ISNN:2181-1296

SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШАРОФА РАШИДОВА

SAMARKAND STATE UNIVERSITY NAMED AFTER SHAROF RASHIDOV

ILMIY AXBOROTNOMA

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
SCIENTIFIC JOURNAL

ANIQ VA TABIIY FANLAR SERIYASI

Matematika, Mexanika, Informatika
Fizika, Kimyo, Biologiya, Geografiya

№ 1/2 (137)
2023

ISSN 2181-1296

ILMIY AXBOROTNOMA

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК **SCIENTIFIC JOURNAL**

2023-yil, 1-son (137/2) **ANIQ VA TABIY FANLAR SERIYASI**

Matematika, Mexanika, Informatika, Fizika, Kimyo, Biologiya, Geografiya

Samarqand viloyat matbuot boshqarmasida ro‘yxatdan o‘tish tartibi 09-25.
Jurnal 1999-yildan chop qilina boshlagan va OAK ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR **R. I. XALMURADOV, t.f.d., professor**
BOSH MUHARRIR O‘RINBOSARLARI: **H.A. XUSHVAQTOV, f-m.f.d., dotsent**
A. M. NASIMOV, t.f.d., professor

TAHRIRIYAT KENGASHI:

ANIQ FANLAR

SH.A.ALIMOV	- O‘zFA akademigi
S.N.LAKAYEV	- O‘zFA akademigi (SamDU)
M.M.MIRSAIDOV	- O‘zFA akademigi
A.S.SOLEEV	- f.-m.f.d., professor (SamDU)
I.A.IKROMOV	- f.-m.f.d., professor (SamDU)
B.X.XO‘JAYAROV	- f.-m.f.d., professor (SamDU)
A.G.YAGOLA	- f.-m.f .d., professor (Moskva davlat universiteti, Rossiya)
I.I.JUMANOV	- f.-m.f .d., professor (SamDU)
X.X.XUDOYNAZAROV	- t.f.d., professor (SamDU)
ALBERTO DEL BIMBO	- Florensiya universiteti professori, Italiya
L.SABIROV	- f.-m.f .d., professor (SamDU)
A.JUMABOYEV	- f.-m.f .d., professor (SamDU)
N.N.NIZAMOV	- f.-m.f.d., professor (SamDU)
O.Q.QUVONDIQOV	- f.-m.f.d., professor (SamDU)
I.A.RAXMATULLAYEV	- f.-m.f .d., professor
A.SH.YARMUXAMEDOV	- f.-m.f .n. (SamDU)
X.S.XAYDAROV	- f.-m.f .n., dotsent (SamDU)

TABIY FANLAR

M.X.ASHUROV	- O‘zFA akademigi
N.B. FERAPONTOV	- k.f .d., professor (Moskva davlat universiteti, Rossiya)
SH. M. TUGIZOV	- professor, Koliforniya universiteti, AQSh
H. I. AKBAROV	- k.f.d., professor (O'zMU)
E. A. ABDURAXMONOV	- k.f.d., professor (SamDU)
N. K. MUXAMADIYEV	- k.f.d., professor (SamDU)
L. A. BULAVIN	- Kiev milliy universiteti professori, Ukraina
X. Q. XAYDAROV	- b.f.d., professor (SamDU)
Z. I. IZZATULLAYEV	- b.f.d., professor (SamDU)
Sh. T. XOLIQULOV	- g.f.d., professor (SamDU)
S. B. ABBASOV	- g.f.d., professor (SamDU)
Q. S. YARASHEV	- g.f.d., professor (SamDU)
GUN-SIK PARK	- Seul univeriteti professori, Koreya
D.B.XURSANOV	- g.f.f.d., dotsent (SamDU)
M. S. QUZIYEV	- b.f.f.d., dotsent (SamDU)

Obuna indeksi – yakka tartibdagi obunachilar uchun **- 5583,**
tashkilot, korxonalar uchun **- 5584**

MUNDARIJA

Б.Х.Хужаёров, А.И.Усмонов, Ф.Б.Холлиев *Анализ переноса вещества в пористой среде на основе диффузионного уравнения с много-членными дробными производными по времени*.....	2-8
Жуманов И.И., Сафаров Р.А. *Идентификации микрообъектов на основе использования текстурных и геометрических особенностей изображений*.....	9-18
Tashmatova R.V., Ruziyev I.X., Bebitova K.E. *Kimyo darslarida didaktik o'yinlardan foydalanish haqida mulohazalar*.....	19-23
Жуманов И.И., Холмонов С.М. *Оптимизация прогнозирования нестационарных объектов в условиях большой параметрической неопределенности*	24-33
Safarov T.N. *Uch o'lchovli affin fazosidagi geometriyalar*.....	34-39
Хасанов Т.Г. *Интегрирование нагруженного уравнения кортевега-де фриза с источником в случае движущихся собственных значений в классе быстроубывающих функций*.....	40-50
Nazarov F.M., Eshtemirov B.Sh., Saydullayev Q.Sh. *Microscopic and macroscopic flow models of traffic management*.....	51-58
Tursunov F., Dong Qiu *Zol-gel usulida SiO_2 mikrosferik zarrachalarning sintezi*.....	59-62
Турсунов Ф.Р., Рузикулов Ф.Ф. *Регуляризация задачи коши для линейных эллиптических систем первого порядка с постоянными коэффициентами в ограниченной области*	63-69
Trobov X.T., Atavullayeva Sh.Sh., Karimov X.R., Tursunova G.X., Djurayeva R.A. *Polimer gellarda reagentsiz usulda elektrolitlar aralashmalarini ajratish*.....	70-75
Турдиев Х.Х., Болтаев А.А. *Прямая задача для системы интегро-дифференциальных уравнений в вязкоупругой анизотропной среде*.....	76-84
Begimkulova Sh.A., Mirzayev Sh.E., Hasanov R., Rajabova M., Ivanes A., Nasimov A.M. *Study of adsorption properties OF Mg^{2+} modified Li - Mn spinel*	85-89
Qurbonov Sh.B., Abdiyeva Z.A. *Viloyat ma'muriy markazlarini iqtisodiy geografik o'rganishning ba'zi bir masalalari*.....	90-96
Arziqulov E.U., Urolov Sh.Z., Z. Shaymardanov Sh., Jalolov R.R., Rustamova B.N. *Rux oksidi nanokristallari strukturasi va optik xossalariga yuqori haroratli qizdirishning ta'siri*.....	97-102
Rustamova N., Amriddinova D. *Isolation, identification and optimization of exopolysaccharide-based bioflocculant synthesis by soil bacteria bacillus atrophaeus NR-12*.....	103-109
Ishankulov T., Mannonov M., Mukarramxujayeva N. *Bir jinsli bo'lmagan polianalitik tenglama yechimini birlik doira chegarasining qismidan davom ettirish*.....	110-115
Олимов Х.К., Канокова Ш.З., Шодмонов М.З., Кахорова А.Н. *Анализ распределений поперечных импульсов заряжённых частиц в Pb+Pb Столкновениях при $(s_{nn})^{1/2}$=2.76 ТэВ*.....	116-120
Xudoyberdiyeva I.A. *Navoiy viloyatida chorvachilik tarmoqlarini hududiy tashkil etishning iqtisodiy-geografik jihatlari*	121-125
Qurbonov H., Bozorova O'. *Qayta tiklanish jarayonining kutish joylari soni cheklangan xizmat ko'rsatish sistemalari statsionar navbat uzunliklari taqsimotini o'rganishga tadbiqi*.....	126-131

УДК 658.512.011 https://doi.org/10.59251/2181-1296.2023.v1.1.1871

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

И.И.Жуманов, С.М.Холмонов
Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова

Аннотация. Разработаны основные подходы, принципы и методы оптимизации прогноза случайных временных рядов (СВР) нестационарных объектов в условиях априорной недостаточности и большой параметрической неопределенности в системах управления производственно-технологическими комплексами. Разработана методика упрощенного вычисления статистических параметров. Предложены алгоритмы порогового контроля значений элементов СВР, контроля по приращениям, по значениям погрешности предсказания. Получены общее и частные решения задач для широкого спектра статистических и динамических моделей. Разработан программный комплекс идентификации, анализа и прогнозирования нестационарных объектов. Проведен алгоритмический синтез модулей идентификации СВР в среде параллельных вычислений на платформе NVIDIA CUDA. Реализован модифицированный циклическому многосеточный метод. Осуществлены расчеты в режиме с четырех ядерным процессором.

Ключевые слова: технологические параметры, идентификация, прогноз, оптимизация, погрешности, трудоемкость, стоимость, программный комплекс.

Keng parametrlar noaniqligi mavjud sharoitlarda nostatsionar ob’ekt bashoratini optimallashtirish

Annotatsiya. Ishlab chiqarish – texnologik majmualarni boshqarish tizimi nostatsionar ob’ektlarining tasodifiy vaqtli qatorlarini (TVQ), aprior tanqislik va keng parametrli noaniqlik mavjud sharoitlarda optimal bashoratini amalga oshirish uchun asosiy yondashuv, prinsip va usullar ishlab chiqilgan. Statistik parametrlarni soddalashgan hisoblanish uslubiyati yaratilgan. TVQ elementlari qiymatlarini bo‘sag‘a, orttirma qiymati, bashorat qilish xatoligi qiymati bo‘yicha nazoratlarni amalga oshiruvchi algoritmlar taklif etilgan. Masalalalarning umumiy va xususiy yechimlari keng spektrli statistik va dinamik modellar bo‘yicha olingan. Nostatsionar ob’ektlarni identifikatsiya, tahlil va bashorat qilish dasturiy majmuasi yaratilgan. TVQni identifikatsiya qiluvchi modullarning algoritmik sintezi NVIDIA CUDA platformasi bo‘yicha parallel hisoblanish muhitida amalga oshirilgan. Bunda, takomillashtirilgan ko‘p katakli siklik usul joriy etilgan hamda hisoblar to‘rt yadorli protsessor rejimida amalga oshirilgan.

Kalit so‘zlari: texnologik parametr, identifikatsiya, bashorat qilish, optimallashtirish, xatolik, murakkablik, xarajat narxi, dasturiy majmua.

Optimization of forecasting of non-stationary objects under conditions of large parametric uncertainty

Abstract. The main approaches, principles and methods for optimizing the forecast of random time series (RTS) of non-stationary objects under conditions of a priori insufficiency and large parametric uncertainty in control systems of production and technological complexes have been developed. A technique for simplified calculation of statistical parameters has been developed. General and particular solutions of problems are obtained for a wide range of statistical and dynamic models. General and particular solutions of problems are obtained for a wide range of statistical and dynamic models. A software package for identification, analysis and forecasting of non-stationary objects has been developed. Algorithmic synthesis of SVR identification modules in the parallel computing environment on the NVIDIA CUDA platform was carried out. A modified cyclic multigrid method has been implemented. Calculations were carried out in the mode with a four-core processor.

Key words: technological parameters, identification, forecast, optimization, errors, labor intensity, cost, software package.

1. Введение. Большую научную и практическую значимость представляет разработка методов, моделей, алгоритмов идентификации и прогнозирования случайных временных рядов (СВР) технологических параметров на основе современных технологии оптимизации, которые ориентированы на применения статистических, динамических и нейросетевых моделей [1-4].

Новые решения задач оптимизации прогнозирования нестационарных объектов предполагает разработки методов, направленных на построении вычислительных схем извлечения информационно-статистических параметров, динамических, специфических характеристик, скрытых знаний и особенностей объектов на основе применения конструктивных особенностей механизмов отбора информативных элементов СВР, контроля достоверности данных, настройки значений переменных. При этом требуется создания комплекса алгоритмов идентификации СВР, представляемых прозрачными и устойчивыми процедурами и выполняемых с меньшими затратами [5, 6-8].

Важное значение при оптимизации прогноза нестационарных объектов имеет механизмы контроля погрешности идентификации и повышения достоверности информации.

Решение этих задач оптимизации обусловлены, необходимостью контроля ошибок в информации, которые возникают в процессах измерения, подготовки, ввода, передачи и обработки данных. Причем, они обусловливаются ошибками человек – оператора, воздействием помех в каналы связи, сбоями и отказами электронных устройств [9, 10, 11, 12].

Современные протоколы передачи данных обеспечивают достоверности информации систем управления на основе использования кодовых методов и искусственной информационной избыточности, которые, однако не учитывают большую долю ошибок звеньев ввода информации и являются много затратными [12-14].

Предложен подход, направленный на повышении достоверности информации механизмов оптимизации идентификации и прогноза, в которых используются статистические, корреляционные, логико-семантические, структурно-технологические связи элементов СВР [15, 16].

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Методика упрощенного вычисления статистических параметров. Исследованы стратегии контроля по критериям трех сигм, Пирсона, Колмогорова, точечной, интервальной, Байесовской оценки и др., которые дополняют их возможности тогда, когда требуется учет условий ограниченности априорной недостаточности и наличия большой параметрической неопределенности в моделях объектов [17, 18].

Разработаны механизмы порогового контроля достоверности элементов СВР, контроля по приращениям СВР, контроля по значениям погрешности предсказания с использованием статистических, динамических и совмещенных моделей идентификации СВР [19, 20, 21].

Согласно разработанной методики новая оценка математического ожидания СВР представляется в виде:

$$\tilde{E}_m = \tilde{E}_{m-1} + 2^{-Q(m)}(X_m - \tilde{E}_{m-1}), \quad \tilde{E}_0 = 0, \tag{1}$$

где m - число наблюдений;

$Q(m)$ - целое положительное число, зависящее от m, которое определяется из неравенство $\alpha 2^{Q(m)-1} \le m \le \alpha 2^{Q(m)}$;

α -некоторая постоянная, не зависящая от m.

Определено, что предложенная методика вычисления математического ожидания требует в 2 раза меньше времени, чем формулы вычисления математического ожидания по классической методике.

Для оценки дисперсии СВР предложено применение методики

$$\tilde{D}_m = \tilde{D}_{m-1} + 2^{-Q(m-1)}[(X_m - \tilde{E}_m) - \tilde{D}_{m-1} + 2^{-Q(m-1)}(X_m - \tilde{E}_m)^2]. \tag{2}$$

Для оценки функции корреляции предложена методика

$$\tilde{K}_{m,n} = \tilde{K}_{m-1,n} + \frac{1}{mn}[(X_m - \tilde{X})(Y_n - \tilde{Y}) - \tilde{K}_{m-1,n}],$$

где $\tilde{K}_{0,n} = 0;\ n = 1, 2, \ldots; \tilde{K}_{m,0} = 0;\ m = 1, 2, \ldots.$

Для повышения эффективности вычисления использован оператор деления на mn путем замены деления на $2^{[Q_1(m)-Q_2(n)]}$ по методике

$$\tilde{K}_{m,n} = \tilde{K}_{m-1,n} + 2^{-[Q_1(m)-Q_2(n)]}[(X_m - \tilde{X})(Y_n - \tilde{Y}) - \tilde{K}_{m-1,n}],$$

где $Q_1(m)$ и $Q_2(n)$ - целые положительные числа, зависящие от m и n.

Автокорреляционная функция оценивается, как

$$\tilde{\tilde{K}}_{m,m} = \tilde{\tilde{K}}_{m-1,m} + 2^{-2Q(m)}[(X_i - \tilde{\tilde{X}})(X_j - \tilde{\tilde{X}}) - \tilde{\tilde{K}}_{m-1,m}]. \quad (3)$$

Эффективность разработанных алгоритмов извлечения статистических параметров нестационарных объектов исследована при 10 статистических выборках наблюдений, каждая из которых содержит 200 измерений элементов СВР по одному технологическому параметру.

Результаты сравнены с расчетами, полученными по классической методике – *F*-критерию Фишера, при $\mathcal{P} = 0{,}9$. Определено, что погрешность механизмов составляет 10-15%. Аналогично проведены эксперименты по данным еще 15 переменных исследуемого технологического процесса.

Механизм оптимизации идентификации на основе порогового контроля достоверности элементов СВР. Механизмы контроля достоверности обработки информации нестационарных объектов строятся на основе следующих принципов и правил.

Множество значений СВР $\{\beta_j\}$ разделяется с нижним ($a_\alpha - x$) и верхним ($a_\alpha + y$) порогами контроля.

В результате образуются подмножества с разрешенными значениями $\{\beta_p\}$ ($a_\alpha - x \le \beta_p \le a_\alpha + y$) и подмножества запрещенных значений элементов СВР $\{\beta_3\}$ ($\alpha_{\min} \le \beta_3 < a_\alpha - x$; $a_\alpha + y \le \beta_3 < \alpha_{\max}$).

По правилу контроля информация считается достоверной, если элемент СВР β_j принадлежит подмножеству разрешенных значений $\{\beta_p\}$, и недостоверной, если элемент СВР β_j принадлежит подмножеству запрещенных значений $\{\beta_3\}$.

Для построения различных механизмов контроля достоверности информации разработаны следующие правила.

Механизм $A^I_{\sigma_n}$. Область значений элементов СВР до передачи обозначим через α, а значений СВР после получения СВР через β, которые разбиваются нижней x и верхней y границами (порогами) на три подмножества в виде условий

$$\gamma = \begin{cases} x, & \text{при} \quad \alpha_{\min} = \beta_{\min} \le \beta < x; \\ \beta, & \text{при} \quad x \le \beta \le y; \\ y, & \text{при} \quad y < \beta \le \beta_{\max} = \alpha_{\max}. \end{cases}$$

Элемент СВР, значение которого выходит за границы разрешенных значений считается искаженным и сглаживается путем отождествления с верхней y или нижней x границами контроля.

Механизм $A^{II}_{\sigma_n}$. Механизм обрабатывает информации по правилу:

$$\gamma = \begin{cases} \beta, & \text{при} \quad x \le \beta \le y; \\ a_\alpha, & \text{при} \quad \alpha_{\min} = \beta_{\min} \le \beta < x; y < \beta \le \beta_{\max} = \alpha_{\max}. \end{cases}$$

Ошибочные значения элементов СВР β сглаживаются путем отождествления со средним значением элементов СВР в виде a_α.

Механизмы порогового контроля значений приращений СВР и значений погрешностей предсказания СВР по различным моделям представляются следующими правилами.

Механизм $Б_{\sigma_n}$**.** При контроле значения приращения СВР информация α_k считается принятой верно, если $\Delta\beta_k \in \{\Delta\beta_p\}$ и ошибочно, если $\Delta\beta_k \in \{\Delta\beta_3\}$. Ошибочная информация исправляется по следующему правилу

$$\gamma_k = \begin{cases} \beta_k, & \text{если } \Delta\beta_k \in \{\beta_\rho\}; \\ \beta_{k-1}, & \text{если } \Delta\beta_k \in \{\beta_3\}. \end{cases}$$

Значение ошибочного элемента СВР сглаживается путем отождествления с предыдущим значением временной последовательности СВР β_{k-1}.

Механизм B_{σ_n}. Механизм строится по правилу, которое будет аналогичным алгоритму $Б_{\sigma_n}$. Разница в данном случае заключается в том, что рассматривается переменная $\Delta\beta_k^*$ между реальным и предсказанным значениями элементов СВР β_k.

Механизмы контроля с предсказаниями, основаны на следующие модели: $B^1{}_{\sigma_n}$ – ступенчатая экстраполяции; $B^2{}_{\sigma_n}$, $B^3{}_{\sigma_n}$ – статистическая экстраполяция по одной и двум предыдущим точкам. Ошибочная информация исправляется, как

$$\gamma_k = \begin{cases} \beta_k, & \text{если } \Delta\beta_k^* \in \{\beta_\rho^*\}; \\ \beta_k^*, & \text{если } \Delta\beta_k^* \in \{\beta_3^*\}. \end{cases}$$

Для механизма $B_{\sigma_n}^1$ исправленное значение ошибки равно $\beta_k^* = \beta_{k-1}$, а для механизмов $B_{\sigma_n}^2$, $B_{\sigma_n}^3$ равно $\beta_k^* = \beta_k$.

2.2. Общее и частные решения задачи. Механизмы оставляют необнаруженной ошибки двух родов, которые оцениваются с общей вероятностью

$$P_H = P\frac{x+y}{B} + (1-P)\left[1 - \int_{a_\alpha - x}^{a_\alpha + y} w(\alpha)d\alpha\right], \tag{4}$$

где P-средняя вероятность ошибок на процессах измерения, ввода, передачи и обработки информации;

B-диапазон изменения значений элемента СВР, который в исследование принимается равным 10, 100, 1000;

$w(\alpha)$-функция плотности распределения вероятностей элементов СВР.

Общее решение задачи. Приведем общее решения задачи в условиях традиционной технологии передачи информации (алгоритм $A_{\sigma_n}^0$) т.е., когда не принимается дополнительные меры для обеспечения достоверности данных. Совместив для простоты $\alpha_{\min}/\delta$ с началом координат и воспользовавшись известными формулами для сумм натуральных рядов целых чисел и их квадратов, получено выражение для среднеквадратической погрешности контроля информации запишем в виде

$$\sigma_n^2 = \sum_{\alpha_i=0}^{B/\delta-1} f(\alpha_i) \sum_{\alpha_i=0}^{B/\delta-1} \sum_{(\alpha_i \neq \alpha_j)} (\alpha_i\delta - \alpha_j\delta)^2 \frac{P\delta}{B-\delta} =$$

$$= P(\sigma_{\alpha_i}^2 + a_{\alpha_i}^2 - Ba_{\alpha_i} + \frac{1}{3}B^2) + Q(\delta), \tag{5}$$

где $\sigma^2_{\alpha_i}$ и a_{α_i} – соответственно, дисперсия и математическое ожидание дискретного распределения $f(\alpha_i)$, вычисленные с учетом переноса начала координат;

$Q(\delta)$ – слагаемое высшего порядка малости, зависящее от величины шага квантования δ.

Для упрощения и большей наглядности выкладок можно воспользоваться предельными (интегральными) значениями ошибок.

Обозначим элемент α_i СВР через α, принятый элемент α_j СВР через β. Тогда, в пределе $\delta \to 0$ формулу погрешности можно записать в виде

$$\sigma_n^2 = \int_0^B \omega(\alpha)d\alpha \int_0^B (\alpha-\beta)^2 \frac{P}{B} d\beta = P(\sigma_\alpha^2 + a_\alpha^2 - Ba_\alpha + \frac{1}{3}B^2). \qquad (6)$$

Средний квадрат погрешности алгоритма порогового контроля информации оценивается в соответствии с принятым правилом в виде

$$\sigma_n^2 = M[(\gamma-\beta)^2] = M_{\alpha\neq\beta;\beta\in\{\beta_\rho\}}[(\alpha-\beta)^2] + M_{\alpha\neq\beta;\beta\in\{\beta_3\}}[(\alpha-x)^2] +$$

$$+ M_{\alpha\neq\beta;\beta\in\{\beta_3\}}[(\alpha-y)^2] + M_{\alpha=\beta;\beta\in\{\beta_3\};\beta<x}[(\alpha-x)^2] + M_{\alpha=\beta;\beta\in\{\beta_3\};\beta>y}[(\alpha-y)^2].$$

После некоторых преобразований формулу запишем в виде

$$\sigma_n^2 = \frac{P}{B}\int_\Omega \omega(\alpha)d\alpha\left[\int_0^x (\alpha-x)^2 d\beta + \int_x^y (\alpha-\beta)^2 d\beta + \int_y^\beta (\alpha-y)^2 d\beta\right] +$$

$$+ (1-P)\left[\int_0^x (\alpha-x)^2\omega(\alpha)d\alpha + \int_y^\beta (\alpha-y)^2\omega(\alpha)d\alpha\right]. \qquad (7)$$

Вычисление интегралов с заменой $M(\alpha^2) = \sigma_\alpha^2 + a_\alpha^2$ и $M(\alpha) = a_\alpha$ приводит к новому выражению оценки погрешности

$$\sigma_n^2 = \frac{P}{B}[x(\sigma_\alpha^2 + a_\alpha^2 - 2a_\alpha x + x^2) + (B-y)(\sigma_\alpha^2 + a_\alpha^2 + a_\alpha y + y^2) +$$

$$+ \frac{1}{3}(y-x)(3\sigma_\alpha^2 + 3a_\alpha^2 - 3a_\alpha x - 3a_\alpha y + x^2 + y^2 + xy)] +$$

$$+ (1-P)\left[\int_0^x (\alpha-x)^2\omega(\alpha)d\alpha + \int_y^\beta (\alpha-y)^2\omega(\alpha)d\alpha\right].$$

Приравнивая к нулю частных производных, по переменным $\overset{0}{x}$ и $\overset{0}{y}$ выражения среднеквадратической погрешности, получим следующие уравнения:

$$\overset{0}{x}^2 - a_\alpha \overset{0}{x} = 0; \qquad \overset{0}{y}^2 - \overset{0}{y}(a_\alpha + B) + a_\alpha B = 0. \qquad (8)$$

Из них находятся значения порогов для контроля информации.

Средний квадрат погрешности механизма $A^{II}_{\sigma_n}$ записывается в виде

$$\sigma_n^2 = \frac{P}{B}\int_{\Omega}\omega(\alpha)d\alpha\left[\int_0^x(\alpha-a_\alpha)^2 d\beta+\int_x^y(\alpha-\beta)^2 d\beta+\int_y^\beta(\alpha-a_\alpha)^2 d\beta\right]+$$

$$+(1-P)\left[\int_0^x(\alpha-a_\alpha)^2\omega(\alpha)d\alpha+\int_y^\beta(\alpha-a_\alpha)^2\omega(\alpha)d\alpha\right].$$

И, наконец, после вычисления интегралов в несложных преобразованиях принимает окончательный вид

$$\sigma_n^2 = \frac{P}{B}[x\sigma_\alpha^2+(B-y)\sigma_\alpha^2+\frac{1}{3}(y-x)(3\sigma_\alpha^2+3a_\alpha^2+x^2+y^2-$$

$$-3a_\alpha x-3a_\alpha y+xy)]++(1-P)\left[\sigma_\alpha^2-\int_x^y(\alpha-a_\alpha)^2\omega(\alpha)d\alpha\right]. \quad (9)$$

Определив частные производные $\frac{\partial\sigma_m^2}{\partial x}=0$; $\frac{\partial\sigma_m^2}{\partial y}=0$ находим уравнение порогов для алгоритма $A_{\sigma_n}^{II}$

$$\omega(\overset{0}{x})=\omega(\overset{0}{y})=\frac{1}{1-P}. \quad (10)$$

Частное решение задачи заключается в получение минимальной среднеквадратической погрешности при оптимальных границах контроля по каждому механизму.

Когда элементы СВР подчиняются нормальному закону распределения вероятностей, то оптимальные пороги механизма $A_{\sigma_n}^{II}$ находятся в виде

$$\overset{0}{x}=\overset{0}{y}=a_H\pm\sigma_H\sqrt{-2\ln\frac{\sqrt{2\pi}\sigma_H}{1-P}}. \quad (11)$$

Получены также математические выражения для оценки минимальной среднеквадратической погрешности контроля информации.

Отметим, что решения задач, полученные для механизмов контроля достоверности информации по приращениям СВР, по значению погрешности предсказаний для различных моделей идентификации сопровождаются аналогичным образом.

Установлено, что эффективной областью пороговых алгоритмов исправления ошибок по среднему значению являются $P\geq10^{-3}$, $\sigma_\alpha/B\geq10^{-2}$. При этом, точность обработки данных повышается на один порядок.

Механизмы контроля по приращениям целесообразно использовать в условиях, когда $P<10^{-3}$, $\sigma_\alpha/B<10^{-2}$, $R(\tau)\geq0{,}7$. При этом, точность обработки данных повышается до двух порядков.

Механизмы контроля по значениям погрешности моделей предсказания повышает точность обработки информации на два-три порядков, В частности при статистической экстраполяции и сильной корреляции элементов СВР механизм ступенчатой экстраполяции является эффективным.

2.3. Механизмы оптимизации прогноза с учетом нестационарности объектов. Для чего, построены механизмы адаптивного контроля информации, которые реализованы для кусочно-стационарного и нестационарного процессов по правилам:

- смещается уровень расположения границ контроля - K_1;

- расширяется границы контроля - K_2 $\{K_2^{(1)},K_2^{(2)}\}$;

- сжимается ширина границ контроля - K_3 $\{K_3^{(1)}, K_3^{(2)}\}$;

- производится адаптация границ контроля - $K_2^{(3)}, K_3^{(3)}$.

Механизм K_1. Адаптируется уровень расположения границ контроля путем смещения его вверх или вниз с учетом изменения среднего значения контролируемого процесса.

Механизмы K_2 $\{K_2^{(1)}, K_2^{(2)}, K_2^{(3)}\}$. Адаптируется ширина границ контроля информации с учетом изменения среднеквадратического отклонения в сторону возрастания (алгоритм $K_2^{(1)}$), убывания (алгоритм $K_2^{(2)}$) или с учетом складывающейся ситуации в динамике СВР (алгоритм $K_2^{(3)}$).

Механизмы K_3 $\{K_3^{(1)}, K_3^{(2)}, K_3^{(3)}\}$. В данном случае ширина границ контроля информации сжимается.

В случае возрастания динамики адаптируется уровень расположения границ путем смещения вверх и сжатия верхней границы (алгоритм $K_3^{(1)}$).

С убыванием динамики СВР уровень расположения границ контроля элемента смещается вниз и сжимается нижняя граница (алгоритм $K_3^{(2)}$).

Правило алгоритма $K_3^{(3)}$ регулируется на основе складывающейся ситуации в динамике СВР.

Механизм K_1. Если в t_k-м моменте обнаружится, что значение β_k находится в пределе установленных границ контроля, то принимается решение о контроле очередного β_{k+1} отсчета в последовательности.

Однако с течением времени значение элемента СВР может выходить за пределы установленных границ контроля, тогда рассматриваются следующие правила.

Механизм $K_2^{(1)}$, В механизме учитывается рост динамики СВР и расширяется верхняя граница на величину $+\Delta\sigma_M$, т.е. $\Gamma_B^{(1)} = a_\alpha(\tau_1) + (y + \Delta\sigma_M)$.

Либо строится новый вариант работы механизма $K_2^{(2)}$, который учитывает убывание динамики СВР и нижняя граница расширяется на величину $-\Delta\sigma_M$.

Контроль информации в *n*-м шаге проводится по границам:

$$\Gamma_H^{(n)} = a_\alpha(\tau_i) - (x + n\Delta\sigma_M); \quad \Gamma_B^{(n)} = a_\alpha(\tau_i) + (y + n\Delta\sigma_M).$$

Алгоритм $K_2^{(3)}$. Механизм учитывает изменения среднего значения и среднеквадратического отклонения элемента СВР.

Для чего, выявляются параметры Δa_M, $\Delta\sigma_M$ за период наблюдения $\tau_i = [T_0, T_1]$.

Адаптация уровня расположения и ширины границ контроля продолжается до попадания значения элемента СВР в пределы границ контроля, т.е.

$$\Gamma_B^{(n,n_1)} = a_\alpha(\tau_1) + n_1\Delta a_M + (y + n_1\Delta\sigma_M), \quad \Gamma_H^{(n,n_2)} = a_\alpha(\tau_1) + n_2\Delta a_M - (x + n_2\Delta\sigma_M),$$

где n_1-шаг адаптации верхней,

n_2 - нижней границы контроля.

Механизмы адаптивного контроля информации на основе предсказывающих моделей используют разности статистических параметров $\Delta a_\alpha(t_K)$; $\Delta\sigma_\alpha^2(t_K)$; $B(t_K)$, которые затем настраиваются на условия изменения нестационарной динамики СВР.

Для механизмов адаптивного контроля информации получено общее выражение оценки экстремального значения среднеквадратической погрешности

$$\overset{0}{\Delta\sigma}{}_n^{*2} = 2[1-B(\tau)]\sigma_n^{*2}\left\{1+\frac{2(1-P)}{\sqrt{\pi}}\sqrt{-\ln\frac{\sqrt{4\pi[1-B(\tau)]}\sigma^*{}_H}{1-P}}\times\right.$$
$$\left.\times\left\{\frac{\sqrt{4\pi[1-B(\tau)]}\sigma^*{}_H}{1-P}+\ln\frac{\sqrt{4\pi[1-B(\tau)]}\sigma^*{}_H}{1-P}-1\right\}\right\}. \quad (12)$$

Обобщенное выражение погрешности используется при оценке эффективности механизма контроля информации.

Разница заключается в значение погрешности экстраполяции, которые влияют на результаты алгоритмов, функционирующих при правилах адаптации уровня расположения, ширины границ контроля и параметров экстраполирующих моделей.

Получены результаты для механизмов, построенных на основе многочленов Лагранжа, Ньютона, адаптивной модели Р.Брауна, трехслойной нейронной сети при экспоненциальной, колоколообразной и треугольной функциях автокорреляции. Установлено, что в условиях, когда $\sigma_\alpha(t) \le 0{,}1$, $P = 3{,}7\cdot 10^{-3}$, тогда выигрыш в точности идентификации и обработки информации на основе механизмов контроля с предсказаниями повышается на два–три порядков.

2.4. Комплекс прогнозирования нестационарных объектов. Разработан и реализован программный комплекс (ПК) идентификации и прогнозирования нестационарных объектов.

Алгоритмы ПК синтезированы с механизмом параллельных вычислений на основе модифицированного циклического многосеточного метода в среде платформы NVIDIA CUDA.

Эффективность многосеточного метода оценена по критериям погрешности идентификации СВР и трудоемкости обработки данных.

Для динамических моделей идентификации СВР представляются в векторном пространстве с помощью оператора

$$L_h U_h = F_h, \quad (13)$$

где $\Omega_h \in [1,...,M;\ 1,...,N;\ 1,...,K]$ пространство выпуклых кубов, $\Omega_h \in R^3$; $\partial\Omega_{h0}(U) = U_0$, $\partial\Omega_{h1}(U) = \dfrac{\partial U}{\partial n_{\partial\Omega}}$; L-эллиптический оператор вида $LU = \sum_{i,j}\dfrac{\partial}{\partial x_i}\left(a_{ij}\dfrac{\partial U}{\partial x_j}\right)$; условие эллиптичности $a_{ij} = a_{ji}$, что $\sum a_{ij}\xi_i\xi_j \ge \alpha\sum_i \xi_i^2$, $\xi \in R^3$ и $i, j \in [1,2,3]$, постоянная $\alpha > 0$, F - известная функция; $U \in C^2$ - неизвестная функция, индекс h означает принадлежность к сеточному пространству; M, N, K - размерность задачи в R^3, сторона куба вычисляется как $\Delta h_j = \dfrac{1}{X_j}$; $X_j = \{M, N, K\}$; $j \in [1,2,3]$.

Применены трехточечный и пятиточечный конечно-разностные шаблоны с эллиптическим оператором

$$L_h^*(\lambda) = \sum_{j=1}^{3}\frac{(\lambda_{i+1} - 2\lambda_i + \lambda_{i-1})_j}{(\Delta h)_j^2} + 0(\Delta h^2);$$
$$L_h^{**}(\lambda) = \sum_{j=1}^{3}\frac{(-\lambda_{i+2} + 16\lambda_{i+1} - 30\lambda_i + 16\lambda_{i-1} - \lambda_{i-2})_j}{(12\Delta h)_j^2} + 0(\Delta h^4). \quad (14)$$

Для выбора подходящей модели идентификации СВР осуществлена серия расчетов на С++ модулях в серийном режиме с четырех ядерным процессором AMD Athlon 64X2 4800+.

На рис. 1. показаны графики эффективности механизмов оптимизации идентификации и прогнозирования СВР по критерию трудоемкости обработки данных, которые получены при различных объемах информации. Графики обозначены:

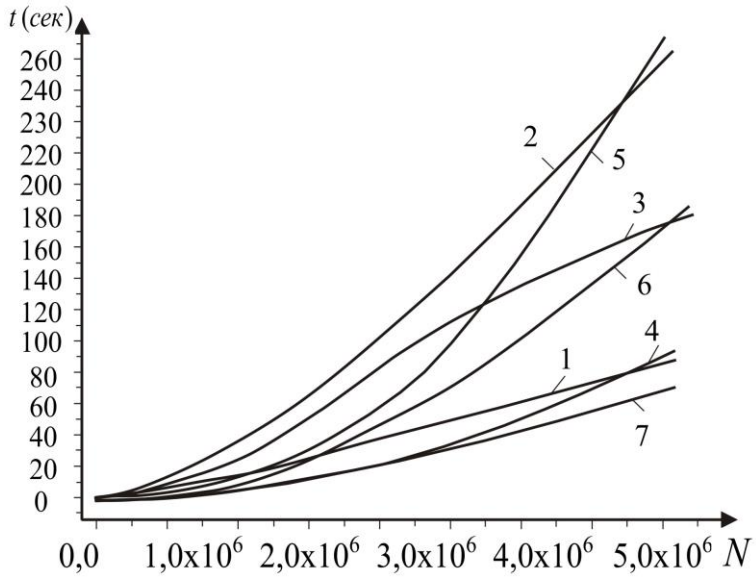


Рис.1.

1 - механизма $A^{I}_{\sigma_n}$;

2 - механизма $A^{II}_{\sigma_n}$;

3 - механизма $Б_{\sigma_n}$;

4 - механизма B_{σ_n};

5 - механизма K_1;

6 - механизмы K_2 $\{K_2^{(1)}, K_2^{(2)}, K_2^{(3)}\}$;

7 - механизмы K_3 $\{K_3^{(1)}, K_3^{(2)}, K_3^{(3)}\}$.

Реализованные механизмы Гаусс-Зейделя, временных релаксаций, блочной загрузки данных в разделяемую память, двумерной индексации по параллельным потокам i и j примерно в 1,5-1,8 раза сокращают время запроса на получение индексов по сравнению механизма с трехмерной индексацией.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены общее и частные решения задач оптимизации идентификации и прогнозирования СВР при стационарном, кусочно-стационарном, нестационарном процессах.

Предложены и реализованы механизмы контроля значений элементов СВР по порогам, приращениям СВР, погрешностям предсказаний при различных статистических, динамических моделях.

Разработаны правила адаптации уровня расположения границ контроля, сжатия или расширения границ контроля, а также комбинированные правила адаптации значений переменных.

Предложен и реализован ПК идентификации и прогнозирования СВР, который рекомендуется применить в различных системах обработки аналого-дискретных данных для прогнозирования нестационарных объектов.

Литературы

1. Jumanov I.I., Abdullaev A.N. The control of information transmission accuracy in systems of automation for measurement and processing of non-stationary nature data // In proceedings of the Fourth WCIS for Industrial Automation, 2006. – Tashkent, Uzbekistan. – b-Quadrat Verlag, 2006. – 201-206 p.
2. Ibragimovich J.I., Abdusalyamovich D. B. Software Package for Identification and Processing of Multidimensional Time Series by Spline Functions // Eurasian Journal of Engineering and Technology. – 2022. – Т. 4. – С. 22-25.
3. Ibragimovich J.I., Azamat o'g'li A.J. Optimization of Text Processing In Documents of Automated Office Work Systems // European journal of innovation in nonformal education. – 2022. – Т. 2. – №. 2. – с. 374-378.

4. Ibragimovich J.I., Erkinovich T.A. Control of the Reliability of Textual Information in Documents Based on Neuro-Fuzzy Identification //Middle European Scientific Bulletin. – 2022. – Т. 21. – С. 144-149.
5. Жуманов И.И., Джуманов О.И., Сафаров Р.А. Оптимизация идентификации изображений микрообъектов с учетом систематической погрешности на основе нейронных сетей //Фундаментальные проблемы управления производственными процессами в условиях перехода к индустрии 4.0. – 2020. – С. 218-220.
6. Jumanov I.I., Karshiev K. B., Tishlikov S. A Examination of the Efficiency of Algorithms for Increasing the Reliability of Information on Criteria of Harness and the Cost of Processing Electronic Documents //International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). – 2019. – Т. 28. – №. 2.
7. Жуманов И.И., Бекмуродов З.Т., Каюмова Н.М. Повышение достоверности обработки данных на основе нечеткой модели идентификации случайных временных процессов //Наука, техника и образование. – 2018. – №. 3 (44). – С. 26-29.
8. Жуманов И.И., Бекмуродов З.Т. Повышение достоверности данных нестационарных объектов на основе параметрического регулирования и обобщения свойств нечеткой логики //Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2016. – №. 3. – С. 28-38.
9. Jumanov I.I., Bekmurodov Z.T. Methods of optimizing data processing based on fuzzy correction of time series elements and variable identification models // Methods. – 2018. – Т. 6. – С. 28-2018.
10. Жуманов И.И., Кодиров Б. Идентификация параметров в системах мониторинга производственно-технологических комплексов на основе генетических механизмов регулирования // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – №. 19 (101). – С. 25-28.
11. Жуманов И.И. Методы и программно-алгоритмические комплексы обеспечения достоверности информации в структуре пакетов передачи данных на основе избыточности различной природе // Илмий ахборотнома. – с. 119.
12. Жуманов И.И., Номозов Ш.С. Идентификация изображений микрообъектов на основе моделей диффузии молекул и развития аксонов нейронных сетей //science and world. – 2013. – с. 75.
13. Tikk D., Kóczy L.T., Gedeon T.D. A survey on the universal approximation and its limits in soft computing techniques // Int. J. of Approx. Reasoning. 33(2), May 2003, p. 249–277.
14. Tikk D., Baranyi D., Gedeon T. D., Muresan L. Generalization of the rule interpolation method resulting always in acceptable conclusion // Tatra Mountains Math. Publ., 2001. p. 280.
15. Орлов Ю.Н., Федоров С.Л. Генерация нестационарных траекторий временного ряда на основе уравнения Фоккера-Планка // Труды МФТИ, 2016. Т. 8. № 2. С. 126-133.
16. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М.. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / М.: Финансы и статистика, 2001. – 228 с.
17. Steinwolf, A., Ibrahim, R.A. Numerical and experimental studies of linear systems subjected to non-Gaussian random excitations, Probabilistic Engineering Mechanics, Vol.14, No. 4, 1999, p.289-299.
18. Steinwolf A., White R.G. Piecewise-normal approximation of probability distributions of non-Gaussian random vibrations. Proceedings of International Conference on Vibration, Noise and Structural Dynamics, Venice, 1999, p. 538-545.
19. Kecman V. Eigenvector Approach for Reduced-Order Optimal Control Problems of Weakly Coupled Systems, Accepted for publication in the Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems: An International Journal for Theory and Applications, (DCDIS), 2004, p. 66-72.
20. Giacomin J.A., Steinwolf A., Staszewsky W.J., An algorithm for mildly nonstationary mission synthesis, Engineering Integrity, Vol. 7, January 2000, p. 44-56.
21. Жуманов И.И., Номозов Ш.С. Методы обработки изображений микрообъектов на основе модели ветвления аксона нейронных сетей // Научная дискуссия: вопросы технических наук. – 2016. – №. 4. – С. 33-37.