УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СПЕКТРАЛЬНОМ МЕТОДЕ ДИАГНОСТИКИ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ

Прахов И.В., Бикметов А.Г.

Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Салават, e-mail: priwan@yandex.ru

Применение искусственных нейронных сетей в задачах диагностики вызывает все больший интерес. Нейронные сети позволяют сократить аппарат распознавания образов без изменения достоверности результатов. Важным преимуществом использования нейронных сетей в задачах диагностики является обучаемость. Построение нейросетевой модели происходит адаптивно во время обучения без участия эксперта. При этом нейронной сети предоставляются примеры из базы данных, и она сама подстраивается под эти данные. Основной задачей теории планирования эксперимента является определение значений коэффициентов уравнений регрессии, с помощью которых определяется функциональная зависимость выходной величины от воздействующих факторов. Применение теории планирования эксперимента во время обучения искусственной нейронной сети позволяет увеличить базу данных и тем самым повысить достоверность определения технического состояния насосного оборудования с электрическим приводом.

Ключевые слова: насосный агрегат, нейронная сеть, спектральный метод, обучение, повреждение, режим работы, планирование эксперимента, гармоники, реплика, фактор

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN THE SPECTRAL METHOD OF DIAGNOSTICS OF MACHINE UNITS

Prakhov I.V., Bikmetov A.G.

Salavat Branch of Ufa State Petroleum Technical University, Salavat, e-mail: priwan@yandex.ru

Application of artificial neural networks finds the increasing interest in diagnostics problems. Neural networks allow to reduce the device of recognition of images without change of reliability of results. Important advantage of use of neural networks in diagnostics problems is обучаемость. Construction нейросетевой models occurs is adaptive during training without participation of the expert. Thus examples from a database are given to a neural network, and she is arranged under this data. The primary goal of the theory of planning of experiment is definition of values of factors of the equations of regress with which help functional dependence of target size on influencing factors is defined. Application of the theory of planning of experiment during training of an artificial neural network allows to increase a database and by that to raise reliability of definition of a technical condition of the pump equipment with an electric drive.

Keywords: the pump unit, a neural network, a spectral method, training, damage, an operating mode, planning of experiment, a harmonic, a remark, the factor

В промышленности большая часть поломок машинного оборудования определяется в ненормированной работе электрооборудования, и, как следствие, степень безопасности и надежности технологических процессов во многом зависит от их технического состояния. При максимальных нагрузках, превышенный нормативный срок эксплуатации оборудования, применяемого для переработки нефти и газа, повышает вероятность появления аварийных ситуаций. Применение новых методов и средств диагностики позволит достигнуть высокого уровня промышленной безопасности при физическом и моральном износе насосного оборудования на опасных и вредных промышленных объектах.

Двигатели электропривода при определенных режимах работы, возникновении и развитии повреждений отдельных элементов механической и электрической частей насосного оборудования генерируют характерный спектр гармонических составляющих токов и напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей.

На основании экспериментальных исследований, которые отображают отклонения уровня неисправностей насосного оборудования, в качестве диагностических параметров предложено воспользоваться значениями параметров 3, 5, 7 и 9 гармонических составляющих токов и напряжений – коэффициент гармонических составляющих токов K_{In}, коэффициент гармонических напряжений K_{Un}, представляющие собой действующие значения гармонических составляющих, нормированных к действующему значению первой гармоники, и приведенные к периоду значения углов сдвига по фазе $\varphi_{ui(n)}$ между соответствующими гармоническими составляющими напряжений и фазных токов.

Метод искусственных нейронных сетей наиболее приемлем для определения уровня поврежденности насосных агрегатов по значениям параметров, создаваемых двигателем электропривода гармоник напряжений и токов [1, 2].

Алгоритм выявления уровня неисправностей насосного оборудования представлен на рис. 1 [3].

Исследуемые ток и напряжение с помощью аналого-цифрового преобразователя «АЦП» преобразуются в цифровой код. Последовательность таких цифровых кодов характеризует сигнал за определённый период времени. Блок дискретного преобразования Фурье «ДПФ» раскладывает исследуемый сигнал на гармонические составляющие, из которых для анализа берутся третья, пятая, седьмая и девятая гармоники. Затем определяются действующие значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_{Un} и тока K_{In}, а также угол между данными величинами $\varphi_{ui(n)}$ [3]. Значение показателей режимов работы и поврежденности элементов насосного агрегата D_m является результатом анализа искусственной нейронной сети 1, полученного из значений диагностических параметров, находящихся в пределах нормы.

$$D_m = F\left(K_{InA}, K_{UnA}, \varphi_{ui(n)A}, K_{InB}, K_{UnB}, \varphi_{ui(n)B}, K_{InC}, K_{UnC}, \varphi_{ui(n)C}\right) =$$
$$= F\left(\sum_{n=3,5,7,9}\left(w_{InA}K_{InA} + w_{UnA}K_{UnA} + w_{ui(n)A}\varphi_{ui(n)A} + w_{InB}K_{InB} + w_{UnB}K_{UnB} + w_{ui(n)B}\varphi_{ui(n)B} + \right.\right. \quad (1)$$
$$\left.\left. + w_{InC}K_{InC} + w_{UnC}K_{UnC} + w_{ui(n)C}\varphi_{ui(n)C}\right)\right),$$

где w – весовые коэффициенты нейронной сети для соответствующих диагностических параметров; m = 1, 2, 3, ..., 17 – число выходов нейронной сети 1.

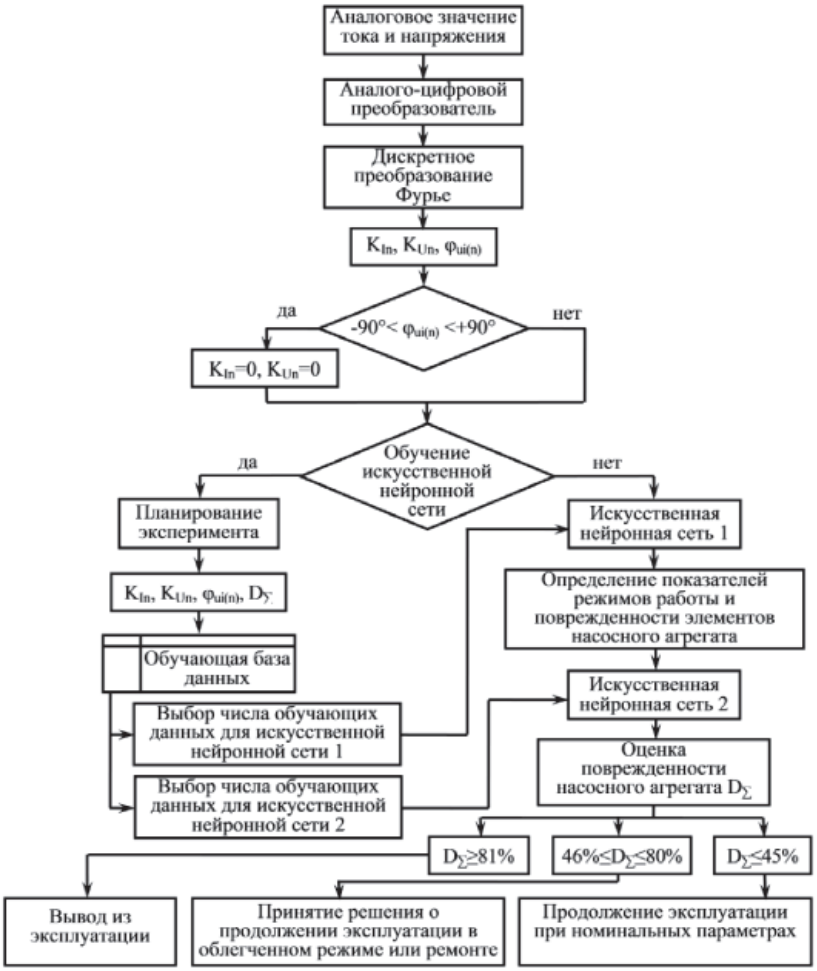

Рис. 1. Алгоритм определения уровня поврежденности насосных агрегатов

В данной работе предложен интегральный диагностический параметр поврежденности D_{Σ}, необходимый для идентификации уровня поврежденности всего насосного агрегата.

Значение интегрального диагностического параметра поврежденности является результатом анализа искусственной нейронной сети 2, полученного из значений показателей режимов работы и поврежденности элементов насосного агрегата D_m.

$$D_{\Sigma} = F\left(\sum_{m=1}^{17} w_m D_m\right). \qquad (2)$$

Построение нейросетевой модели происходит адаптивно во время обучения. Для управляемого обучения сети пользователю необходимо организовать систему обучающих данных. Данные параметры показывают модели известных входных и соответствующих им выходных значений. Сеть изучает и пытается установить связь между входами и выходами. Если выходные значения нейронной сети не соответствуют требуемым значениям, то производится оптимизация весов нейронной сети каким-либо из математических алгоритмов до максимального соответствия с заданной точностью. Как показывает практика, сложность возникает в получении необходимого числа обучающих данных. Это является основным недостатком применения искусственных нейронных сетей в задачах диагностики насосного оборудования с электрическим приводом. Увеличение набора обучающих данных и уменьшение числа обучающих экспериментов возможно при обучении искусственной нейронной сети путем использования теории планирования эксперимента [3].

Для определения значений интегрального диагностического параметра поврежденности D_{Σ} и показателей режимов работы и поврежденности элементов насосного агрегата D_m необходима база данных, основной целью которой является обучение искусственных нейронных сетей.

Для применяемой нейронной сети 1 с количеством входов, равных 36, с 36 нейронами в одном скрытом слое, с числом выходов, равном 17, и с числом настраиваемых весов $L = 3204$ число экспериментов для обучения, согласно теореме Колмогорова – Арнольда – Хехт – Нильсена [3], должно быть в диапазоне

$$2(b + L + m) \le N \le 10(b + L + m); \qquad (3)$$

$$6514 \le N_1 \le 32570.$$

Для применения нейронной сети 2 с количеством входов b, равных 17, с количеством выходов m, равных 1, и с числом настраиваемых весов $L = 306$ количество обучающих экспериментов должно находиться в диапазоне $612 \le N_2 \le 3060$.

Основной задачей теории планирования эксперимента является определение значений коэффициентов уравнений регрессии, с помощью которых определяется функциональная зависимость выходной величины от воздействующих факторов [6]. В качестве выходной величины используются значения коэффициентов третьей, пятой, седьмой и девятой гармонических составляющих напряжения K_{Un} и тока K_{In} и в фазах *A, B, C* и углы сдвига по фазе $\varphi_{ui(n)}$ между ними, а также состояние насосного агрегата, определяемое по параметрам виброускорения прибором ИДП-03. Воздействующими факторами x_n являются различные характерные повреждения и режимы работы насоса.

С помощью уравнения регрессии определяется значение выходной величины при всех возможных сочетаниях уровней факторов, что увеличивает базу обучающих данных искусственной нейронной сети. Число экспериментов, необходимых для создания всех возможных сочетаний уровней факторов, определяется по формуле

$$N_{д} = 2^{k-p}, \qquad (4)$$

где k – число факторов; p – реплика дробного факторного эксперимента; 2 – число уровней.

При числе факторов 17 база данных, согласно формуле (4), увеличивается с 32 до 131072.

Исследовав искусственную нейронную сеть 1 с разными объемами обучающих данных в интервале (6514, 8000, 9000, 10000, 12000,15000, 20000, 25000, 32570), получили зависимость изменения достоверности результата от размера обучающих данных, представленную на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что при обеспечении достоверности результата распознавания равной 90,6 % оптимальное количество обучающих данных составляет 12000.

Исследовав искусственную нейронную сеть 2 с разными объемами обучающих данных в интервале (612, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3060), получили зависимость изменения достоверности результата от размера обучающих данных, представленную на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что при обеспечении достоверности результата распознавания равной 86,5 % оптимальное количество обучающих данных составляет 1500.

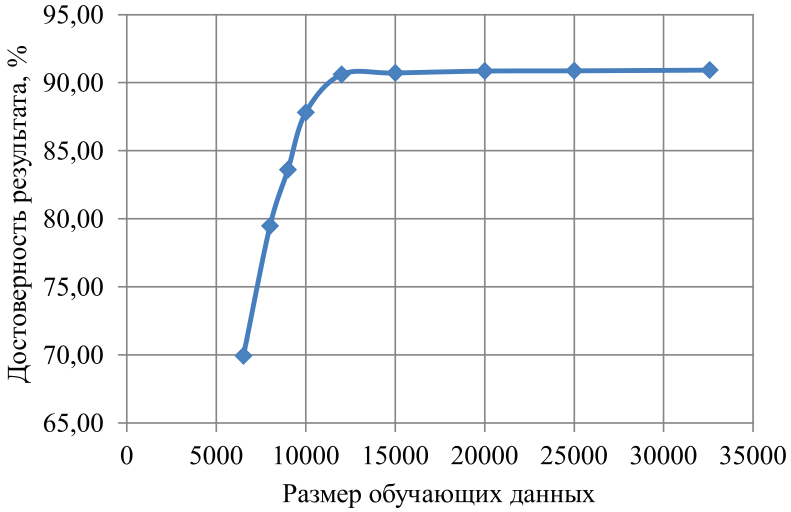

Рис. 2. Зависимость изменения достоверности результата от размера обучающих данных нейронной сети 1

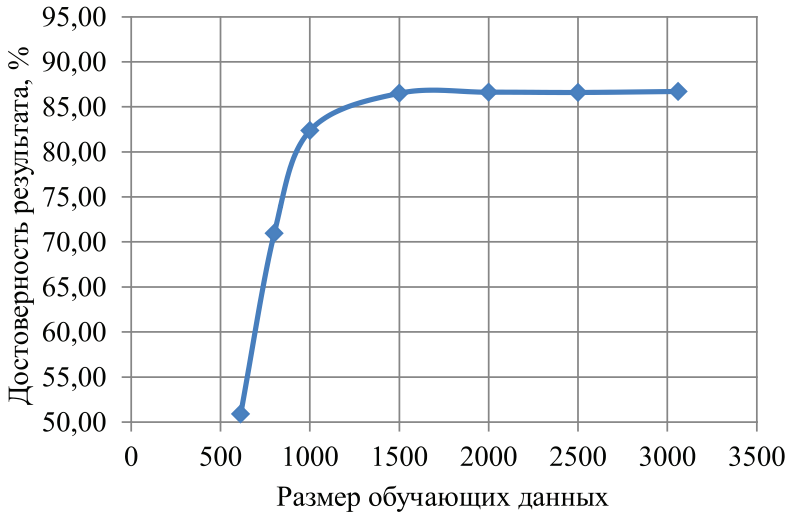

Рис. 3. Зависимость изменения достоверности результата от размера обучающих данных нейронной сети 2

Таким образом, применение метода планирования эксперимента дает возможность сократить необходимое количество обучающих экспериментов для нейронной сети 1 с 12000 до 32 при обеспечении достоверности результата распознавания равной 90,6 %, и для нейронной сети 2 – с 1500 до 32 при обеспечении достоверности результата распознавания, равной 86,5 %.

Список литературы

1. Баширов М.Г., Прахов И.В. Исследование влияния неисправностей элементов насосно-компрессорного оборудования на параметры генерируемых двигателем электропривода высших гармонических составляющих токов и напряжений // Повышение надежности и безопасности трубчатых печей нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств: материалы Всероссийского консультационно-методического семинара. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. – С. 114–119.

2. Прахов И.В., Баширов М.Г. Влияние режимов работы и характерных повреждений насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом на генерирование высших гармонических составляющих токов и напряжений // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеродного сырья. – 2010. – № 4. – С. 18–21.

3. Прахов И.В., Баширов М.Г., Самородов А.В. Повышение эффективности использования искусственных нейронных сетей в задачах диагностики насосно-компрессорного оборудования применением теории планирования эксперимента // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2011. – № 2. – С. 14–17.

4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 452 с.

5. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления: учеб. пособие для вузов / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. – М.: Высшая школа, 2002. – 183 с.

6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Изд-во «Наука», 1976. – 279 с.

References

1. Bashirov M.G., Prakhov I.V. *Issledovanie vlijanija neispravnostej jelementov nasosno-kompressornogo oborudovanija na parametry generiruemyh dvigatelem jelektroprivoda vysshih garmonicheskih sostavljajushhih tokov i naprjazhenij* (Study of effect of shutdowns of the elements of the pump and compressor equipment on the parameters of high harmonic components of voltages and currents generated by the electric motor, Information was taken from the Russian consultative and tutorial seminar «Improving of the reliability and safety of tube furnaces at the oil refining and petrochemical industries»), Ufa: Ufa State Petroleum Technical University, 2009, pp. 114–119.

2. Prakhov I.V., Bashirov M.G. *Vlijanie rezhimov raboty i harakternyh povrezhdenij nasosno-kompressornogo oborudovanija s jelektricheskim privodom na generirovanie vysshih garmonicheskih sostavljajushhih tokov i naprjazhenij* (Effect of operating modes and specific damage of the pump and compressor equipment with electric motor on generation of high harmonic components of currents and voltages,Transportation and storage of petroleum products and carbon raw materials), 2010. no. 4, pp. 18–21.

3. Prakhov I.V., Bashirov M.G., Samorodov A.V. *Povyshenie jeffektivnosti ispolzovanija iskusstvennyh nejronnyh setej v zadachah diagnostiki nasosno-kompressornogo oborudovanija primeneniem teorii planirovanija jeksperimenta* (Improving the efficiency of use of artificial neural networks in the diagnosis of the pump and compressor equipment using the experimental design theory, Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials), 2011, no. 2, pp. 14–17.

4. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. *Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* (Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems), Trans. from Polish by Rudinsky I.D., M.: Hotline – Telecom, 2007, pp. 452.

5. Terekhov V.A. *Nejrosetevye sistemy upravlenija: Ucheb. posobie dlja vuzov* (Neural network control systems, Manual for graduate students) / Terekhov V.A., Efimov D.V., Tyukin I.Y., M.: Vysshaya shkola, 2002, pp. 183.

6. Adler Y.P., Markova E.V., Granovsky Y.V. *Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimalnyh uslovij* (Experiment design and search for the optimal conditions), M.: «Nauka» publisher, 1976, pp. 279.

Рецензенты:

Вильданов Р.Ф., д.т.н., профессор кафедры ЭАПП, филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават;

Жирнов Б.С., д.х.н., профессор, зав. кафедрой ХТП, филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Салават.