

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ГЛАВНЫХ ПРИВодОВ МОЩНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Шамаль М.А.¹, Карякин А.Л.¹

¹ФБГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: shamal2007@mail.ru

Работа посвящена разработке алгоритма прогнозирования диагностических параметров электротехнических комплексов главных приводов мощных экскаваторов. Зависимость технического состояния электротехнического комплекса экскаватора от горно-геологических, климатических условий эксплуатации, режимов работы и качества технического обслуживания значительно увеличивают трудоемкость разработки структурной модели комплекса. Кроме того, разработка структурной модели требует наличия предварительной информации о принципах и механизмах функционирования комплекса для каждого экскаватора в отдельности и для всего парка экскаваторов в целом. Поэтому предлагается в качестве основного подхода использовать функциональное моделирование. В этом случае, электротехнический комплекс может быть представлен в виде функциональной динамической системы, функционирующей в пространстве своих диагностических параметров. Оценить техническое состояние системы в будущем можно с помощью прогнозирования ее отдельных диагностических параметров. В условиях неопределенности исходной информации дискретные диагностические сигналы могут быть спрогнозированы с помощью авторегрессионных методов. Применение авторегрессионных методов прогнозирования позволяет варьировать количество информационных признаков в зависимости от целей и задач системы технической диагностики. Кроме того, нами предложена методика прогнозирования дискретных диагностических сигналов на основании прогнозирования их компонент разложения. При этом компоненты разложения имеют заданные свойства, что значительно облегчает настройку предиктора и увеличивает точность прогнозирования.

Ключевые слова: прогнозирование, диагностические параметры, электротехнический комплекс экскаваторов

FORECASTING ELECTROTECHNICAL COMPLEXES DIAGNOSTIC PARAMETERS OF MAIN DRIVES POWERFUL DRAGLINES

Shamal M.A.¹, Karyakin A.L.¹

¹Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, street Kuibyshev, 30), e-mail: shamal2007@mail.ru

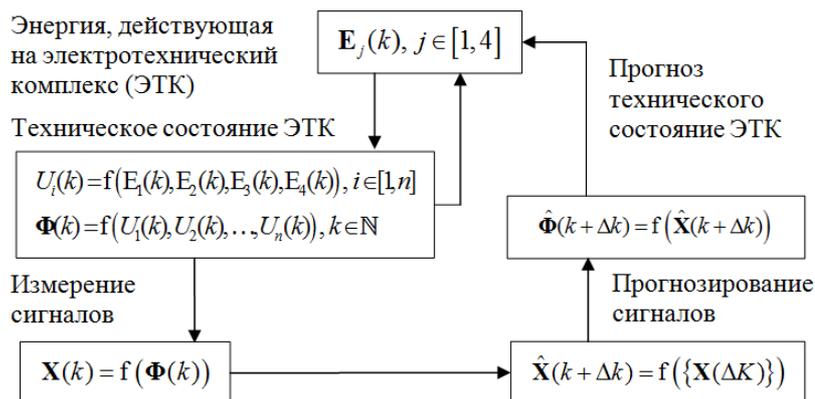
The work is devoted to the question of forecasting algorithm development of electrotechnical complexes (ETC) diagnostic parameters of main drives powerful draglines. Dependence of technical condition ETC dragline on mining and climatic operating conditions, operating ranges and quality of service lead to laboriousness increasing of development structured model of ETC. Moreover, development of structured model demands information about principles and mechanisms of ETC operating of each dragline and of whole draglines' park. We offer to use for ETC modeling method which is based on functional principles. According to this way ETC can be exposed as a dynamical system, which operates in its diagnostic signals space. We can predict ETC technical condition in the future by its discrete diagnostic parameters. Discrete diagnostic signals can be forecast by autoregressive methods. Using these forecasting methods allows us to choose required number of diagnostics signals and we don't depend on any initial information. Moreover we offer the method of forecasting discrete diagnostic signals, based on forecasting signals' decomposition components. These components have required properties, what makes training of predictors simpler and allows to increase prediction accuracy.

Keywords: forecasting, diagnostic parameters, electrotechnical complex (ETC) dragline's main drives

Опыт эксплуатации электротехнических комплексов (ЭТК) электроприводов мощных экскаваторов-драглайнов показывает, что повышение показателей надежности для данных систем является одним из важных направлений в развитии экскаваторного машиностроения [1-3]. Прогнозирование технического состояния ЭТК является одной из задач технической

диагностики, которая может быть решена путем прогнозирования диагностических параметров ЭТК главных приводов экскаватора.

Учет особенностей функционирования электротехнических комплексов главных приводов одноковшовых экскаваторов является основой построения алгоритмов технической диагностики и прогнозирования их технического состояния. На рис. 1 представлена общая диагностическая модель электротехнического комплекса типа «черный ящик» для дискретного времени, в которой учтено влияние результатов прогнозирования на процесс эксплуатации электротехнического комплекса.



$E_1(k)$ - энергия окружающей среды, $E_2(k)$ - рабочие процессы, $E_3(k)$ - потенциальная энергия ЭТК, $E_4(k)$ - ремонт и ТО, $U_i(k)$ - износ i -го элемента ЭТК, $\Phi(k)$ - техническое состояние ЭТК для отсчета k , $X(k)$ - вектор значений диагностических сигналов, $\hat{X}(k + \Delta k)$ и $\hat{\Phi}(k + \Delta k)$ - прогнозируемые значения вектора сигналов и технического состояния ТЭК, Δk - период наблюдений.

Рис. 1. Общая диагностическая модель электротехнического комплекса для дискретного времени

Применение методов функционального моделирования позволяет идентифицировать ЭТК главных приводов как динамическую систему, функционирующую в пространстве своих информационных признаков. Следовательно, определение технического состояния комплекса в будущем может быть выполнено на основании прогнозирования его диагностических признаков. Функциональный подход является унифицированным при построении систем технической диагностики и прогнозирования состояния ЭТК для всего парка экскаваторов [4]. Алгоритм оценки технического состояния по результатам прогнозирования диагностических параметров ЭТК для векторов внешних воздействий $E_j = const, j \in [1, 4]$ может быть записан в следующем виде [5]:

близкими к свойствам тестовой последовательности, что особенно важно для формирования входных векторов предиктора.

В рамках решения задачи прогнозирования можно предположить, что существуют некоторые оптимальные значения для пары параметров алгоритма декомпозиции:

$$\langle L^*, l^* \rangle, \quad (4)$$

где L^* - оптимальное число компонентов разложения, l^* - оптимальное число компонентов входной последовательности, участвующих в прогнозировании.

Прогнозирование реальных сигналов – это непрерывный цикл адаптации модели процесса, представленного в виде дискретной последовательности, к изменяющимся внешним условиям. На рис. 3 представлена структурная схема адаптивного процесса прогнозирования временных последовательностей, где \mathbf{W} , \mathbf{H} - функции фильтра и предиктора, соответственно, \hat{y}_{k+1} - прогнозируемое значение на шаг $\Delta k = 1$ отфильтрованного дискретного сигнала $y(k)$. Задача оптимизации сводится к минимизации СКО общей ошибки системы

$$\sigma(e^\Sigma(k)) = (\sigma(e^w(k)) + \sigma(e^h(k))) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $e^w(k)$ - ошибка аппроксимации:

$$e^w(k) = x(k) - y(k), \quad (6)$$

$e^h(k)$ - ошибка прогнозирования:

$$e^h(k) = y(k) - \hat{y}(k). \quad (7)$$

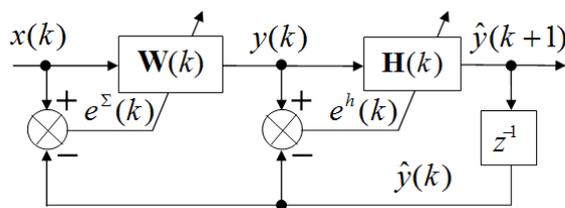


Рис. 3. Структурная схема разложения входной последовательности

Численные эксперименты с синусоидальными тестовыми последовательностями показали, что точность прогнозирования, в основном, определяется их стохастическими свойствами. И для каждой последовательности может быть найдена оптимальная, с точки зрения минимума СКО ошибки прогнозирования пара параметров

$$\langle d^*, p^* \rangle, \quad (8)$$

где d^* - оптимальный период упреждения, p^* - оптимальное значение размерности вектора предиктора $\mathbf{H}(p)$. На рис. 4 представлена система прогнозирования, построенная с учетом

поиска оптимальных значений параметров декомпозиции (4) и настройки предиктора (8) для каждой из компонент разложения.

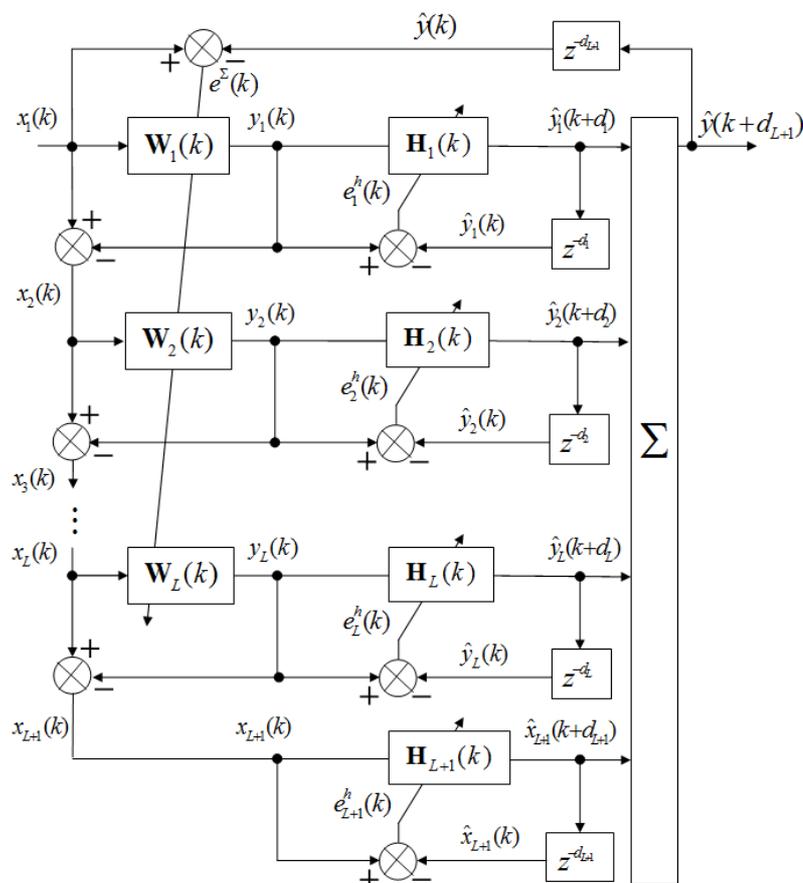


Рис. 4. Структурная схема разложения входной последовательности

Рассмотрим пример прогнозирования изменения сопротивления изоляции якорной цепи генератора G1H главного электропривода подъема экскаватора ЭШ 40.100. Электропривод главных механизмов экскаватора выполнен по системе генератор-двигатель (Г-Д), поэтому якорная цепь генератора соединена с двумя силовыми двигателями постоянного тока. Наблюдения проводились каждые 12 часов в период эксплуатации экскаватора с 15.04.2004 г. по 22.07.2004 г. Сопротивление изоляции измерялось мегаомметром ЭСО210/2 (измерительное напряжение 1000В) с пределом шкалы измерения 50 МОм, поэтому значения сопротивления изоляции находятся в диапазоне 0 – 50 МОм (рис. 5).

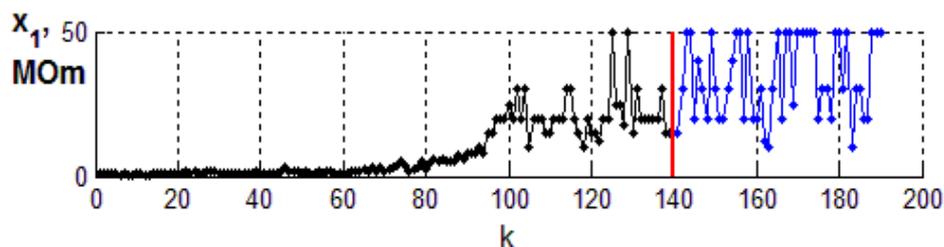


Рис. 5. Сопротивление изоляции якорной цепи генератора G1H привода подъема экскаватора ЭШ 40.100

Весь интервал наблюдений разделим на две части. Интервал отсчетов $k \in [1, n_1]$, $n_1 = 140$ используем для определения оптимальной структуры разложения и настройки предикторов. Оценку точности прогнозирования выполним для отсчетов $k \in [n_1 + 1, n_1 + n_2]$, $n_2 = 50$. Определим рабочий участок параметра $b \in [b_{\min}, b_{\max}]$ фильтра $\mathbf{W}(b)$ с помощью графика $f'_{cp} = F(b)$ (рис. 6), где f'_{cp} - нормированная частота среза фильтра:

$$\left. \begin{aligned} \Delta f' &= f'_1 = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{140} = 0,00714 \approx 0,01 \text{ o.e.} \\ f'_{cp} &= F(b) \end{aligned} \right\} \Rightarrow b_{\min} = 0,01. \quad (9)$$

Максимальное значение параметра b выберем в окрестности точки перехода графика от линейного вида к нелинейному:

$$b_{\max} = 0,64. \quad (10)$$

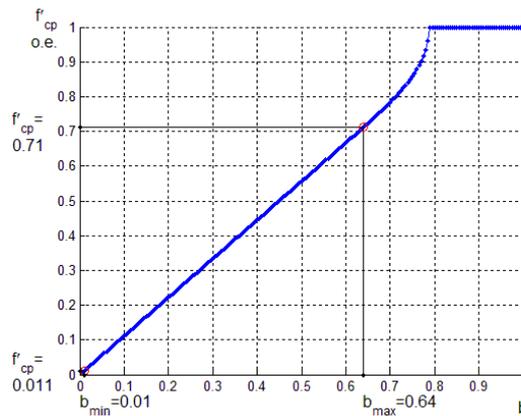


Рис. 6. Графическое представление рабочего участка для параметра b

Поиск оптимальной структуры декомпозиции выполним графическим методом для ряда значений $L = 2, 4, 6, \dots, 64$, в соответствии с алгоритмом разложения

$$\begin{cases} b_l = b_{\min} + l * \Delta b, l \in \overline{1, L - 1} \\ \Delta b = \frac{b_{\max} - b_{\min}}{L - 1} \end{cases}. \quad (11)$$

На рис. 7 представлены графики, иллюстрирующие работу алгоритма поиска оптимальной структуры разложения для одношагового прогноза. Для рассмотренной последовательности оптимальные значения параметров равны $\langle d^*, p^* \rangle = \langle 46, 38 \rangle$.

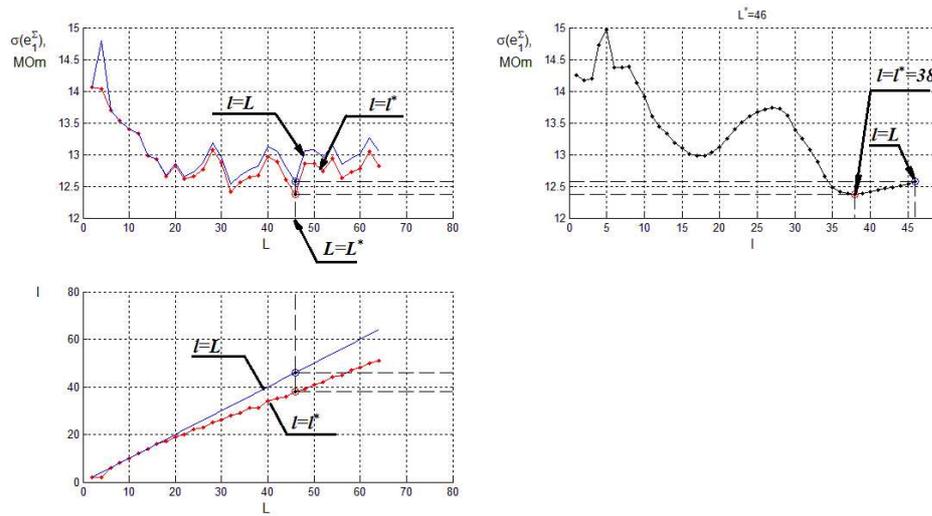


Рис. 7. Графическое представление методики поиска оптимальной структуры разложения входной последовательности

Также нами были найдены и оптимальные значения параметров $\langle d^*, p^* \rangle$ для каждой компоненты разложения. Результаты поиска $\langle d^*, p^* \rangle$ нами не приводятся ввиду их значительного объема. На рис. 8 представлен результат прогнозирования входной последовательности. Анализ автокорреляционной функции абсолютных значений ошибки прогнозирования показал, что с вероятностью 95% последовательность $e_1^\Sigma(k)$ является нормальным «белым шумом» со статистиками $\sigma(e_1^\Sigma) = 12,375 \text{ MOm}$ и $\mu(e_1^\Sigma) = 3,305 \text{ MOm}$.

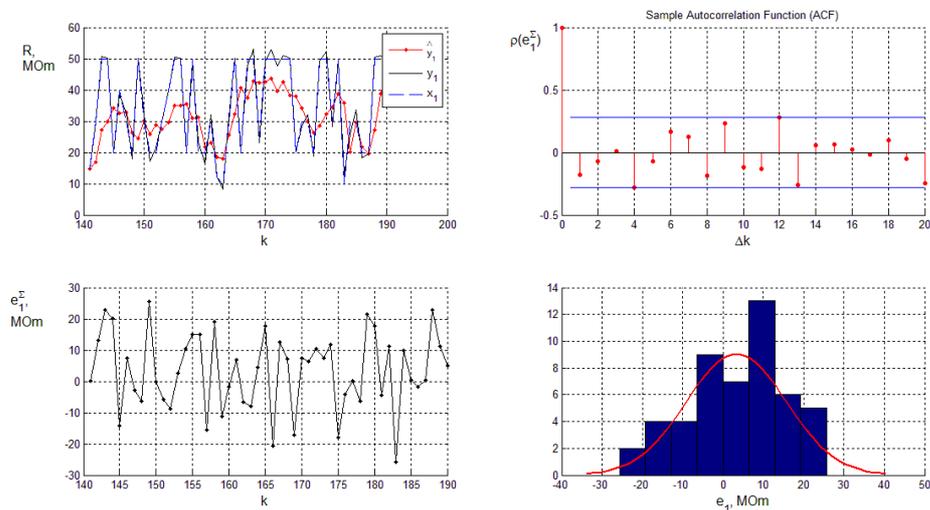


Рис. 8. Графическое представление результатов прогнозирования

Проанализируем изменение СКО относительной ошибки прогнозирования от числа компонент разложения (рис. 9), участвующих в прогнозировании:

$$\sigma(\eta_1^\Sigma(L)) = \sum_{l=1}^L \sigma(\eta_{1,l}^\Sigma), \quad (37)$$

где $\sigma(\eta_{1,l}^\Sigma)$ - СКО относительной ошибки прогнозирования компоненты l .

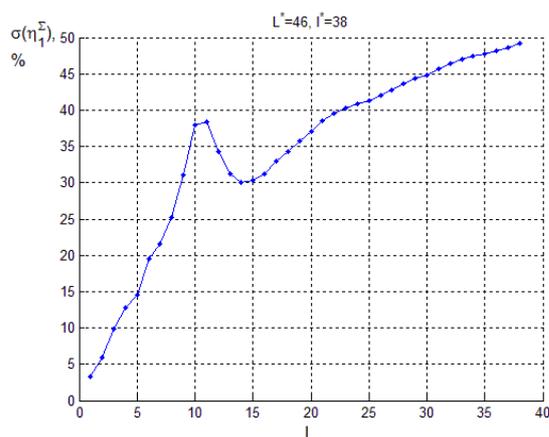


Рис. 9. График изменения СКО относительной ошибки прогнозирования от количества используемых компонент

Рассмотренный алгоритм прост в реализации, так как для прогнозирования значений входных последовательностей используются только линейные структуры. Кроме того, алгоритм может быть настроен на требуемую относительную точность прогнозирования в зависимости от количества используемых компонент. Так, например, значение СКО относительной ошибки прогнозирования тренда для рассмотренной последовательности равно $\sigma(\eta_1^{\Sigma}) = 3,628\%$.

Список литературы

1. Грунтович Н.В., Грачек Н.И. Комплексное техническое диагностирование электротехнического оборудования – основа системы ремонтов “по состоянию”// Горный журнал, 2003, №7. – С. 67 – 69.
2. Гурьев А.В. Влияние времени восстановления генераторов постоянного тока на технико-экономические показатели работы шагающих экскаваторов больших параметров// Горные машины и автоматика, 2002, №4. – С. 23 – 26.
3. Лаутеншлейгер А.А. Влияние горнотехнических условий на эксплуатации на загрузку главных приводов драглайна// Изв. вузов. Горный журнал, 1974, №9. – С. 87 – 88.
4. Гончаренко С.Н., Дементьева Е.В. Обзор отечественных и зарубежных исследований по анализу риска возникновения аварийных ситуаций на горном предприятии // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал), 2010. № 10. С. 177-185.
5. Павлов Б.В. Кибернетические методы технического диагноза. – М.: Машиностроение, 1966. – 148 с.
6. Шамаль М.А., Карякин А.Л. Аппроксимация динамических рядов моделью на основе радиальной базисной сети. «Известия вузов. Горный журнал», 2006 г., №6, стр. 33-37.

Рецензенты:

Носырев М.Б., д.т.н., профессор, первый проректор, ФБГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» Минобрнауки РФ, г. Екатеринбург.

Зобнин Б.Б., д.т.н., профессор кафедры информатики, ФБГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» Минобрнауки РФ, г. Екатеринбург.