

УДК 62.831

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Юмагузин У.Ф., Баширов М.Г.

Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Салават, e-mail: ural1503@gmail.com

Представлен анализ аварийности на предприятиях нефтегазовой отрасли. Проведен сравнительный анализ методов и моделей прогнозирования временных рядов, приведены их достоинства и недостатки. Для оценки и прогнозирования технического состояния оборудования в составе сложных технических комплексов предложен интегральный диагностический параметр поврежденности, количественно характеризующий фактическое состояние оборудования и позволяющий прогнозировать возникновение аварийных ситуаций. Предложена методика прогнозирования технического состояния электрооборудования, заключающаяся в анализе временных рядов значений интегрального диагностического параметра D_{Σ} с использованием методов статистического и структурного анализа. Для прогнозирования предложено использовать модель прогнозирования ARIMAX, которая позволяет предсказывать значение прогнозируемой величины с учетом внешних факторов, которыми могут выступать условия эксплуатации и износ оборудования. Описаны требования к программному комплексу прогнозирования остаточного ресурса оборудования предприятий нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: прогнозирование, остаточный ресурс, интегральный диагностический параметр

FORECASTING OF EQUIPMENT REMAINING LIFE IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Yumaguzin U.F., Bashirov M.G.

Ufa state petroleum technological university, Salavat, e-mail: ural1503@gmail.com

The breakdown susceptibility analysis at the enterprises of oil and gas industry is provided. The comparative analysis of methods and forecasting models of time series is carried out, their merits and demerits are given. For an assessment and prediction of technical condition of the equipment as a part of difficult technical complexes the integral diagnostic parameter of damage which is quantitatively characterizing an actual state of the equipment and allowing to predict origin of alert conditions is offered. The technique of prediction of technical condition of the electric equipment, consisting in time series analysis of values of integral diagnostic parameter D_{Σ} about use of methods of statistic and structure analysis is offered. For prediction it is offered to use a forecasting model of ARIMAX which allows to predict value of predicted value taking into account external factors with which operating conditions and wear of the equipment can appear. Requirements to a program complex of prediction of a residual service life of the enterprises of oil and gas industry are described.

Keywords: forecasting, remaining life, integral diagnostic parameter

В условиях роста масштабов производства, сложности технических систем и выполняемых ими функций возникает проблема надежности функционирования оборудования. Недостаточно высокая степень надежности оборудования и низкий уровень технического обслуживания приводят к авариям, нарушениям технологического процесса, увеличению затрат на восстановление и ремонт, снижению качества выпускаемой продукции и ряду других негативных последствий [7].

По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, за 2012 г. на опасных производственных объектах нефтегазовой отрасли произошло 18 аварий, за 2011 г. – 20 аварий. Анализ данных МЧС России за 2012 год показывает, что около 25% пожаров в стране происходят по электротехническим причинам, включая возникшие при аварийных ситуациях на промышленных предприятиях. Нарушение правил устройства и эксплуатации агрегатов с электро-

приводом и электрооборудования служит причиной каждого четвертого пожара, а это составляет около 40 тысяч пожаров в год, а число погибших при этом примерно 1,9 тыс. человек в год [4]. На предприятиях нефтегазовой отрасли доля насосно-компрессорного оборудования составляет порядка 35% всего производственного оборудования, и, соответственно, уровень надежности и безопасности технологических процессов во многом определяется техническим состоянием насосно-компрессорного оборудования. В связи с этим задача обеспечения промышленной безопасности в условиях продолжающегося физического и морального износа оборудования на объектах нефтегазовой отрасли Российской Федерации обуславливает повышение роли методов оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса.

Имеющийся опыт показывает, что проблема оценки остаточного ресурса стареющего оборудования является комплексной,

включающей технической, технологической, управленческой, экономической и организационный аспекты. Сложность решения данной задачи состоит в том, что для реальных предприятий нефтегазовой отрасли число контролируемых параметров оборудования, влияющих на возникновение и развитие аварийных ситуаций, весьма велико, и организовать оперативный контроль всех необходимых параметров, как правило, невозможно. На практике зачастую не представляется возможным производить диагностику всего имеющегося парка контролируемого оборудования одновременно. Более того, некоторые методы диагностики требуют вывода оборудования из эксплуатации. В связи с этим актуальной является задача автоматизированного мониторинга

текущего технического состояния оборудования в составе сложной технической системы в реальном времени с целью выявления отдельных агрегатов, требующих проведения более детальных обследований и, при необходимости, проведения ремонтно-профилактических работ [8].

Для оценки и прогнозирования технического состояния насосно-компрессорного оборудования в составе сложных технических комплексов целесообразно использовать диагностический параметр, количественно характеризующий фактическое состояние оборудования и позволяющий прогнозировать возникновение аварийных ситуаций. В качестве такого параметра может выступать интегральный диагностический параметр поврежденности D_{Σ} [4]:

$$D_{\Sigma} = F \left(\sum_{m=1}^{17} w_m D_m \right), \quad (1)$$

$$\begin{aligned} D_m = F & \left(K_{InA}, K_{UnA}, \varphi_{ui(n)A}, K_{InB}, K_{UnB}, \varphi_{ui(n)B}, K_{InC}, K_{UnC}, \varphi_{ui(n)C}, T_{\text{подш}}, T_{\text{изол}} \right) = \\ = f & \left(\sum_{n=1}^5 (w_{I(2n+1)A} K_{I(2n+1)A} + w_{U(2n+1)A} K_{U(2n+1)A} + w_{ui(2n+1)A} \varphi_{ui(2n+1)A} + w_{I(2n+1)B} K_{I(2n+1)B} + \right. \\ & + w_{U(2n+1)B} K_{U(2n+1)B} + w_{ui(2n+1)B} \varphi_{ui(2n+1)B} + w_{I(2n+1)C} K_{I(2n+1)C} + w_{U(2n+1)C} K_{U(2n+1)C} + \\ & \left. + w_{ui(2n+1)C} \varphi_{ui(2n+1)C} \right) + \sum_{p=4}^8 w_{p\text{подш}} T_{p\text{подш}} + w_{\text{изол}} T_{\text{изол}} \end{aligned} \quad (2)$$

где w – весовые коэффициенты нейронной сети для соответствующих диагностических параметров; m – количество выходов нейронной сети; D_m – значение поврежденности отдельных элементов оборудования; K_m – коэффициент гармонических составляющих токов (индексы A, B, C соответствуют фазам); K_{Un} – коэффициент гармонических составляющих напряжений; $\varphi_{ui(n)}$ – угол сдвига по фазе между соответствующими гармоническими составляющими фазных токов и напряжений; $T_{\text{подш}}$ – температуры подшипников агрегата; $T_{\text{изол}}$ – температура изоляции обмотки статора электродвигателя; p – число подшипников агрегата.

Использование нейронных сетей в задачах диагностики технического состояния обусловлено тем, что они дают возможность достоверно определить причины и виды повреждения оборудования, работать с зашумленными данными, а также обучаться в процессе накопления экспериментальных данных. Интегральный диагностический параметр поврежденности формируется искусственной нейронной сетью с использованием программного комплекса «Оценка технического состо-

яния электрооборудования на основе интегральных параметров» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615158) [6]. Методика измерения D_{Σ} основана на патенте № 2431152 «Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом» (авторы Кузев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В.) [3]. В отличие от вибрационного метода, который нашел широкое применение в диагностике насосно-компрессорного оборудования, данный способ, основанный на анализе гармонического состава токов и напряжений двигателя электропривода, позволяет определять как механические, так и электрические повреждения на ранней стадии их развития [1]. Достоинством использования интегрального диагностического параметра поврежденности в задачах прогнозирования является наличие граничных условий, характеризующих уровень поврежденности оборудования: «Повреждение не обнаружено» при значениях D_{Σ} в интервале 0–45%, «Повреждение обнаружено» – в интервале 46–80%, «Обнаружено критическое повреждение» – в интервале 81–100%. Критическому повреждению соответствует

предельное состояние насосного агрегата. За 100% уровень поврежденности насосного агрегата, согласно ГОСТ 27.002–89, принято состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима [4].

Предлагаемая методика прогнозирования технического состояния электрооборудования заключается в анализе временных рядов значений интегрального диагности-

ческого параметра D_{Σ} с использованием методов статистического и структурного анализа. Временной ряд включает в себя два обязательных элемента – отметку времени и значение параметра D_{Σ} .

В таблице представлен сравнительный анализ существующих моделей и методов прогнозирования временных рядов с описанием их достоинств и недостатков [9].

Сравнение моделей и методов прогнозирования

Модель и метод прогнозирования	Достоинства	Недостатки
Регрессионные	Простота моделирования; единообразие подходов анализа и проектирования	Сложность определения функциональной зависимости; трудоемкость нахождения коэффициентов зависимости; сложность моделирования нелинейных процессов
Авторегрессионные (ARIMAX)	Простота моделирования; единообразие анализа и проектирования	Трудоемкость и ресурсоемкость идентификации моделей
Экспоненциального сглаживания	Простота моделирования; единообразие подходов анализа и проектирования	Недостаточная гибкость; узкая применимость моделей
Нейросетевые	Нелинейность моделей; масштабируемость, высокая адаптивность	Отсутствие прозрачности; сложность выбора архитектуры; жесткие требования к обучающей выборке; сложность алгоритма обучения сети
Модели и методы на базе цепей Маркова	Простота моделирования; единообразие подходов анализа и проектирования	Невозможность моделирования процессов с длинной памятью; узкая применимость моделей
Модели и методы на базе классификационно-регрессионных деревьев	Масштабируемость; быстрота обучения; возможность учитывать категориальные переменные	Неоднозначность алгоритма построения дерева; сложность вопроса останова

В настоящее время наибольшее применение в задачах прогнозирования получили методы авторегрессионного анализа и искусственные нейронные сети [9]. Применение нейросетевых методов для прогнозирования остаточного ресурса оборудования затруднено тем, что для обучения сети необходимо наличие достоверной обучающей выборки, включающей изменение технического состояния оборудования в прошлом. Экспериментальные исследования в области прогнозирования технического состояния требуют создания условий работы, близких к промышленным, а также длительного непрерывного мониторинга. Данные требования сложно реализовать в лабораторных условиях. В связи с этим

наибольший интерес представляет модель прогнозирования ARIMAX – авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего расширенная (auto regression integrated moving average extended), позволяющая предсказывать значение прогнозируемой величины с учетом внешних факторов, которыми могут выступать условия эксплуатации и износ оборудования. В отличие от нейросетевых моделей прогнозирования данная модель не требует наличия обучающей выборки. Использование в работе [5] модели ARIMAX для прогнозирования технического состояния показало высокую достоверность прогноза.

Математическое описание модели ARIMAX представляется формулой

$$X_t = \alpha_t + \sum_{i=1}^p \phi_i \cdot v_{t-i} - \sum_{i=1}^q \theta_i \cdot \alpha_{t-i} + \beta_1 \cdot Z_t + \beta_2 \cdot Y_t, \quad (3)$$

где X_t – прогнозное значение; p, q – целые числа, задающие порядок модели; α_{t-1} – последовательность независимых и одинаково распределенных случайных величин; ϕ_i – авторегрессионный коэффициент; θ_i – коэффициент скользящего среднего; $\beta_1,$

β_2 – коэффициенты регрессоров; Z_t, Y_t – значения регрессоров.

При прогнозировании важно не только знать значение интегрального параметра поврежденности, но и учитывать факторы, влияющие на скорость изменения

технического состояния оборудования. В роли таких факторов выступают условия технологического процесса и срок эксплуатации оборудования. В модели ARIMAX за учет данных факторов отвечают регрессоры Z_t , Y_t – значения временных рядов, рассчитанные на прогнозный момент времени.

При решении практических задач прогнозирования важным аспектом является точность прогноза, которая оценивается показателем средней абсолютной процентной ошибки (MAPE), который вычисляется по формуле

$$MAPE = \frac{1}{L} \cdot \sum_{t=1}^L \left| \frac{X_t - X'_t}{X_t} \right| \cdot 100\%, \quad (4)$$

где L – интервал прогноза; X_t – прогнозное значение; X'_t – реальное значение.

Если MAPE принимает значения от 0 до 10%, то прогноз сделан с высокой точностью; от 10 до 20% – достаточной точностью; от 20 до 50% – с удовлетворительной точностью; от 50 до 100% – точностью прогноза низкая [2].

Для решения задач прогнозирования необходима разработка программного комплекса, обладающего следующими функциями:

- сбор и хранение в базе данных информации об условиях технологического процесса и о сроке эксплуатации;
- расчет и хранение в базе данных информации об интегральном параметре поврежденности для контролируемого оборудования;
- прогнозирование технического состояния с учетом влияния внешних факторов;
- оценка точности прогноза;
- ранжирование оборудования;
- расстановка ремонтных приоритетов;
- возможность считывания из HTML-форм данных об оборудовании, расположенном на удаленных объектах, что позволит вести мониторинг и прогнозирование технического состояния на любом объекте с установленным программно-аппаратным комплексом.

Полученные в результате решения поставленной задачи, объективные значения текущего или прогнозного технического состояния оборудования способствуют решению задачи оперативного планирования ремонтных работ путем расстановки приоритетов, которые позволяют установить численную очередность проведения ремонтно-профилактических работ. Расстановка ремонтных приоритетов может быть проведена путем ранжирования значений остаточного ресурса контролируемого парка однотипного оборудования в порядке убывания и присвоения каждому из агрегатов соответствующего ранга.

Предложенный метод прогнозирования технического состояния оборудования предприятий нефтегазовой отрасли на основе измерения интегрального диагностического параметра поврежденности по-

зволит предупреждать возможные отказы и непредвиденные аварийные ситуации, что, в свою очередь, способствует повышению надежности и безопасности эксплуатации контролируемого оборудования.

Список литературы

1. Баширов М.Г., Юмагузин У.Ф., Талаев В.Л. Оценка технического состояния оборудования предприятий нефтегазовой отрасли на основе применения техноценнологического метода // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 5. – С. 293–302. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Bashirov/Bashirov_5.pdf (дата обращения 28.01.2014)
2. Гребенников А.В. Моделирование сетевого трафика и прогнозирования с помощью модели ARIMA / А.В. Гребенников, Ю.А. Крючков, Д.В. Чернягин / Электронный научный журнал «Системный анализ в науке и образовании». – 2011. – № 1. – С. 1–11. URL: <http://www.sanse.ru/download79> (дата обращения 28.01.2014)
- 3/ Кузеев И.Р., Баширов М.Г., Прахов И.В., Баширова Э.М., Самородов А.В. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом // Патент России № 2431152. 2011. Бюл. № 28.
4. Миронова И.С. Разработка интегральных критериев и системы управления техническим состоянием и безопасностью эксплуатации машинных агрегатов: фвтореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2013. – 24 с.
5. Наумов А.Е. Автоматизированная система прогнозирования остаточного ресурса контактных соединений электрических сетей в условиях ограниченного объема диагностической информации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тверь, 2009. – 16 с.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615158. Оценка технического состояния электрооборудования на основе интегральных параметров / М.Г. Баширов, И.С. Миронова, У.Ф. Юмагузин, В.Г. Акчулпанов (Россия). № 2012615158; Заявлено 10.04.2012, № 2012612700. Оpubл.08.06.2012.
7. Ситчихина М.В. Разработка моделей и программных средств прогнозирования остаточного ресурса оборудования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2010. – 23 с.
8. Хасанов А.Р. Автоматизация мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса стареющего оборудования с использованием обобщенных показателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2007. – 22 с.
9. Чучуева И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2012. – 16 с.

References

1. Bashirov M.G., Yumaguzin U.F. Talayev V.L. Neftegazovoe delo, 2012, no. 5, pp. 293–302, available at: http://www.ogbus.ru/authors/Bashirov/Bashirov_5.pdf (accessed 28 January 2014).
2. Grebennikov A.V., Kryuchkov Yu.A., Chernyagin D.V. Sistemnyj analiz v nauke i obrazovanii, 2011, no. 1, pp. 1–11, available at: <http://www.sanse.ru/download79> (accessed 28 January 2014).
3. Kuzeev I.R. Bashirov M.G., Prakhov I.V. Bashirova E.M. Samorodov A.V. Patent of Russia 2431152, 2011.
4. Mironova I.S. Extended abstract of PhD dissertation. Ufa, 2013.
5. Naumov A.E. Extended abstract of PhD dissertation. Tver, 2009.
6. Bashirov M.G., Mironova I.S., Yumaguzin U.F., Akchulpanov V.G. Certificate on the state registration of the computer program no. 2012615158, 2012.
7. Sitchikhina M.V. Extended abstract of PhD dissertation. Irkutsk, 2010.
8. Chasanoff A.R. Extended abstract of PhD dissertation. Chelyabinsk, 2007.
9. Chuchuyeva I.A. Extended abstract of PhD dissertation. Moscow, 2012.

Рецензенты:

Вильданов Р.Г., д.т.н., профессор, филиал ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Салават;

Жирнов Б.С., д.т.н., профессор, филиал ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Салават.

Работа поступила в редакцию 07.02.2014.