоров Сергей Владимирович
Старший преподаватель, Тюменский
индустриальный университет
sidorovsv@tyuiu.ru

Лосев Федор Алексеевич
Старший преподаватель, Тюменский
индустриальный университет
losevfa@tyuiu.ru

Аннотация. Современное развитие цифровых технологий, методов искусственного интеллекта, способов обработки массивов больших данных позволяет создавать новые системы поддержки принятия решений при эксплуатации электротехнических комплексов на основе технической информации электрооборудования, полученной в режиме реального времени. В работе рассмотрено применение искусственных нейронных сетей для решения задач, связанных с диагностикой, локализацией и поиском мест повреждений воздушных линий электропередачи, устойчивостью электротехнических комплексов и оценкой надёжности электрооборудования.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, электротехнический комплекс, надёжность.

Использование нейросетевых технологий связано с Национальной программой «Цифровая экономика Российской Федерации» и концепцией цифровых подстанций, предусматривающих ряд мероприятий, направленных, в том числе, на создание математических моделей и систем анализа больших данных. Современное развитие цифровых технологий, методов искусственного интеллекта, способов обработки массивов больших данных позволяет создавать новые системы поддержки принятия решений при эксплуатации электротехнических комплексов на основе технической информации, полученной в ходе эксплуатации электро-

оборудования в режиме реального времени. В частности, современные искусственные нейронные сети (ИНС) находят широкое применение в решении задач, связанных с повышением надёжности электротехнического комплекса — оценкой показателей надёжности электроустановок на стадии промышленной эксплуатации, — которая также предполагает оценку состояния оборудования после определенного срока его работы с учетом реальных условий функционирования объекта и произведенных плановых и ремонтно-восстановительных работ. Актуален вопрос настройки модели ИНС для конкретной предметной области, связанной с локализаци-

ей и поиском мест повреждений воздушных линий электропередачи (ЛЭП), устойчивостью электротехнических комплексов, оценкой надёжности электрооборудования и т.д. [1–3].

На промышленных предприятиях, как правило, основными потребителями электрической энергии являются электродвигатели. Для оценки их надёжности используются ИНС, задача которых заключается в обработке массивов входных параметров, регистрируемых в режиме реального времени и генерации на их основе выходных данных, необходимых для принятия управленческих решений о состоянии электротехнического комплекса предприятия и его дальнейшей эксплуатации.

Одной из составляющих решения задачи повышения эксплуатационной надёжности, в частности, электродвигателей, является оценка остаточного ресурса [4]. Для его определения в режиме реального времени работы электродвигателя может быть использована ИНС, массив входных параметров которой включает в себя информацию о мгновенных значениях токов, напряжений и их изменений, количества перенапряжений, их продолжительности и амплитуды, а также уровней вибрации на исследуемом объекте. Выходной величиной ИНС является значение остаточного ресурса электродвигателя, позволяющее судить о его работоспособности, корректировать график ремонтно-профилактических работ и, в том числе, принимать решения о модернизации средств релейной защиты и автоматики.

В настоящее время разработано микропроцессорное устройство, направленное на решение рассмотренных задач в рамках систем погружного электропривода, представленное в патенте [5]. В разработанном устройстве применяется ИНС, в качестве функции активации которой выбран сигмоид (функция S-образного вида). Выходные значения сигмоидальной функции лежат в пределах от нуля до единицы, поэтому входные данные необходимо масштабировать. Одним из главных достоинств такой функции являются её дифференцируемость, что актуально в рамках используемого метода обучения ИНС, произведенного «с учителем» с применением алгоритма Левенберга-Марквардта [6–8]. Для решения задач идентификации выбрана многослойная нейронная сеть со структурой 4–17–1 без обратных связей. Основным преимуществом ИНС с одним скрытым слоем является минимальное время сходимости. Количество нейронов в скрытом слое определено экспертным путём, исходя из имеющихся данных.

Надёжность электротехнического комплекса напрямую зависит от устойчивой работы электродвигателей, которая, в том числе, обеспечивается устройствами релейной защиты и автоматики. Современные устройства

защиты, обеспечивающие быстроедействие и селективность в нормальном режиме работы и регламентированных аварийных режимах, не учитывают изменяющиеся параметры режима работы электродвигателей, что может привести к нарушению устойчивости и, следовательно, к остановке технологического процесса. Для адаптации к режиму работы электродвигателей устройств защиты от провала напряжения наиболее перспективными являются ИНС, которые позволяют по массиву входных данных определять время отключения электродвигательной нагрузки при несоблюдении условия сохранения устойчивости.

Для защиты асинхронных электродвигателей от потери устойчивости разработано и запатентовано устройство [9], в основе которого находится ИНС. На входы ИНС подаются мгновенные значения напряжений, коэффициента загрузки и частоты вращения вала электродвигателя. По этим параметрам ИНС определяет допустимое время провала напряжения по условию сохранения устойчивости электродвигательной нагрузки. Затем производится сравнение допустимой и текущей длительности провала напряжения, при равенстве которых подается сигнал на отключение электродвигателей, что позволяет избежать развития аварийной ситуации.

Наиболее уязвимы к провалам напряжения погружные асинхронные электродвигатели вследствие особенностей своей конструкции, а именно, малого значения инерции ротора. С целью проверки работоспособности устройства защиты от потери устойчивости асинхронных электродвигателей разработана имитационная модель электротехнического комплекса [10]. Основой устройства выступает ИНС с одним скрытым слоем, при этом входной слой содержит 3 нейрона, скрытый — 40, выходной — 1 нейрон. В качестве функции активации скрытого слоя выбран гиперболический тангенс, обладающий рядом преимуществ: более высокой вычислимостью и выходным диапазоном, лежащим в пределах -1 от $+1$, что позволяет ускорить обучение ИНС. Для обучения ИНС применен алгоритм Левенберга-Марквардта, имеющий оптимальную скорость сходимости при заданной степени точности. После обучения и проверки ИНС формируется программный код, который можно использовать, например, в промышленных контроллерах для реализации функций разработанного устройства.

Необходимо отметить, что надёжность электротехнического комплекса в существенной степени зависит от надёжности воздушных ЛЭП. Наиболее частым видом повреждения ЛЭП является однофазное короткое замыкание [11]. Широко проводимые исследования по определению места возникновения однофазного замыкания на землю установили корреляцию между точностью определения и большим количеством изменяющихся

факторов, таких как параметры режима работы, параметры воздушной ЛЭП, вид повреждения, величина переходного сопротивления, сопротивление грунта и прочие [12, 13]. Наиболее целесообразно обрабатывать массивы этих параметров искусственными нейронными сетями, позволяющими решать задачи локализации и поиска места повреждения ЛЭП, включая определение её первичных параметров и минимизацию методической погрешности путём учёта конструктивных особенностей и климатических факторов. Массив входных данных содержит информацию о геометрии опор линии, электрических параметрах проводов и грунта, величины температуры окружающей среды и влажности воздуха. Выходные данные ИНС представляют собой сведения

о номере повреждённой опоры и расстоянии до места повреждения ЛЭП в установленной системе координат.

Таким образом, применение искусственной нейронной сети позволяет решать задачи по обеспечению надежности и устойчивости широкого спектра электрооборудования путем обработки больших массивов входных данных, выступая в роли системы поддержки принятия решений.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (Конкурс — МК-988.2021.4)

ЛИТЕРАТУРА

1. Камнев А.С. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / А.С. Камнев, С.Ю. Королев, В.Н. Соколушенко. — Москва: ИЦ «Энергия», 2012. — 124 с.
2. Хальясмаа А.И. Разработка интеллектуальной системы оценки технического состояния электросетевого оборудования / А.И. Хальясмаа, С.А. Дмитриев // Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI международной научно-технической конференции. — Иваново: ИГЭУ, 2015. — С. 610–615.
3. Применение методов искусственного интеллекта в задачах технической диагностики электрооборудования электрических систем / В.М. Левин, А.И. Хальясмаа, Дж.С. Ахьёев, В.З. Манусов. — Новосибирск: НГТУ, 2020. — 446 с.
4. Сушков В.В. Оценка остаточного ресурса изоляции погружного электродвигателя установок электрических центробежных насосов добычи нефти при воздействиях импульсных перенапряжений / В.В. Сушков, В.В. Тимошкин, И.С. Сухачев, С.В. Сидоров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — Т. 328. — № 10. — С. 74–80.
5. Патент 2655948 Российская федерация, МПК G01R31/00 (2006.01). Устройство регистрации, идентификации перенапряжений и оценки остаточного ресурса изоляции погружных электродвигателей: № 2017109534: заявл. 21.03.2017: опубл. 30.05.2018 / Сушков В.В., Сухачев И.С.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».
6. Нейросетевая идентификация и диагностика электрических машин в условиях сильных импульсных помех / В.В. Тимошкин, Р.Ю. Ткачук, А.С. Глазырин [и др.]. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2011. — № 2. — С. 282–285.
7. Hagan M. Neural Network Design / M. Hagan, H. Demuth. — URL: <http://hagan.okstate.edu/NNDesign.pdf> (date of the application: 01.03.2021).
8. Goodfellow I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. — Cambridge, MA: MIT Press, 2016. — 779 p.
9. Патент 183312 Российская федерация, МПК H02H 3/24 (2006.01). Устройство защиты асинхронного электродвигателя от потери устойчивости: № 2017146900: заявл. 28.12.2017: опубл. 18.09.2018 / Лосев Ф.А., Мартыанов А.С., Сушков В.В., Тимошкин В.В.; патентообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».
10. Losev F.A. Increasing stability of electric centrifugal pumps in submersible electromotor to voltage sags with adaptive undervoltage protection / F.A. Losev, V.V. Sushkov, V.V. Timoshkin, A.S. Martyanov // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. — 2018. — Volume 329. — Issue 10. — P. 40–48.
11. Неклепаев Б.Н. Вероятностные характеристики коротких замыканий в энергосистемах / Б.Н. Неклепаев, А.А. Востросаблин // Электричество. — 1999. — № 8. — С. 15–23.
12. Горбунов И.Н. Применение нейронных сетей в целях определения места повреждения воздушных и кабельных линий электропередачи / И.Н. Горбунов, С.Г. Захаренко, С.А. Захаров, Т.Ф. Малахова // Горное оборудование и электромеханика. — 2019. — № 4 (144). — С. 48–55.
13. Moloi K. Power Distribution System Fault Diagnostic Using Genetic Algorithm and Neural Network / K. Moloi; A.A. Yusuff // Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA). — Potchefstroom, South Africa. — 2021. — Article № 9377241.

© Антропова Виктория Романовна (antropovavr@tyuiu.ru), Сушков Валерий Валентинович (sushkovvv@gray-nv.ru),

Сухачев Илья Сергеевич (suhachevis@tyuiu.ru), Сидоров Сергей Владимирович (sidorovsv@tyuiu.ru),

Лосев Федор Алексеевич (losevfa@tyuiu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»