
АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ НА БАЗЕ КВАЗИГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Кумратова Альфира Менлигуловна¹, д-р экон. наук, доц.

Клинцевич Роман Иванович¹, канд. экон. наук

Ткаченко Василий Владимирович², канд. экон. наук, доц.

Труженников Николай Андреевич², студент

¹ Северо-Кавказская государственная академия, ул. Ставропольская, 36, Черкесск, Россия, 369000; e-mail: kumratova55@yandex.ru

² Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: tkachenkovasso@yandex.ru

Предмет: под квазигенетическим алгоритмом (ГА) в статье понимается алгоритм, реализующий обобщенную и адаптивную версию классического генетического алгоритма. Данный подход сохраняет ключевые механизмы и идеи ГА, но при этом допускает гибкое изменение структуры и логики работы в зависимости от специфики поставленной задачи. **Цель:** в статье представлена демонстрация информационной системы анализа и прогнозирования больших данных на базе алгоритма линейного клеточного автомата с применением языка программирования JavaScript с типизацией TypeScript и фреймворком Angular. Для математических расчетов и моделирования линейно-клеточных автоматов использованы JavaScript-библиотеки, такие как math.js для выполнения базовых математических операций, а также chart.js для создания наглядных визуализаций данных. Эти библиотеки обеспечивают необходимую точность и скорость обработки вычислений. **Дизайн исследования:** исходя из того, что клеточные автоматы являются дискретными динамическими системами, меняющими свое состояние в последовательные дискретные моменты времени по определенному закону в зависимости от того, каким было состояние рассматриваемого элемента и его соседей в предыдущий дискретный момент времени. Данные системы активно применяются для моделирования динамических процессов, происходящих в экономике, социологии, биологии, информатике и т.д. **Результаты:** отличительной особенностью представленной разработки, реализующей алгоритм линейного клеточного автомата, является построение прогноза на заданное

количество шагов на основе выявленной долговременной памяти.

Ключевые слова: информационная система, линейно-клеточный автомат, bigdata, прогнозирование, временной ряд с переменной структурой, квазигенетический алгоритм, долговременная память.

DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2025/10/21-32

Введение

Цель работы состоит в разработке и демонстрации информационной системы (ИС) для анализа и прогнозирования временных рядов на основе алгоритма работы линейно-клеточного автомата.

Прогнозирование временных рядов представляет собой одну из наиболее сложных и важных задач в области аналитики. Этот процесс направлен на предсказание будущих значений показателей, таких как продукция, сырье, цены акций, валютные курсы и другие экономические индикаторы на основе исторических данных. Главная цель прогнозирования заключается в автоматизации, анализе и визуализации сложных процессов, структура которых может меняться во времени или в зависимости от условий. Применение ИС,ключающей в себя эти возможности, может быть полезно в научных, технических, производственных или экономических областях, где стандартные системы не справляются из-за динамической природы процессов.

Основные цели и функции прогнозирования временных рядов¹:

1. Моделирование процессов с переменной структурой – поддержка процессов, у которых состав, связи или правила изменения компонентов меняются со временем, например: биологические системы, производственные линии, системы с автоматами состояний, организационные процессы.

2. Анализ и прогнозирование – использование методов анализа временных рядов, машинного обучения, линейно-клеточных автоматов (ЛКА) и фазового анализа, например: прогнозирование поведения системы при изменении параметров.

3. Гибкость и адаптивность – возможность добавлять новые параметры, изменять структуру входных данных, конфигурацию модели без переписывания системы, например: пользователь может самостоятельно настраивать систему под новые сценарии.

4. Интерактивность и визуализация – отображение модели и ее структуры в реальном времени, например: построение графиков, диаграмм, фазовых пространств, таблиц.

5. Сбор и обработка данных – импорт данных из файлов, сенсоров или БД, например: очистка, нормализация и фильтрация данных.

Практические применения:

– Наука: моделирование биологических, химических, социальных процессов.

¹ Рон Хайндман., Джордж Атанасопулос Прогнозирование: принципы и практика // пер. с англ. А. В. Логунова. М.: ДМК Пресс, 2023. 458 с.

- Производство: оптимизация технологических цепочек при изменении оборудования.
- Менеджмент: анализ бизнес-процессов в изменяющейся организационной структуре.
- Образование: исследовательские лаборатории и симуляции процессов.
- ИТ и киберфизические системы: адаптивные алгоритмы управления.

Методы и результаты исследования

В рамках данной работы используются такие методы исследования, как: анализ, стандартизация, сравнение, классификация, дифференцирование и ранжирование. В качестве теоретического базиса исследования используются научные труды российских и зарубежных ученых² в области интеллектуального анализа данных³ таких, как В.А. Перепелица, Е.В. Попова, Д.А. Тамбиева, А.В. Макшанов, Б.Г. Миркин, Е.Н. Макаренко, Н.А. Димитриади, Л.И. Ниворожкина, Д.Н. Савинская, А.И. Неженец, М.И. Попова [1–13] и др.

Для описания информационной системы на самом высоком уровне наиболее подходящим будет составление ТОР-диаграммы (контекстной), которая будет показывать главные компоненты системы и их взаимодействия. Диаграмма изображена на рисунке 1 со всеми входящими и исходящими потоками.

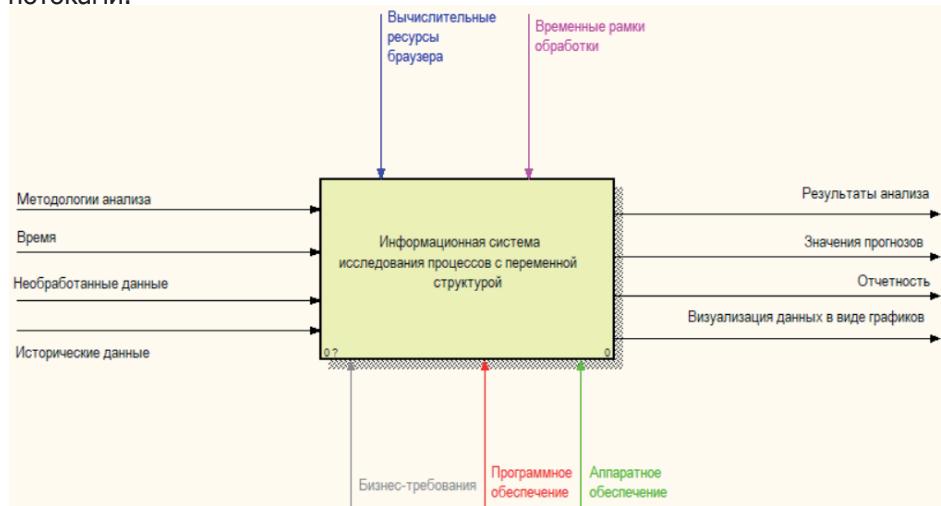


Рис. 1. ТОР-диаграмма ИС исследования процессов с переменной структурой

Одним из важнейших этапов проектирования любой информационной системы является разработка бизнес-архитектуры, позволяющей наглядно представить основные бизнес-процессы приложения, роли участников и пользователей ИС, а также потоки данных, проходящих через систему.

² Свод знаний по управлению данными. Второе издание / DamaInternational (пер. с англ. Г. Агафонова]. Москва, Олимп-Бизнес, 2020. 828 с.

³ Макшанов А.В. Технологии интеллектуального анализа данных / А.В. Макшанов. М., Лань. 2019. 212 с.

В основе разрабатываемой информационной системы лежит процесс анализа и прогнозирования больших данных, включающий в себя пять основных бизнес-процессов: сбор и подготовка данных; предоработка; анализ и моделирование; прогнозирование; визуализация результатов (рис. 2).

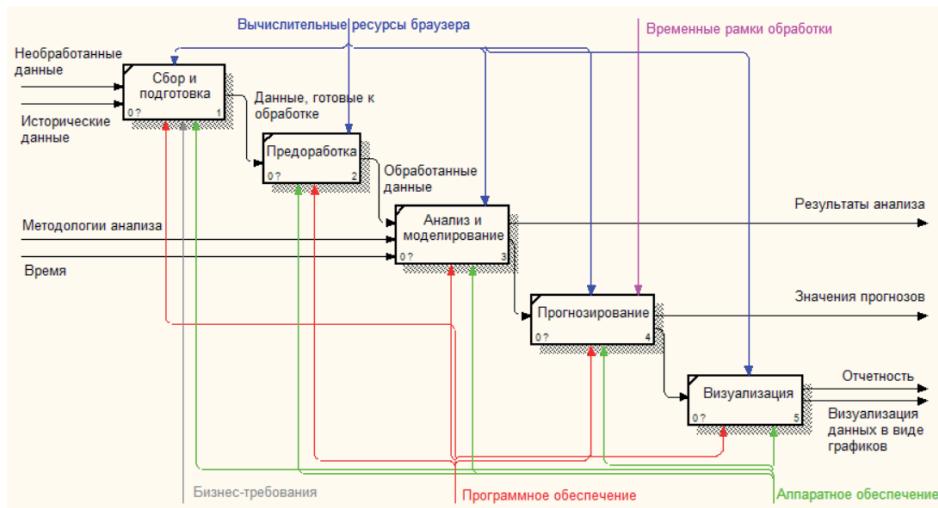


Рис. 2. IDEF0-диаграмма бизнес-процессов

Взаимодействие данных бизнес-процессов обеспечивается через информационные потоки, циркулирующие внутри системы. Исходные данные поступают из различных внешних источников, проходят через цепочку преобразований и в конечном итоге возвращаются в удобной для интерпретации форме в виде графиков и таблиц, с возможностью экспорта в CSV-формат (рис. 3).

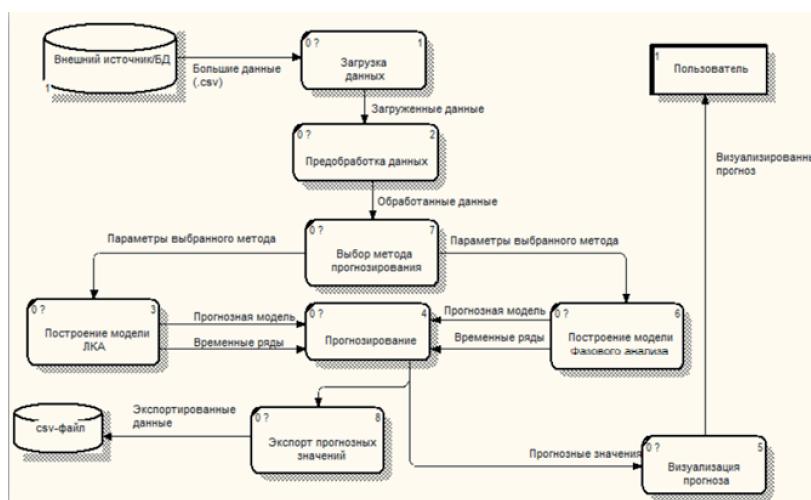


Рис. 3. Диаграмма потоков данных ИС

На следующем этапе детализируем функциональность каждого из выделенных бизнес-процессов (рис. 4). В соответствии со спроектированной IDEF0-моделью бизнес-процессов выделим 3 уровня иерархии:

Верхний уровень – ключевой бизнес-процесс.

Средний уровень – декомпозиция ключевого бизнес-процесса.

Нижний уровень – декомпозиция каждого из выделенных подпроцессов до конкретного набора последовательных операций.

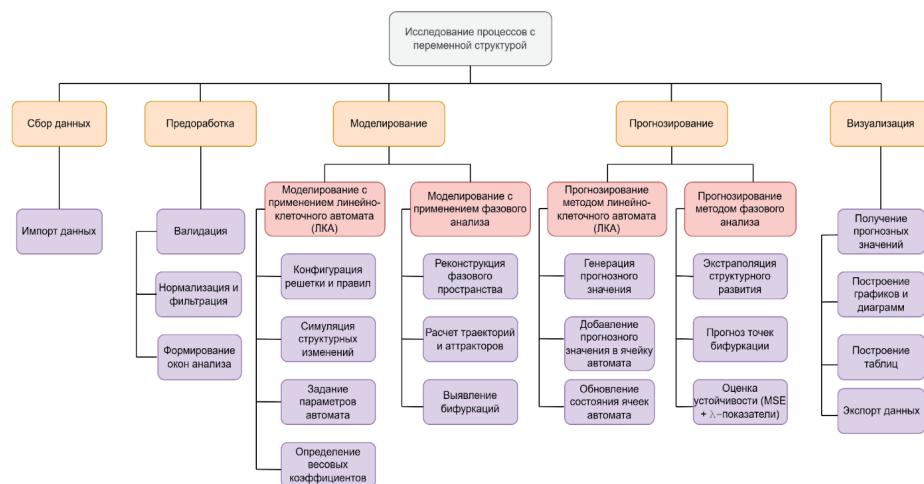


Рис. 4. Диаграмма иерархии функций

При проектировании архитектуры информационной системы важно создать модель конечного продукта, отражающую базовую логику взаимодействия пользователя с системой. Разрабатываемая система будет представлять пользователям базовый функционал работы с методами прогнозирования больших данных: импорт данных, выполнение корректных и проверяемых математических расчетов, отображение результатов прогнозирования в удобном для пользователя формате, а также экспорт прогнозных значений в файл с расширением csv.

Для наглядного определения проблемы составим функционально-структурную модель AS-IS описанного выше популярного решения для прогнозирования временных рядов. Функционально-структурная модель AS-IS представлена на рисунке 5.

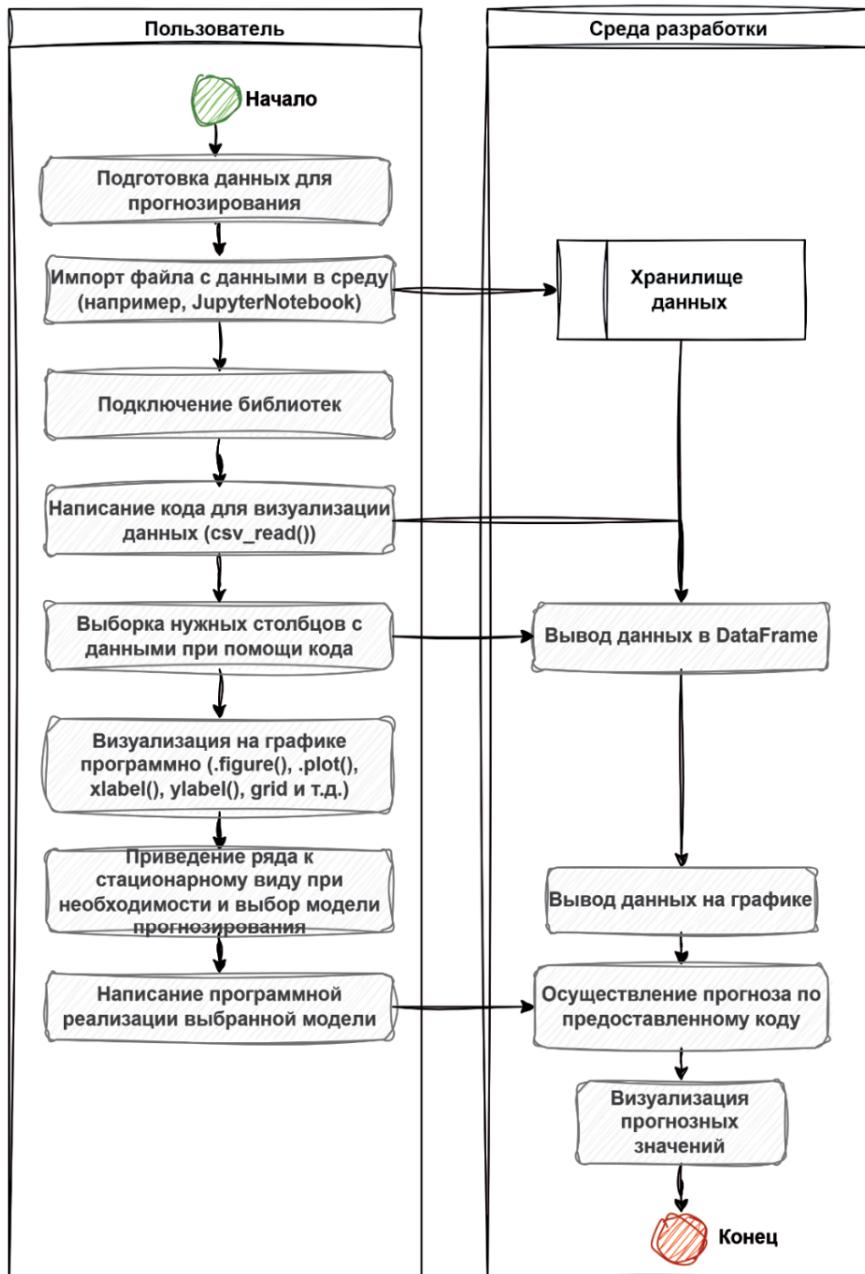


Рис. 5. Функционально-структурная модель решения прогнозирования временных рядов (AS-IS)

На схеме видно, что весь процесс прогнозирования выполняется вручную и включает следующие этапы:

1. Подготовку и импорт данных пользователем;
2. Написание кода для работы с данными, включая:

- подключение библиотек;
- выбор нужных столбцов;
- визуализацию графиков;
- реализацию алгоритма прогнозирования;

3. Построение модели и проведение прогноза осуществляется через программный код;

4. Визуализация результатов также требует ручной настройки параметров построения графика.

Основные недостатки функционально-структурной AS-IS модели:

1. Зависимость от навыков программирования

Пользователь должен обладать как минимум базовыми знаниями Python и библиотек обработки данных. Без этого реализация невозможна.

2. Низкая степень автоматизации

Каждый этап требует ручного ввода кода – от импорта данных до построения модели и графиков.

3. Отсутствие удобного графического интерфейса (GUI)

Процесс лишён визуальной среды, понятной для пользователей без технической подготовки (например, студентов не ИТ-направлений или исследователей-практиков).

4. Отсутствие поддержки процессов с переменной структурой.

Представляет практический интерес построить прогнозную модель на базе алгоритма работы линейного клеточного автомата. Линейно-клеточный автомат (ЛКА) — это дискретная математическая модель, предназначенная для описания и прогнозирования сложных динамических процессов. В контексте временных рядов ЛКА используется для генерации будущих значений на основе текущих и предыдущих конфигураций ряда с применением логических или лингвистических правил. Основу модели составляет цепочка ячеек (клеток), каждая из которых обновляет своё состояние на основе состояния соседей согласно фиксированному правилу перехода.

Принцип действия: каждая ячейка автомата может принимать одно из конечного числа состояний, например, Н (низкий уровень), С (средний уровень), В (высокий уровень), отражающих лингвистические значения исходного числового временного ряда [1, 5, 9–11].

Формально состояние ячейки c_i^t на шаге t зависит от её собственного состояния и состояний соседей на предыдущем шаге:

$$c_i^{t+1} = f(c_{i-1}^t, c_i^t, c_{i+1}^t), \quad (1)$$

где: f – правило перехода; $c_i^t \in \{Н, С, В\}$ – состояние ячейки i на момент времени t ; – ширина локального окна $r = 1$ – правило использует только ближайших соседей.

Пример правила перехода:

$$f(H, C, B) \rightarrow H, f(H, C, B) \rightarrow C, f(B, C, H) \rightarrow B, \quad (2)$$

Такого вида таблица переходов (словарь правил) строится либо на основе экспертных знаний, либо автоматически — через обучение по историческим данным.

Моделирование с ЛКА включает в себя следующие этапы:

1. Нормализация временного ряда: приведение значений к $[0, 1]$ или другой шкале;
2. Квантизация: разбиение нормализованных значений на интервалы, соответствующие лингвистическим переменным;
3. Преобразование в конфигурации клеточного автомата;
4. Построение или настройка правил перехода;
5. Прогнозирование: применение правил перехода для генерации будущих состояний;
6. Обратное преобразование: преобразование лингвистических значений обратно в числовые.

Преимуществами линейно-клеточного автомата (ЛКА) можно выделить следующие аспекты:

1. Высокая интерпретируемость (прозрачность правил);
2. Простота реализации;
3. Устойчивость к шуму за счёт дискретизации;
4. Подходит для слабоструктурированных и нестационарных данных.

Соответственно, недостатки:

1. Потеря точности при чрезмерной дискретизации;
2. Требует калибровки правил перехода;
3. Не учитывает глобальные зависимости, если не используется расширенное окно соседей.

Таким образом, можно сделать вывод, что процесс прогнозирования временных рядов по представленному решению требует базисных знаний программирования, а при использовании более сложных алгоритмов прогнозирования — более глубоких. Отсутствие удобного пользовательского интерфейса накладывает дополнительные неудобства при осуществлении прогнозирования временных рядов пользователями.

На рисунке 6 представлен пример временного ряда цен на медь за период с 01.11.2018 г. по 01.11.2023 г. на товарном рынке России⁴.

График прогноза выбирается пользователем информационной системы, для исследуемого процесса указан на 10 шагов вперед.

⁴ Доступно: www.finam.ru.



Рис. 6. Пример графика прогноза данных на 10 шагов

При прокрутке ниже во встроенной таблице (как и для первоначальных данных в предпросмотре) отображены результаты прогноза с дополнительным третьим столбцом прогнозных значений. При необходимости результаты можно скачать на свое устройство (рис. 7).

Результаты прогноза

Период	Фактическое значение	Прогнозное значение
01.05.2024		8852.782034612734
01.06.2024		9611.784031033085
01.07.2024		10379.277127949348
01.08.2024		9654.1443636448
01.09.2024		10202.903856484481

[Скачать результаты](#)

Рис. 7. Результаты прогноза

Заключение

Разработанная система представляет собой удобный пользовательский интерфейс и набор методов и моделей прогнозирования временных рядов, с помощью которых пользователь может узнать прогнозные значения рядов на заданное количество шагов.

В перспективе данную информационную систему можно расширять за счет добавления новых методов и моделей прогнозирования.

Рассмотренная информационная система, алгоритмы и технологии могут быть применены органами государственного управления различного уровня, специалистами территориальных органов муниципальных образований, руководителями холдингов и страховых компаний для регулирования сложных процессов и принятия решений в нечетких условиях.

Список источников

1. Голубев С.С. Экономика цифровизации промышленных предприятий / С.С. Голубев, А.Е. Цивилева. Москва, Ай Пи Ар Медиа, 2024. 216 с.
2. Жирабок А.Н. Нечеткие множества и их использование для принятия решений // Соровский образовательный журнал. 2001, т. 7, по. 2, с. 109-115.
3. Искусственный интеллект: от фундаментальных проблем к прикладным задачам: в 2 томах / Е.Н. Макаренко, Н.А. Димитриади, Л.И. Новорожкина [и др.]. Ростов-на-Дону, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), 2025. 394 с.
4. Ковалева К.А. Применение методов нелинейной динамики к оценке рисков деятельности страховых компаний / К.А. Ковалева, Н.В. Ефанова // Современная экономика: проблемы и решения, 2019, но. 12 (120), с. 31-39.
5. Моделирование структуры и свойств аэрогелей с использованием клеточно-автоматного подхода / А.С. Шамаев, И.В. Лебедев, А.Ю. Тыртышников, Н.В. Меньшичина // Успехи в химии и химической технологии, 2019, т. 33, по. 11 (221), с. 98-100.
6. Модифицированная система моделей и методов прогнозирования временных рядов с памятью / А.М. Кумратова, Д.Н. Савинская, А.И. Неженец, М.И. Попова // Современная экономика: проблемы и решения, 2015, по. 1 (61), с. 8-19.
7. Орлянская Н.П. Применение методов системного исследования экономических процессов к обследованию деятельности аналитического отдела Федеральной налоговой службы Российской Федерации // Итоги научно-исследовательской работы за 2017 год: сборник статей по материалам 73-й научно-практической конференции преподавателей, Краснодар, 14 марта 2018 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018, с. 407-408.
8. Перепелица В.А. О проблеме нечеткости оценки длины циклов временных рядов в случае использования фрактального анализа / В.А. Перепелица, Д.А. Тамбиева, Д.Б. Айбазов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2007, по. 6 (142), с. 18-22.
9. Предпрогнозный анализ временного ряда с выявлением тренд-сезонных компонент методом Четверикова с использованием средств MS EXCEL / Д.Н. Савинская, Л.О. Великанова, Л.К. Дунская, М.И. Попова // Современная экономика: проблемы и решения, 2020, по. 10 (130), с. 18-25.
10. Прогностическое исследование природно-экономического процесса / А.М. Кумратова, И.И. Василенко, С.Ю. Ксенз, Е.А. Ратушная // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2016, по. 116, с. 1454-1466.
11. Тамбиева Д.А. Методы нелинейной динамики в практике налогового администрирования предприятий АПК // Микроэкономика, 2010, по. 4, с. 88-93.
12. Тамбиева Д.А. К проблеме недостаточности информации. Малые выборки или «очень короткие» временные ряды / Д.А. Тамбиева, Е.В. Попова, Ш.Х. Салпагарова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2015, по. 107, с. 126-141.
13. Форсайт-образование. Университет 4.0 / Л.И. Хоружий, О.Г. Каратаева, Е.А. Яшина [и др.]. Москва,: Ай Пи Ар Медиа, 2023. 562 с.

ANALYSIS AND FORECASTING OF ECONOMIC DATA WITH A VARIABLE STRUCTURE BASED ON A QUASI-GENETICAL ALGORITHM

Kumratova Alfira Menligulovna¹, Dr. Sci. (Econ.), Assoc. Prof

Klintsevich Roman Ivanovich¹, Cand. Sci. (Econ.)

Tkachenko Vasily Vladimirovich², Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof.

Truzhennikov Nikolay Andreevich², student

¹ The North Caucasus State Academy, st. Stavropol, 36, Cherkessk, Russia, 369000; e-mail: kumratova55@yandex.ru

² Kuban State Agrarian University, Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: tkachenkovasso@yandex.ru

Importance: in this article, a quasi-genetic algorithm (GA) is defined as an algorithm that implements a generalized and adaptive version of the classical genetic algorithm. This approach retains the key mechanisms and ideas of the GA, but allows for flexible changes in the structure and logic of operation, depending on the specific task at hand. *Purpose:* this article demonstrates an information system for analyzing and predicting large data sets based on a linear cellular automaton algorithm using the JavaScript programming language with TypeScript typing and the Angular framework. JavaScript libraries such as math.js for performing basic mathematical operations and chart.js for creating visualizations of data are used for mathematical calculations and modeling of linear cellular automata. These libraries provide the necessary accuracy and speed for processing calculations. *Research design:* based on the fact that cellular automata are discrete dynamic systems that change their state at successive discrete moments of time according to a certain law, depending on the state of the element under consideration and its neighbors at the previous discrete moment of time. These systems are actively used for modeling dynamic processes in economics, sociology, biology, computer science, etc. *Results:* a distinctive feature of the presented development, which implements the linear cellular automaton algorithm, is the ability to make predictions for a specified number of steps based on the identified long-term memory.

Keywords: information system, linear cellular automaton, big data, forecasting, variable-structure time series, quasi-genetic algorithm, long-term memory.

References

1. Golubev S.S. *Ekonomika cifrovizacii promyshlennyh predpriyatiij* [Economics of Digitalization of Industrial Enterprises] / S.S. Golubev, A.E. Civileva. Moskva, Aj Pi Ar Media, 2024., 216 p. (In Russ.)
2. Zhirabok A.N. *Nechetkie mnozhestva i ikh ispol'zovanie dlya prinyatiya reshenij. Sorovskij obrazovatel'nyj zhurnal* [Sorov

- Educational Journal], 2001, T. 7, no. 2, pp. 109-115. (In Russ.)
3. *Iskusstvennyj intellekt: ot fundamental'nyh problem k prikladnym zadacham:* v 2 tomah [Artificial Intelligence: From Fundamental Problems to Applied Tasks: in 2 volumes] / E.N. Makarenko, N.A. Dimitriadi, L.I. Nivorozhkina [i dr.]. Rostov-na-Donu, Rostovskij gosudarstvennyj ekonomiceskij universitet (RINH), 2025. 394 p. (In Russ.)
4. Kovaleva K.A. Primenenie metodov nelinejnoj dinamiki k ocenke riskov deyatel'nosti strahovyh kompanij / K.A. Kovaleva, N.V. Efanova. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya* [Modern Economy: Problems and Solutions]. 2019, no. 12(120), pp. 31-39. (In Russ.)
5. Modelirovanie struktury i svojstv aerogelej s ispol'zovaniem kletochno-avtomatnogo podhoda / A.S. SHamaev, I.V. Lebedev, A.Yu. Tyrtyshnikov, N.V. Men'shutina. *Uspekhi v himii i himicheskoj tekhnologii* [Advances in Chemistry and Chemical Technology]. 2019, T. 33, no. 11(221), pp. 98-100. (In Russ.)
6. Modificirovannaya sistema modelej i metodov prognozirovaniya vremennyh ryadov s pamyat'yu / A.M. Kumratova, D.N. Savinskaya, A.I. Nezhene, M.I. Popova. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya* [Modern Economy: Problems and Solutions], 2015, no. 1(61), pp. 8-19.
7. Orlyanskaya N.P. Primenenie metodov sistemnogo issledovaniya ekonomiceskikh processov k obsledovaniyu deyatel'nosti analiticheskogo otdela Federal'noj nalogovoj sluzhby Rossijskoj Federacii. *Itogi nauchno-issledovatel'skoj raboty za 2017 god: sbornik statej po materialam 73-j nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej* [Results of scientific research work for 2017: a collection of articles based on the materials of the 73rd scientific and practical conference of teachers], Krasnodar, 14 marta 2018 goda. Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina, 2018, pp. 407-408. (In Russ.)
8. Perepelica V.A. O probleme nechetkosti ocenki dliny ciklov vremennyh ryadov v sluchae ispol'zovaniya fraktal'nogo analiza / V.A. Perepelica, D.A. Tambieva, D.B. Ajbazov. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki* [News of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Natural sciences], 2007, no. 6(142), pp. 18-22. (In Russ.)
9. Predprognoznyj analiz vremennogo ryada s vyyavleniem trend-sezonnyh komponent metodom CHetverikova s ispol'zovaniem sredstv MS EXCEL / D.N. Savinskaya, L.O. Velikanova, L.K. Dunskaya, M.I. Popova. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya* [Modern Economy: Problems and Solutions]. 2020, no. 10(130), pp. 18-25. (In Russ.)
10. Prognosticheskoe issledovanie prirodno-ekonomiceskogo processa / A.M. Kumratova, I.I. Vasilenko, S.Yu. Ksenz, E.A. Ratushnaya. *Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2016, no. 116, pp. 1454-1466. (In Russ.)
11. Tambieva D.A. Metody nelinejnoj dinamiki v praktike nalogovogo administrirovaniya predpriyatij APK. *Mikroekonomika* [Microeconomics], 2010, no. 4, pp. 88-93. (In Russ.)
12. Tambieva D.A. K probleme nedostatochnosti informacii. Malye vyborki ili "ochen' korotkie" vremennye ryady / D.A. Tambieva, E.V. Popova, Sh.H. Salpagarova. *Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]. 2015, no. 107, pp. 126-141. (In Russ.)
13. *Forsajt-obrazovanie. Universitet 4.0* [Foresight education. University 4.0] / L.I. Horuzhij, O.G. Karataeva, E.A. Yashina [i dr.]. Moskva, Aj Pi Ar Media, 2023. 562 p. (In Russ.)