

УДК 004.67; 519.7

Ю.Е. Кувайскова, А.А. Алёшина, К.А. Федорова

ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ¹

Кувайскова Юлия Евгеньевна, кандидат технических наук, окончила экономико-математический факультет Ульяновского государственного технического университета. Доцент кафедры «Прикладная математика и информатика» УлГТУ. Имеет работы в области анализа временных рядов, нечёткой логики и технической диагностики. [e-mail: u.kuvaiskova@mail.ru].

Алёшина Анна Александровна, кандидат технических наук, окончила экономико-математический факультет УлГТУ. Старший разработчик ООО «СимбирСофт». Имеет работы в области моделирования и прогнозирования временных рядов. [e-mail: a2nia@mail.ru].

Федорова Ксения Андреевна, магистрант факультета информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет работы в области нечёткой логики и технической диагностики. [e-mail: k.a.fedorova@bk.ru].

Аннотация

В настоящей статье описывается разработанная информационно-математическая система, предназначенная для поддержки принятия решений по управлению объектом на основе анализа и прогнозирования его технического состояния.

Эта система позволяет в автоматическом режиме получать адекватные математические модели и прогнозы контролируемых показателей технического объекта. При этом производится корректировка параметров моделей псевдоградиентной процедурой, анализируется стабильность работы объекта, производится фазсификация численных значений показателей состояния объекта, а также даётся качественная оценка прогнозируемого технического состояния объекта в виде нечёткого термина со степенью истинности прогнозируемого результата.

Для демонстрации эффективности разработанной системы проведена диагностика функционирования гидроагрегата по результатам измерений вибраций.

Ключевые слова: прогнозирование, система поддержки принятия решений, технический объект.

INFORMATION AND MATHEMATICAL SYSTEM OF SUPPORT OF DECISION-MAKING ON MANAGEMENT OF THE OBJECT BASED ON FORECASTING OF ITS TECHNICAL STATE

Iulia Evgenevna Kuvaiskova, Candidate of Engineering, Associate Professor; graduated from the Faculty of Economics and Mathematics of Ulyanovsk State Technical University; Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Informatics at Ulyanovsk State Technical University; an author of papers in the field of time series analysis, fuzzy logic and technical diagnostics. e-mail: u.kuvaiskova@mail.ru.

Anna Aleksandrovna Aleshina, Candidate of Engineering, graduated from the Faculty of Economics and Mathematics of Ulyanovsk State Technical University; Software Developer at SimbirSoft Company; an author of papers in the field of time-series modeling and forecasting. e-mail: a2nia@mail.ru.

Fedorova Kseniia Andreevna, Candidate for the Master's Degree at of the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; an author of papers in the field of fuzzy logic and technical diagnostics. e-mail: k.a.fedorova@bk.ru.

Abstract

This article describes the developed information and mathematical system designed to support the decision-making on the management of an object on the basis of analysis and forecasting of its technical state.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-38-00211 мол_а.

This system allows to obtain adequate mathematical models and forecasts of the monitored indicators of a technical object in an automatic mode. In this case, the model parameters are corrected by a pseudo-gradient procedure; the stability of the object is analyzed; fuzzification of numerical values of object state indicators is performed, as well as a qualitative assessment of the projected technical state of the object in the form of a fuzzy term with the degree of truth of the predicted result.

To demonstrate the effectiveness of the system developed, the diagnostics of the hydrounit functioning was carried out according to the results of vibration measurements.

Key words: forecasting, decision support system, technical object.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обнаружения неисправностей при функционировании технических объектов является весьма актуальной. С целью повышения промышленной и экологической безопасности при эксплуатации технических объектов целесообразно анализировать и прогнозировать их будущее состояние [1]. Система управления промышленным объектом часто содержит подсистему мониторинга набора его показателей, и решение по управлению объектом принимается с учётом его технического состояния.

Будем рассматривать промышленные объекты, техническое состояние которых определяется набором показателей, регистрируемых через заданные интервалы времени и образующих систему взаимосвязанных временных рядов.

Для системы функционирования технического объекта по совокупности значений контролируемых показателей требуется построить математическую модель для прогнозирования изменений характеристик системы и дать качественную оценку состояния объекта на ближайший период эксплуатации. Эта информация будет способствовать принятию решений, связанных со снижением нагрузки на объект или его остановкой.

Для описания и прогнозирования будущего состояния технического объекта предлагается применение подхода адаптивного регрессионного моделирования [2], позволяющего на основе проверки соблюдения основных предположений регрессионного анализа адаптироваться к их нарушениям и тем самым точнее определить структуру моделей и повысить точность аппроксимации и прогнозирования, что показано в работах [3–5].

Для получения качественной оценки прогнозируемого технического состояния объекта авторами статьи разработан алгоритм с использованием моделей нечёткого логического вывода [6, 7], достоинствами которого являются описание состояния объекта на естественном языке и сопровождение результата значением степени истинности предположения о будущем состоянии объекта. Эффективность применения алгоритма для технической диагностики объектов показана в работах [8, 9].

Предлагаемые авторами алгоритмы технической диагностики реализованы в виде информационно-математической системы поддержки принятия решений по управлению объектом в среде программирования Visual Studio на языке Visual C++. Система включает

в себя два блока: блок математического моделирования и прогнозирования численных значений контролируемых показателей объекта [10] и блок получения нечёткой (качественной) оценки прогнозируемого технического состояния объекта.

Эта система в автоматическом режиме позволяет:

- строить адекватные математические модели контролируемых показателей объектов;
- получать численный прогноз показателей объектов посредством построенных математических моделей;
- корректировать параметры построенных моделей по мере поступления новых данных псевдоградиентной процедурой [11, 12];
- строить графики прогнозов с интервальными оценками выхода значений за критические границы;
- анализировать стабильность работы объектов в реальном времени;
- проводить фазсификацию численных значений показателей технического состояния объекта;
- получать качественную оценку прогнозируемого технического состояния объекта в виде нечёткого термина со степенью истинности прогнозируемого результата.

1 ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В качестве объекта исследований рассмотрим систему функционирования гидроагрегата Краснодарской ГЭС (Краснодарский край).

Среди набора показателей, определяющих качество функционирования гидроагрегата, по которым можно судить о необходимости принятия оперативных управленческих решений (снижения нагрузки, останов), можно выделить показания датчиков абсолютной и относительной вибраций [13].

Данные по вибрациям от гидроагрегата поступали по восьми каналам через стойку виброконтроля в виде дискретного процесса на сервер сбора данных и на стойку управления гидроагрегатом, посредством которой регулируется нагрузка на агрегат или производится его остановка. Первые два канала передавали результаты измерений абсолютной вибрации, остальные – относительной вибрации элементов гидроагрегата. Массив данных представляет собой систему временных рядов значений параметров вибраций, измеренных каждые полсекунды в течение 1200 секунд в режиме работы агрегата в сети. Затем данные были усреднены по 10 секунд. Получено 120 наблюдений.

Для определения достоверности результатов прогнозирования разобьём исходную выборку данных

вибраций гидроагрегата на обучающую выборку и контрольный интервал (объемом 10% от исходной выборки). Обучающую выборку данных (первые 108 наблюдений) будем использовать для построения математических моделей и прогнозов по ним, контрольный интервал (из последних 12 наблюдений) – для дальнейшей оценки достоверности результатов прогнозирования состояния объекта и эффективности работы предлагаемой системы в четвертом разделе статьи.

Затем с помощью эксперта оценим степень влияния каждого ряда вибраций на техническое состояние гидроагрегата и занесём соответствующие данные в процессе мониторинга агрегата в файлы: X_1 – файл данных вибраций, оказывающих существенное влияние на техническое состояние агрегата, X_2 – файл данных вибраций средней важности, X_3 – файл данных вибраций гидроагрегата, влияющих на его состояние незначительно.

Для параметров вибраций гидроагрегата занесём 108 значений по каждому ряду абсолютных вибраций в файл X_1 , относительных вибраций – в файл X_2 .

Для качественной оценки численных значений вибраций гидроагрегата введём лингвистическую переменную [14], принимающую нечёткие значения: «отлично», «хорошо» и «плохо», и с помощью эксперта зададим критические значения вибраций, при выходе за которые фиксируется нарушение процесса функционирования гидроагрегата. Определённые границы допустимых значений вибраций занесём в файлы: K_1 – файл, содержащий границы допустимых значений нечётких термов для важных показателей объекта, K_2 – файл, содержащий значения критических границ нечётких термов для показателей средней важности, K_3 – файл, содержащий критические значения нечётких термов для показателей незначительной важности. Соответствующие критические границы будут выступать в виде параметров функций принадлежности [8, 9], описывающих нечёткие значения заданной лингвистической переменной.

Для оценки технического состояния гидроагрегата введём выходную лингвистическую переменную, принимающую четыре нечётких значения: «стабильная работа», «ограниченная работоспособность», «предаварийное состояние», «аварийное состояние».

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБЪЕКТА

Для получения численных значений прогнозов вибраций гидроагрегата используем блок моделирования и прогнозирования технического состояния объекта [10], разработанный на основе методики обработки систем временных рядов [15].

Для каждого j -го ($j = 1, 2, \dots, N$) временного ряда системы показателей технического объекта строится комплексная модель вида:

$$\hat{y}^j(t) = f^j(t) + g^j(t) + \psi^j(t), \quad (1)$$

где $f^j(t)$ – функция тренда;

$g^j(t)$ – совместная гармоническая составляющая системы временных рядов;

$\psi^j(t)$ – векторная авторегрессия;

$t = 1, 2, \dots, n$;

n – число наблюдений.

При построении математических моделей используется подход адаптивного регрессионного моделирования [2], на каждом этапе применения которого остатки модели проверяются на соблюдение предпосылок регрессионного анализа и используются методы адаптации при их нарушениях.

Для поиска адекватных моделей исходная выборка данных разделяется на обучающую и контрольную. По обучающей выборке строится математическая модель, а контрольная используется для оценки точности прогноза [5]. Оптимальная к исходным данным модель ищется по критерию минимума среднеквадратического отклонения на контрольной выборке:

$$\sigma_{\Delta}^j = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{t=1}^k (y^j(t) - \hat{y}^j(t))^2}, \quad (2)$$

где k – число элементов контрольной выборки;

$y^j(t)$ – наблюдаемые значения j -го временного ряда на контрольном интервале;

$\hat{y}^j(t)$ – прогнозы, вычисляемые по модели (1).

При запуске программа автоматически считывает исходные данные из файлов X_1, X_2, X_3 и запускает процедуру построения адекватных моделей показателей объекта.

Для системы восьми временных рядов вибраций гидроагрегата получим математические модели, включающие линейный тренд и векторную авторегрессию первого порядка [16, 17]:

$$\begin{aligned} \hat{y}^1(t) = & 641,741 + 0,035 \cdot t + 0,113 \cdot y^1(t-1) + \\ & + 0,004 \cdot y^2(t-1) - 0,158 \cdot y^3(t-1) + 0,013 \cdot y^4(t-1) - \\ & - 0,015 \cdot y^5(t-1) + 0,001 \cdot y^6(t-1) - 0,001 \cdot y^7(t-1) + \\ & + 0,018 \cdot y^8(t-1), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{y}^2(t) = & 701,311 - 0,062 \cdot t + 0,004 \cdot y^1(t-1) + \\ & + 0,300 \cdot y^2(t-1) - 0,369 \cdot y^3(t-1) + 0,041 \cdot y^4(t-1) + \\ & - 0,013 \cdot y^5(t-1) + 0,001 \cdot y^6(t-1) - 0,094 \cdot y^7(t-1) + \\ & + 0,170 \cdot y^8(t-1), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{y}^3(t) = & 22,869 - 0,030 \cdot t + 0,034 \cdot y^1(t-1) - \\ & - 0,026 \cdot y^2(t-1) + 0,516 \cdot y^3(t-1) + 0,006 \cdot y^4(t-1) - \\ & - 0,057 \cdot y^5(t-1) + 0,001 \cdot y^6(t-1) - 0,058 \cdot y^7(t-1) - \\ & - 0,112 \cdot y^8(t-1), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{y}^4(t) = & 39,697 - 0,213 \cdot y^1(t-1) + \\ & + 0,170 \cdot y^2(t-1) + 1,177 \cdot y^3(t-1) - 0,023 \cdot y^4(t-1) + \\ & + 0,132 \cdot y^5(t-1) - 0,004 \cdot y^6(t-1) - 0,724 \cdot y^7(t-1) + \\ & + 0,294 \cdot y^8(t-1), \end{aligned}$$

$$\hat{y}^5(t) = 28,761 - 0,136 \cdot y^1(t-1) + 0,123 \cdot y^2(t-1) + 0,063 \cdot y^3(t-1) - 0,002 \cdot y^4(t-1) + 0,153 \cdot y^5(t-1) + 0,001 \cdot y^6(t-1) - 0,011 \cdot y^7(t-1) + 0,001 \cdot y^8(t-1),$$

$$\hat{y}^6(t) = -234,550 + 9,242 \cdot t - 2,175 \cdot y^1(t-1) + 2,204 \cdot y^2(t-1) - 9,680 \cdot y^3(t-1) - 1,495 \cdot y^4(t-1) + 0,914 \cdot y^5(t-1) + 0,710 \cdot y^6(t-1) - 2,229 \cdot y^7(t-1) + 4,912 \cdot y^8(t-1),$$

$$\hat{y}^7(t) = 29,201 - 0,060 \cdot t + 0,074 \cdot y^1(t-1) - 0,077 \cdot y^2(t-1) + 0,167 \cdot y^3(t-1) + 0,044 \cdot y^4(t-1) + 0,035 \cdot y^5(t-1) - 0,001 \cdot y^6(t-1) + 0,231 \cdot y^7(t-1) - 0,003 \cdot y^8(t-1),$$

$$\hat{y}^8(t) = 31,832 - 0,056 \cdot y^1(t-1) + 0,044 \cdot y^2(t-1) + 0,102 \cdot y^3(t-1) - 0,020 \cdot y^4(t-1) + 0,048 \cdot y^5(t-1) + 0,001 \cdot y^6(t-1) + 0,105 \cdot y^7(t-1) + 0,009 \cdot y^8(t-1),$$

где $y^j(t)$ – значения j -го временного ряда в момент времени t ;

$\hat{y}^j(t)$ – смоделированные значения j -го временного ряда в момент времени t ; $j = 1, 2, \dots, 8$.

Программа также позволяет вывести на экран рассчитанные по моделям значения вибраций, среднеквадратические отклонения и графики исходных и смоделированных данных.

Затем по построенным математическим моделям найдём прогноз значений вибраций на контрольном интервале, содержащем 12 наблюдений. Получаемые результаты прогноза заносятся программой в файлы данных, которые затем используются для построения

качественной оценки технического состояния объекта.

Кроме того, в программе имеется возможность по мере поступления новых данных об объекте производить корректировку параметров его математических моделей по используемому критерию их качества с помощью адаптивной псевдоградиентной процедуры [11, 12], а также корректировать (обновлять) саму структуру рабочей модели [18, 19], что способствует получению более достоверного прогноза.

3 КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

После численного прогнозирования вибраций гидроагрегата данные прогнозов и критические значения, заданные в файлах K_1, K_2, K_3 , автоматически считываются программой и анализируются методами нечёткой логики с целью получения качественной оценки прогнозируемого технического состояния объекта.

Найдём качественную оценку технического состояния гидроагрегата по результатам проведённого прогнозирования на контрольном интервале.

Полученные результаты приведены на рисунке 1.

На рисунке 1 вверху отображаются графики функций принадлежности для трёх нечётких значений переменных вибраций: «отлично», «хорошо» и «плохо». Ниже в таблице приводятся результаты этапов построения модели нечёткого логического вывода: фазификация (перевод численных значений вибраций в нечёткие и определение степени истинности нечётких значений с помощью функций принадлежности) и рассуждение (определение нечётких значений выходной переменной, характеризующей техническое состояние гидроагрегата). Справа отображаются результаты этапа ком-

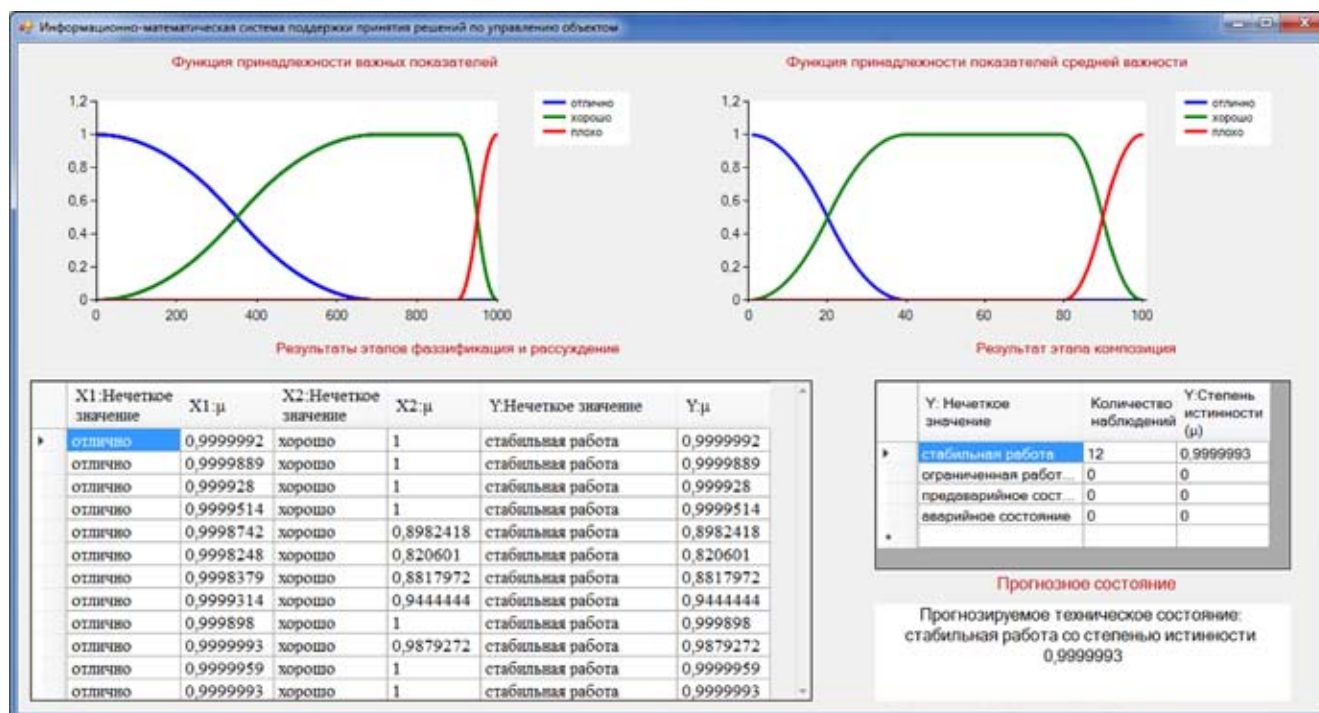


Рис. 1. Результаты качественной оценки прогнозируемого состояния гидроагрегата

позиция, предусматривающего объединение нечётких значений переменной, характеризующей техническое состояние агрегата, в итоговое нечёткое подмножество с использованием операции логического максимума степеней истинности. Внизу выводится конечный результат прогнозирования методом центра тяжести в виде качественной оценки прогнозируемого состояния объекта.

4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Из приведённых результатов работы предложенной системы (рис. 1) следует, что все значения абсолютных вибраций лежат в отрезке допустимых значений с высокой степенью истинности 0,99, а значения относительных вибраций имеют терм «хорошо», следовательно, прогнозируемые значения вибраций близки к критическим границам, но не выходят за область допустимых значений со степенью истинности от 0,82 до 1. После проведения этапов «рассуждение» и «композиция» оказалось, что для всех 12 наблюдений фиксируется «стабильная работа» гидроагрегата со степенью истинности этого состояния до 99%. Применяя метод центра тяжести, получаем, что итоговое прогнозируемое техническое состояние гидроагрегата на ближайший период эксплуатации – «стабильная работа» со степенью истинности 99%, что соответствует реальной ситуации на контрольном интервале.

Для осуществления анализа стабильности работы технического объекта в реальном времени необходимо на вход блока получения качественной оценки технического состояния объекта подавать исходные данные в виде значений показателей объекта, регистрируемых в текущий момент в процессе мониторинга объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью поддержки принятия решений по управлению объектом разработана специальная информационно-математическая система, осуществляющая построение адаптивных математических моделей контролируемых показателей объекта с последующим их использованием для прогнозирования технического состояния объекта.

Эта система позволяет в автоматическом режиме анализировать стабильность работы объекта в реальном времени и получать прогноз будущего технического состояния объекта в виде численных массивов данных показателей объекта, а также в виде нечёткого термина со степенью истинности прогнозируемого результата.

Эффективность системы продемонстрирована на примере диагностики функционирования гидроагрегата по результатам измерений вибраций. Оказалось, что прогнозирование было выполнено системой верно со степенью истинности 99%.

Описанная система может быть использована специалистами при эксплуатации технических объектов, функционирование которых характеризуется набором контролируемых показателей: электростанции, генераторные установки, гидроагрегаты, транспортные систе-

мы и т. п., в целях повышения оперативности и эффективности решений по управлению объектом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Бубырь Д.С. Прогнозирование состояния объекта с использованием систем временных рядов // Радиотехника. – 2015. – № 6. – С. 45–47.
2. Валеев С.Г. Регрессионное моделирование при обработке данных. – 2-е изд., доп. и перераб. – Казань : ФЭН, 2001. – 296 с.
3. Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А. О возможности совместного описания характеристик гидроагрегата адаптивными регрессиями // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2013. – № 1 (23). – С. 40–41.
4. Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А. Повышение эффективности системы управления техническими объектами при использовании адаптивного динамического регрессионного моделирования временных рядов // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 4 (34). – С. 77–83.
5. Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А. Применение адаптивного регрессионного моделирования при описании и прогнозировании технического состояния объекта // Автоматизация процессов управления. – 2016. – № 4 (46). – С. 35–40.
6. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plants // Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. – 1974. – Vol. 121, No. 12. – pp. 1585–1588.
7. Zadeh L.A. Fuzzy Logic // Computational Complexity: Theory, Techniques, and Applications / R.A. Meyers (eds). – New York : Springer, 2012. – pp. 1177–1200.
8. Kuvayskova Yu.E. The prediction algorithm of the technical state of an object by means of fuzzy logic inference models // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 201. – pp. 767–772.
9. Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А. Техническая диагностика объектов с использованием методов нечёткой логики // Радиотехника. – 2017. – № 6. – С. 32–34.
10. Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А. Программный комплекс моделирования и прогнозирования системы временных рядов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2013. – № 2 (62). – С. 24–27.
11. Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З. Псевдоградиентные алгоритмы адаптации и обучения // Автоматика и телемеханика. – 1973. – № 3. – С. 45–68.
12. Васильев К.К., Крашенинников В.Р. Статистический анализ последовательностей изображений. – М. : Радиотехника, 2017. – 248 с.
13. Владиславлев Л.А. Вибрация гидроагрегатов гидроэлектрических станций. – М. : Энергия, 1972. – 153 с.
14. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М. : Мир, 1976. – 166 с.

15. Кувайскова Ю.Е. Методика структурно-параметрической идентификации системы временных рядов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 4–4. – С. 914–918.

16. Watson M.W. Vector Autoregressions and Cointegration. – Amsterdam : Elsevier, 1994. – pp. 2844–2890.

17. Sims C.A. Macroeconomics and Reality // *Econometrica*. – 1980. – No. 48. – pp. 1–48.

18. Кувайскова Ю.Е., Крашенинников В.Р. Обновление структуры моделей системы временных рядов // Автоматизация. Современные технологии. – 2017. – Т. 71, № 10. – С. 435–438.

19. Обновление моделей прогнозирования состояния объектов в виде систем временных рядов и многомерных классификаторов / В.Р. Крашенинников, Ю.Е. Кувайскова, В.Н. Клячкин, Ю.С. Шунина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 6 (156). – С. 11–16.

REFERENCES

1. Kliachkin V.N., Kuvaiskova Iu.E., Bubyр D.S. Prognostirovanie sostoiianiia obekta s ispolzovaniem sistem vremennykh riadov [Approaches to Forecasting the State of the Object]. *Radiotekhnika* [Journal Radioengineering], 2015, no. 6, pp. 45–47.

2. Valeev S.G. *Regressionnoe modelirovanie pri obrabotke dannykh. 2-e izd., dop. i pererab.* [Regressive Modeling when Data Processing. 2nd Edition, Revised and Enlarged]. Kazan, FEN Publ., 2001. 296 p.

3. Kliachkin V.N., Kuvaiskova Iu.E., Aleshina A.A. O vozmozhnosti sovmestnogo opisaniia kharakteristik gidroagregata adaptivnymi regressiiami [About Possibility United Description of Characteristic of the Hydrounit on the Basis of Adaptive Regresses]. *Vektor nauki Toliattinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vector of Science of Togliatti State University], 2013, no. 1 (23), pp. 40–41

4. Kuvaiskova Iu.E., Aleshina A.A. Povyshenie effektivnosti sistemy upravleniia tekhnicheskimi obiektami pri ispolzovanii adaptivnogo dinamicheskogo regressionnogo modelirovaniia vremennykh riadov [Increasing the Efficiency of Technical Object Control System With the Use of Adaptive Dynamic Regression Modeling of the Time Series]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2013, no. 4 (34), pp. 77–83.

5. Kuvaiskova Iu.E., Aleshina A.A. Primenenie adaptivnogo regressionnogo modelirovaniia pri opisani i prognostirovanii tekhnicheskogo sostoiianiia obekta [The Use of Adaptive Regression Modeling in the Description and Forecasting of the Object Technical State]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2016, no. 4 (46), pp. 35–40.

6. Mamdani E.H. Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plants. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 1974, vol. 121, no. 12, pp. 1585–1588.

7. Zadeh L.A. *Fuzzy Logic. Computational Complexity: Theory, Techniques, and Applications*. R.A. Meyers (eds). New York, Springer, 2012, pp. 1177–1200.

8. Kuvaiskova Iu.E. The Prediction Algorithm of the Technical State of an Object by Means of Fuzzy Logic Inference Models. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 201, pp. 767–772.

9. Kuvaiskova Iu.E., Aleshina A.A. Tekhnicheskaiа diagnostika obiektov s ispolzovaniem metodov nechetkoi logiki [Technical Diagnostics of Objects with Use of Methods of Fuzzy Logic]. *Radiotekhnika* [Journal Radioengineering], 2017, no. 6, pp. 32–34.

10. Kuvaiskova Iu.E., Aleshina A.A. Programmnyi kompleks modelirovaniia i prognostirovaniia sistemy vremennykh riadov [Software Package for Modelling and Forecasting of Time Series System]. *Vestnik Ulyanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proc. of Ulyanovsk State Technical University], 2013, no. 2 (62), pp. 24–27.

11. Poliak B.T., Tsyarkin Ia.Z. Pseudogradientnye algoritmy adaptatsii i obucheniia [Pseudogradient Algorithms of Adoption and Training]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automatics and Telemechanics], 1973, no. 3, pp. 45–68.

12. Vasilev K.K., Krasheninnikov V.R. *Statisticheskii analiz posledovatel'nostei izobrazhenii* [Statistical Analysis of Image Sequences]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2017. 248 p.

13. Vladislavlev L.A. *Vibratsiia gidroagregatov gidroelektricheskikh stantsii* [Vibration of Water Power Plant Hydraulic Units]. Moscow, Energiia Publ., 1972. 153 p.

14. Zade L.A. *Poniatie lingvisticheskoi peremennoi i ego primeneniie k priniatiu priblizhennykh reshenii* [Conception of a Linguistic Variable and its Application for Approximate Solution Making]. Moscow, Mir Publ., 1976. 166 p.

15. Kuvaiskova Iu.E. Metodika strukturno-parametricheskoi identifikatsii sistemy vremennykh riadov [Method of Structural Parametric Identification of Time Series System]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Academic Journal Izvestiia of the Samara Russian Academy of Sciences Scientific Center], 2013, vol. 15, no. 4–4, pp. 914–918.

16. Watson M.W. *Vector Autoregressions and Cointegration*. Amsterdam. Elsevier, 1994. pp. 2844–2890.

17. Sims C.A. Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 1980, no. 48, pp. 1–48.

18. Kuvaiskova Iu.E., Krasheninnikov V.R. Obnovlenie strukturnykh modelei sistemy vremennykh riadov [Renovation the Models Structure of the Time Series System]. *Avtomatizatsiia. Sovremennye tekhnologii* [Scientific and Technical Magazin. Automation. Modern Technologies], 2017, vol. 71, no. 10, pp. 435–438.

19. Krasheninnikov V.R., Kuvaiskova Iu.E., Kliachkin V.N., Shunina Iu.S. Obnovlenie modelei prognostirovaniia sostoiianiia obiektov v vide sistem vremennykh riadov i mnogomernykh klassifikatorov [Updating of Models Predicting Objects' State as Time Series Systems and Multivariate Classifiers]. *Vestnik kompiuternykh i informatsionnykh tekhnologii* [Herald of Computer and Information Technologies], 2017, no. 6 (156), pp. 11–16.