

УДК 330-45

UDC 330-45

05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)

Mathematical modeling, numerical methods and software complexes

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

THE USE OF LINEAR CELLULAR AUTOMATON AS A FORECASTING TOOL FOR STOCHASTIC SYSTEMS AFFECTED BY VARIOUS FACTORS

Кумратова Альфира Менлигуловна
к.э.н., доцент
SPIN-код: 2144-8802

Kumratova Alfira Menligulovna
Cand.Econ.Sci., assistant professor
RSCI SPIN-code: 2144-8802

Дунская Лада Константиновна
студент
SPIN-код: 4579-4534

Dunskaya Lada Konstantinovna
student
RSCI SPIN-code: 4579-4534

Ямщикова Владимир Николаевич
магистрант

Yamshchikov Vladimir Nikolaevich
undergraduate

Михлев Алексей Игоревич
магистрант
ФГБОУ ВО “Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина”, г. Краснодар, Россия

Mikhlev Alexey Igorevich
undergraduate
Federal state budget institution of higher professional education “Kuban state agrarian University”, Krasnodar, Russia

В процессе формирования нелинейной динамики, научное общество смогло опровергнуть классические механизмы Ньютона-Лапласа путем обоснования хаотической природы явлений окружающего мира. Однако несмотря на появление новых математических моделей и инструментов, прогнозирование нелинейных систем является труднорешаемой задачей, так как не только неизвестны количественные и качественные характеристики факторов, влияющих на систему, но и существует проблема малого количества информации для составления прогнозов. В данной статье авторами рассмотрен линейный клеточный аппарат в качестве инструмента прогнозирования конечного состояния, к которому придет система основываясь только на ее выходных показателях прошлых лет. Так как использование линейного клеточного автомата для прогнозирования нелинейных систем является предположением авторов, его следует проверить на рядах стохастических систем, подверженным разным факторам риска, которые в совокупности дают либо положительный отклик системы, либо отрицательный. Примером может служить временной ряд урожайности, так как на него действуют климатические условия, появление которых, в свою очередь, так же сложно спрогнозировать. Прогнозирование

In the process of formation of nonlinear dynamics, the scientific society was able to refute the classical mechanisms of Newton-Laplace by justifying the chaotic nature of the phenomena of the world. However, despite the emergence of new mathematical models and tools, forecasting of nonlinear systems is a difficult task, as not only the quantitative and qualitative characteristics of the factors affecting the system are unknown, but also there is a problem of a small amount of information for forecasting. In this article, the authors consider the linear cellular apparatus as a tool for prediction the final state, to which the system will come based only on its output indicators of previous years. Since the use of a linear cellular automaton for prediction of nonlinear systems is an assumption of the authors, it should be tested on the series of stochastic systems exposed to different risk factors, which together give either a positive response of the system or a negative one. An example of such series is the time series of yields, as it is affected by climatic conditions, the appearance of which, in turn, is also difficult to predict. Prediction of stochastic systems using linear cellular automaton really makes it possible to get adequate and visual models. Due to the fact that the forecast model has a discrepancy with the real result of 0-15% (both positive and negative), the conclusion is that the predicted value will help either to take measures to ensure that the real value in the

стохастических систем используя линейный клеточный автомат действительно составляет адекватные и наглядные модели. А за счет того, что прогнозная модель имеет расхождение с реальным результатом в 0-15% (как в положительную, так и в отрицательную сторону), напрашивается вывод, что спрогнозированное значение поможет либо принять меры для того, чтобы реальное значение в будущем не стало ниже, либо удостовериться в правильности принятых решений и мер, при получении значения выше прогнозного

Ключевые слова: ЛИНЕЙНЫЙ КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ, ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ, НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА, УРОЖАЙНОСТЬ, ПРОГНОЗ, ПРЕДПРОГНОЗНЫЙ АНАЛИЗ

future is not lower, or to make sure that the decisions and measures taken are correct, when a value is higher than the forecast

Keywords: LINEAR CELLULAR AUTOMAT, TIME SERIES, NONLINEAR DYNAMICS, YIELD, FORECAST, PRE-FORECAST ANALYSIS

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-153-010>

Нелинейная динамика – область математики, появившаяся сравнительно недавно, поэтому ее определяют как современную область. С помощью своих методов и моделей она описывает системы, подверженные разным факторам так, что результаты, которые такие системы показывают, имеют большие разрывы между собой. Часто говорится о хаотической природе таких систем за счет очевидной проблемы их прогнозирования [3,4,5].

Выделим некоторые этапы, предвосхитившие появление нелинейной динамики:

1) описание А. Пуанкаре бифуркационной теории, вычисления которой были положены в основание второго этапа;

2) разработка теории катастроф в 1972 г. и 1977 г. Р.Томом и Е. Зиманом соответственно. Последний применял данную теорию в решении задачи в экономике (задача о крахе спекулятивных «пузырей» на рынке акций). Однако, не смотря на способность качественно проанализировать структуру разрывов в экономических системах, она подверглась критике за неимением моделей для их предсказания;

3) появление теории хаоса (Э. Лоренц в 1963 г., С. Смейл в 1967 г.)

4) появление фрактальной геометрии Б. Мандельборта в 1977 г. (этапы под номерами 3 и 4 используют понятия аттрактора (некоего набора значений,

представляемым на рисунках как овальная фигура, наполненная точками, на краях которого находятся наименее вероятные, но все-таки возможные значения нелинейной системы));

5) В 1977 г. И. Пригожин (нобелевский лауреат) предложил рассматривать теорию хаоса и фрактальную геометрию диалектически противоположными друг другу, поясняя это тем, что при синтезе обеих, возможно приведение системы к порядку. Он объяснял это тем, что теории определяют два вида разрывов (большие и малые), причем последние, находясь вблизи крупномасштабных точек бифуркации (разрывов; область, где система принимает другое значение под воздействием набора действующих на нее факторов [2]).

Можно сказать, что основной целью науки является обоснование происходящих явлений, их классификация, проработка уравнений, методов, теорий, моделей и т.д. для того чтобы классифицировать и, по возможности, точно спрогнозировать поведение систем для дальнейшего использования разработанных инструментов в реальной жизни.

После описанных выше этапов, с появлением понятий о разрывах, бифуркации, теории хаоса, ученые максимально близко подошли к возможности обоснования недетерминированности процессов и явлений, происходящих в мире. Особенно отмечается, что простые системы, уже описанные несложными уравнениями, при изменении или добавлении факторов действия, могут иметь хаотический характер, а с предпосылок Т.-У. Ли и Дж. Йорка в 1975 году природные явления начали называть хаосом.

Однако, возвращаясь к вопросу о прогнозировании поведения стохастических систем, можно столкнуться с тем, что некоторые инструменты не имеют методов прогнозирования. В вопросе выбора инструментальных средств для этой задачи необходимо также четко понимать, какие характеристики имеет исследуемая система. Так как на системы действуют различные факторы, то линейными называют системы, которые выдают

удвоенный отклик (имеют удвоенный прирост своего значения) при удвоении воздействия данных факторов на них, остальные системы характеризуют как нелинейные [1]. Из этого следует, что для линейных систем прогнозирование их поведения не составляет труда, а также не нужен большой объем данных для проведения анализа и расчетов, в то время как прогноз получения результата для нелинейных систем с помощью наблюдений построить достаточно сложно, так как система имеет большой диапазон значений, к которым она может прийти независимо от количества и степени воздействия факторов на нее, а малый объем данных уменьшает вероятность получения точного прогноза.

Для построения прогноза необходимо найти закономерности в поведении системы. Для этого нужно знать не только выходные данные, но также факторы и степень их взаимодействия на систему, а так как в большинстве случаев наблюдение за такими факторами не ведется или выявить их невозможно, требуется найти инструмент прогнозирования, опирающийся только на значения системы. Авторами предложено спрогнозировать поведение нелинейных систем с помощью линейного клеточного автомата.

Линейный клеточный автомат – инструмент, наиболее подробно рассматривающий состояние системы на любых возможных отрезках ее значений, что означает наиболее полный поиск закономерностей в поведении системы, а затем нахождение вероятности переходов в конкретные состояния для выявленных закономерностей. Состояние системы в данном случае – лингвистический показатель каждого элемента временного ряда, называемый термом [7]. Принято использовать три вида термов: В – верхний, состояние системы, при котором она дает высокое значение несмотря на воздействие негативных факторов на нее; Н – нижний, значение, показывающее, что система была наиболее подвержена негативным факторам; С – средний, значение системы не является ни низким, ни высоким. Набор переведенных значений системы в термы называют лингвистическим временным рядом (ЛВР). Для того, чтобы упростить этот перевод, необходимо построить коридор, с

помощью верхней ломаной линии (ВОЛ) и нижней ломаной линии (НОЛ) и разделить его на три равные части. Таким образом, при попадании значения гистограммы, например, в верхнюю зону коридора или пересечении ВОЛ, терм точки данного значения определяется как терм В [7].

После получения ЛВР, переходим к подсчету количества перехода из состояния (набора состояний) в каждое из значения термов, например, для состояния Н система переходит в терм В 3 раза, в С 4 раза, а в Н 18 раз. Подсчет всех переходов для каждого из существующих в ряду комбинаций отрезков на данном этапе называется 1-конфигурацией [6,7]. При завершении работы по одной конфигурации, если в ней присутствуют такие отрезки, которые имеют переходы более чем в одно состояние, переходим к подсчету следующей. Для представленного выше примера, при подсчете во 2-конфигурации будут просчитываться переходы в три состояния отрезка НВ (в соответствии с рисунком 1). Целью данной работы является нахождение отрезка или отрезков, которые имеют лишь один переход в одно из состояний или не имеют таковых (n-конфигурация). Это говорит о том, что на данной глубине памяти (l) и далее соответствий больше нет, причем $l=n$.

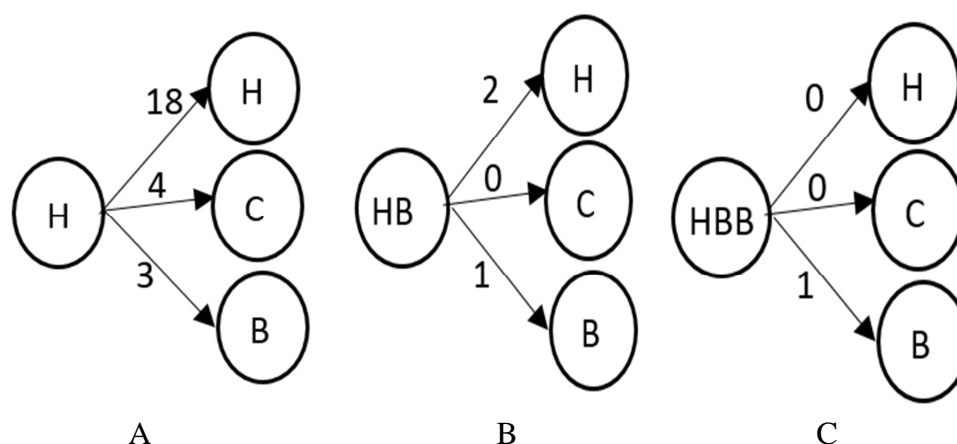


Рисунок 1 – Пример расчета переходов: А – переход в состояния для отрезка Н (1-конфигурация); В – переход в состояния для отрезка НВ (2-конфигурация); С – переход в состояния для отрезка НВВ (3-конфигурация)

Следующий этап – составление прогноза. Для этого из исходного ЛВР выписываются все отрезки длиной l (со всего временного ряда, а не только из 1-конфигурации) и рассчитывается сумма всех переходов в состояния Н, В и С (назовем сумму переходов u_t^n , где n – показатель конфигурации, на которой завершается поиск закономерностей и в которой находится данный отрезок, а t – показатель состояния для которого учитывается количество переходов (Н, С и В)) для каждой части данного отрезка. Таким образом формула принимает вид $\sum_{i=1}^n u_t^i$. Количество переходов берется из просчитанных n -конфигураций для соответствующей части. С помощью полученных сумм просчитывается наиболее вероятный переход конкретного отрезка в состояние Н, С или В. В зависимости от того, чья вероятность является наибольшей, то значение будет прогнозным.

Этапы валидации и верификации предназначены для сравнения исходного ЛВР со спрогнозированным. Количество значений прогнозного ЛВР, которые не сошлись с соответствующими значениями исходного ЛВР, делятся на общее количество точек ВР и умножаются на 100% [3]. Таким образом полученное процентное значение показывает степень адекватности (процент валидации) прогнозной модели. Если это значение больше либо равно 20, модель является неадекватной и следует вернуться на первый этап выбора точек для ВОЛ и НОЛ. В противном случае, если модель подтвердила свою адекватность, просчитывается числовое прогнозное значение [7].

Так как использование ЛКА для прогнозирования нелинейных систем является предположением авторов, его следует проверить на рядах стохастических систем, подверженным разным факторам риска, которые в совокупности дают либо положительный отклик системы, либо отрицательный. Примером может служить ВР по урожайности, так как на ВР действуют климатические условия, появление которых, в свою очередь, так же сложно спрогнозировать.

Авторы предлагают составить прогноз для временных рядов (ВР) урожайности озимой пшеницы по России (данные с 1913 по 2018 гг.) и временной ряд показателей валового сбора страны (значения с 1913 по 2014 гг.). Для краткости ВР названы «Урожайность» и «Сбор» соответственно. Гистограммы ВР изображены на рисунке 2.

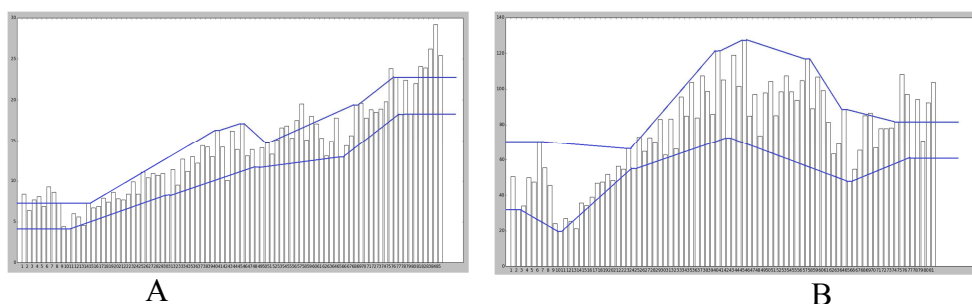


Рисунок 2 – Временные ряды урожайности озимой пшеницы: А – урожайность по России, В – валовый сбор России

Представленные ВР выбраны не случайно – как урожайность по России, так и валовый сбор зависят от показателей урожайности регионов страны, которые, в свою очередь подвержены разной степени и видам природных рисков. К тому же урожайность в целом является составляющей валового сбора, так как первая - показатель сбора с одного гектара земли, а вторая - получение урожая со всей площади посевов. Подобную зависимость можно заметить, наложив оба графика друг на друга. Наложение гистограмм представлено на рисунке 3, где темная гистограмма – урожайность страны, а белый – валовый сбор.

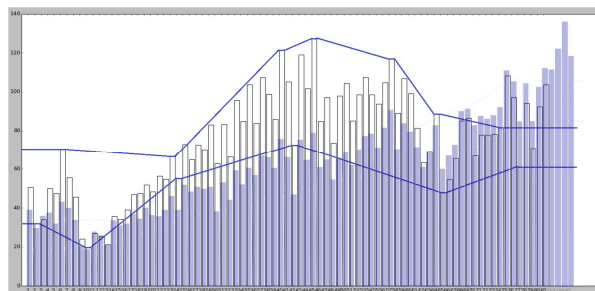


Рисунок 3 – Результат наложения гистограмм по значениям двух временных рядов: белые столбцы – валовый сбор урожайности озимой пшеницы России («Сбор»), синий цвет – урожайность озимой пшеницы России («Урожайность»)

С учетом различных измерений (ц/га для ВР «Урожайность» и тонны для ВР «Сбор»), явно присутствуют соответствующие тенденции в скачках значений – явный рост в первой половине гистограммы и малый спад и последующий рост во второй. Однако, данные соответствия были найдены больше эмпирическим путем. К тому же, составление адекватного прогноза с использованием эвристических методов невозможно, так как вероятность его свершения крайне мала.

Что касается использования клеточного автомата, для первого этапа при построении коридора ВОЛ и НОЛ также свойственно выставление значений, полагаясь на субъективные предположения составляющего прогноза. Однако авторами в данной работе был использован следующий метод для отметки верхних и нижних точек при построении коридора – визуальное разбиение гистограммы на части с учетом тенденции ее поведения (график растет, убывает или, не смотря на скачки, держится на одном уровне), затем для каждой части выбираются 2-3 верхних и нижних значений. Это сделано для избежания ошибок в составлении прогноза с помощью ЛКА, так как при выставлении слишком большого или слишком малого числа точек для ВОЛ и НОЛ существует риск уменьшения степени адекватности прогноза или увеличивается размер последней конфигурации, вследствие чего прогноз охватывает меньший диапазон значений.

Результаты по основным параметрам (ошибка прогноза, глубина памяти и прогнозное значение) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Прогнозные характеристики применения линейного клеточного автомата в исследовании временных рядов урожайности озимой пшеницы России («Урожайность») и валового сбора озимой пшеницы России («Сбор»)

	Ошибка прогноза, %	глубина памяти, <i>l</i>	Числовое прогнозное значение,	Лингвистическое прогнозное значение (терм)
«Урожайность»	10,59%	8	18,774 (ц/га)	В
«Сбор»	13,58%	10	77,775 (т)	С

Прогнозы представлены на 2019 год для ВР «Урожайность» и на 2015 г. для ряда «Сбор». Этот прогноз на 2015 г. ожидаем, так как значение ВР «Урожайность» за этот год (22,7 ц/га (ожидается терм В)) имеет незначительный спад в сравнении с 2014 г. (23 ц/га, ожидается терм В), однако, учитывая, что урожайность – составляющая общего валового сбора, то данный спад имеет большое воздействие на его значения. Таким образом, прогнозирование стохастических систем используя линейный клеточный автомат действительно составляет адекватные и наглядные модели. А за счет того, что прогнозная модель имеет расхождение с реальным результатом в 0-15% (как в положительную, так и в отрицательную сторону), напрашивается вывод, что спрогнозированное значение поможет либо принять меры для того, чтобы реальное значение в будущем не стало ниже, либо удостовериться в правильности принятых решений и мер, при получении значения выше прогнозного.

Литература:

1. Кричевский М.Л. Интеллектуальные методы в менеджменте / М.Л. Кричевский. – СПб.: Питер, 2005. – 305 с.
2. Бифрукации в природе и обществе: естественнонаучный и социосинергетический аспект [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=26640>
3. Кумратова А.М. Комплексная методика анализа экономических временных рядов методами нелинейной динамики / А.М. Кумратова, Е.В. Попова, Д.Н. Савинская, Н.С. Курносова // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. – № 8 (68). – С. 35-43.

4. Соловьев В.И. Современные подходы к учету случайности, неопределенности и риска при анализе макроэкономических процессов / В.И. Соловьев // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2001. – № 1 (2). – С. 228-242.

5. Орлянская Н.П. Совершенствование функционирования подразделений механизации предприятий АПК на основе разработки комплекса и моделей и использования экономико-математических методов и инструментальных средств / Н.П. Орлянская, Ю.С. Иващук, Л.В. Медведская // Труды КубГАУ. 2018. – № 75. – С. 19-24.

6. 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 КубГАУ. 2015. – № 107. – С. 126-141.

7. Янгишиева А.М. Моделирование экономических рисков методами нелинейной динамики (на материалах Карачаево-Черкесской Республики). Автореферат дис. ... кандидата экон. наук / СГУ. Ставрополь, 2005. – 24 с.

References

1. Krichevskij M.L. Intellektual'nye metody v menedzhmente / M.L. Krichevskij. – SPb.: Piter, 2005. – 305 s.

2. Bifrukacii v prirode i obshhestve: estestvennonauchnyj i sociosinergeticheskij aspekt [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=26640>

3. Kumratova A.M. Kompleksnaja metodika analiza jekonomicheskikh vremennyh rjadov metodami nelinejnoj dinamiki / A.M. Kumratova, E.V. Popova, D.N. Savinskaja, N.S. Kurnosova // Sovremennaja jekonomika: problemy i reshenija. 2015. – № 8 (68). – S. 35-43.

4. Solov'ev V.I. Sovremennye podhody k uchetu sluchajnosti, neopredelennosti i riska pri analize makrojekonomicheskikh processov / V.I. Solov'ev // Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyj universitet upravlenija). 2001. – № 1 (2). – S. 228-242.

5. Orljanskaja N.P. Sovershenstvovanie funkcionirovanija podrazdelenij mehanizacii predpriyatij APK na osnove razrabotki kompleksa i modelej i ispol'zovanija jekonomiko-matematicheskikh metodov i instrumental'nyh sredstv / N.P. Orljanskaja, Ju.S. Ivashhuk, L.V. Medvedskaja // Trudy KubGAU. 2018. – № 75. – S. 19-24.

6. Tambieva D.A. K probleme nedostatochnosti informacii. maleye vyborki ili «ochen' korotkie» vremennye rjady / D.A. Tambieva, E.V. Popova, Sh.H. Salpagarova // Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. 2015. – № 107. – S. 126-141.

7. Jangishieva A.M. Modelirovanie jekonomicheskikh riskov metodami nelinejnoj dinamiki (na materialah Karachaevo-Cherkesskoj Respubliki). Avtoreferat dis. ... kandidata jekon. nauk / SGU. Stavropol', 2005. – 24 s.