

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПРОЛОНГИРОВАННЫМИ ПЕРИОДАМИ

Логунова О.С., Ильина Е.А.

Аннотация: Целью исследования является повышение достоверности прогноза для временного ряда в системах учета. Расширение классификации временных рядов включает введение нового класса и подклассов временных рядов, для которых отличительной особенностью является наличие пролонгированного периода, обусловленного инерционностью процесса и обнуления показателей в начале нового планового периода. Предложена методика, позволяющая выполнять прогнозирование значений временного ряда с пролонгированными периодами на момент подведения итогов. Методика построена на основе возможной пропорциональности скорости накопления данных. Опробование предложенной методики выполнено на примере мониторинга и прогнозирования индексирования публикаций в международной базе *Scopus*. Результаты применения предложенной методики показали, что при накоплении данных в ходе сплошного мониторинга происходит корректировка прогноза из-за изменения тенденции. Достоверность прогноза может быть проверена после окончания контрольного периода.

Ключевые слова: временной ряд, классификация временных рядов, период пролонгирования, планирование публикационной активности, прогнозирование значений временного ряда.

Введение

Современные информационные системы содержат программное обеспечение, позволяющее не только накапливать большие информационные объемы, но и выполнять функции прогнозирования значений плановых показателей. Большинство этих показателей изменяются во времени, образуя временные ряды. Гибкость и универсальность программного обеспечения, способного обрабатывать данные временных рядов, является одной из характеристик качества программных продуктов [1-3]. Для достижения гибкости и универсальности программного обеспечения требуется четкая классификация существующих решений и их последующая алгоритмизация.

Требования к цифровизации предприятий и организаций приводят к созданию новых моделей и методов для выполнения планирования и прогнозирования процессов и явлений. Традиционные классификации исходных данных и, в частности, временных рядов определяют, используемую методологию. Как следствие, сложился набор традиционных методов, методик алгоритмов для обработки временных рядов.

При появлении новых задач, которые формируют новые данные для новых условий, требуется обоснованное расширение или уточнение классификации. В работе авторами выявлен новый вид временного ряда с пролонгированными периодами накопления данных, что и привело к решению проблемы по уточнению классификации временных рядов.

1. Типовые задачи временных рядов и прогнозирование значений временного ряда

Разнообразная природа данных, образующих временные ряды, привела к появлению типовых алгоритмов прогнозирования их значений в краткосрочные и долгосрочные периоды. Среди типовых признаков классификации следует отметить: количество факторов; интервальность времени; представление уровней временного ряда; способ формирования уровней ряда; расстояние между датами; наличие тенденции [4].

Подавляющее количество задач, связанных с моделированием временных рядов может быть отнесено к одному из уровней каждого класса. Несколько примеров соответствия данных процесса или явлений к типу временного ряда приведены в таблице.

Для типовых временных рядов разработано множество методов для их моделирования и прогнозирования значений в будущих периодах времени [13-15]. Однако, в настоящее время появились задачи планирования и прогнозирования поведения процессов, которые характеризуются временными рядами, отличающимися от типовых и требующих разработки уточненных или модифицированных методов работы с ними.

Примеры соответствия данных процесса или явления к типу временного ряда

№	Процесс или явление	Тип временного ряда
1	Мониторинг расхода водного охладителя при непрерывной разливке стали [5,6]	Одномерный, детерминированный, интервальный, стационарный временной ряд с абсолютными равностоящими значениями
2	Мониторинг метеорологических данных [7,8]	Многомерный, случайный, моментальный, нестационарный временной ряд равностоящих средних значений
3	Мониторинг курса валют и ценных бумаг [9, 10]	Одномерный, моментальный, случайный нестационарный временной ряд абсолютных равностоящих значений
4	Мониторинг потребления электрической энергии в населенных пунктах [11, 12]	Одномерный, детерминированный, стационарный, моментальный временной ряд с абсолютными равномерными значениями

2. Задача прогнозирования значений временных рядов с накоплением значений и периодами пролонгирования

В последние десятилетия появились задачи планирования и прогнозирования публикационной активности научно-педагогических работников в международных и национальных системах учета. Актуальной проблемой является прогнозирование публикационной активности в системах РИНЦ, *Scopus* и *Web of Science*. Прогнозирование публикационной активности становится актуальным вызовом при планировании работ по научным работам, которые планируются при финансовой государственной поддержке [15]. Формирование исходных данных производится как за сплошной период данных, так на отдельных временных периодах: за один год, за три года и т.п. Особенностью накопления данных за отдельные временные периоды является наличие временного лага и необходимость разграничения значений текущего периода и предыдущего.

Постановка задачи для исследования имеет вид: требуется определить прогнозное значение количества публикаций, проиндексированных в одной из систем учета публикационной активности, на окончание отчетного периода с допуском на пролонгированный период доиндексации с учетом динамики наполнения системы в предыдущие периоды [15].

Особенностями задачи с точки зрения временных рядов является:

- наличие плановых периодов формирования временного ряда, которые являются равномерными и, как правило, составляют один календарный год;
- наличие пролонгированного периода для каждого планового интервала, учитывая инерционность процесса индексирования публикаций в учетных системах [4];
- наличие неравномерных периодов пролонгирования;
- накопленные значения временного ряда являются моментальными;
- наличие возрастающей по линейному закону тенденции со случайными выбросами внутри одного планового периода с пролонгированием;
- наличие необходимости обнуления значения показателя при переходе в новый плановый период;
- ведение двухуровневого учета в начале нового планового периода и пролонгированного периода для предыдущего планового;
- прогнозирование выполнения плановых значений показателя в текущем n -ом периоде по малому объему накопленных значений.

Схематическое изображение временного ряда задачи представлено на рис. 1.

Оценивая эту задачу с точки зрения классификации временных рядов, можно утверждать, что особенности формирования временного ряда, формы представления и наличия пролонгированных периодов требуют введение новых подклассов для схемы, приведенной на рис. 1.

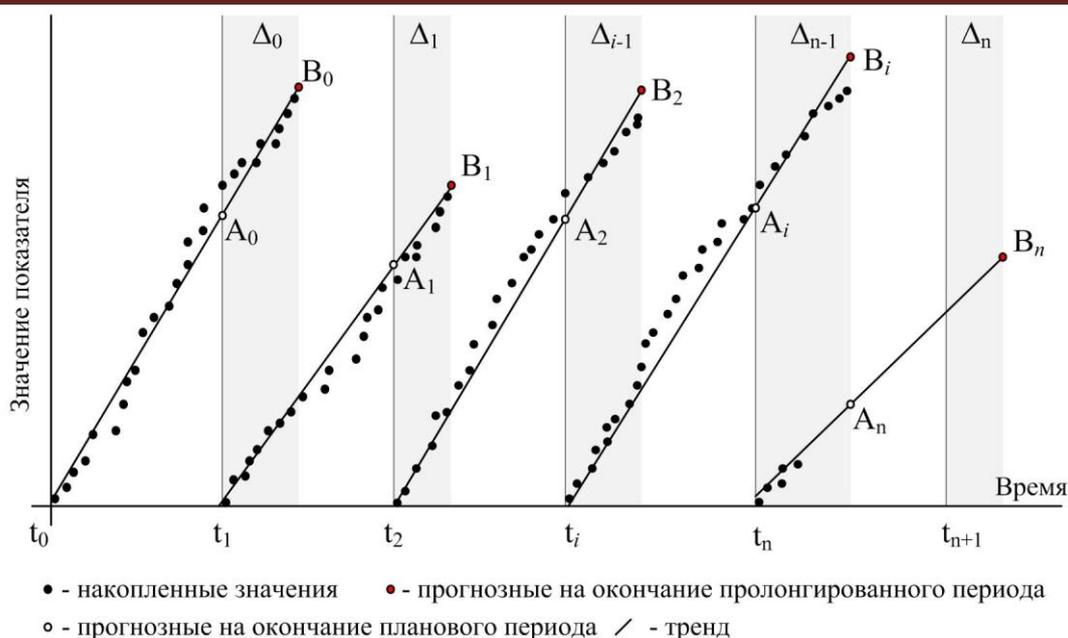


Рис. 1. Схематический временной ряд для задачи прогнозирования временного ряда с периодами пролонгирования: t_i – начало планового временного периода; Δ_i – длина пролонгированного периода для каждого планового интервала времени; A_i – прогнозное значение показателя на окончании планового периода; B_i – прогнозное значение показателя на окончании пролонгированного периода.

3. Методика прогнозирования значений временных рядов с накоплением значений и периодами пролонгирования

Авторами предлагается методика прогнозирования временного ряда с периодами пролонгирования. Суть методики состоит в следующем:

- 1) производится непрерывный мониторинг данных временного ряда и формируется несколько разделенных ретроспективных выборок с учетом запаздывания;
 - 2) для каждой разделенной ретроспективной выборки выполняется построение эмпирической зависимости с учетом периода пролонгирования;
 - 3) выполняется расчет соотношения коэффициентов уравнения в ретроспективном и текущем периоде;
 - 4) полученные соотношения переносятся на изучаемые показатели;
- выполняется усреднение полученных соотношений для текущего периода.

Предложенная методика была опробована для прогнозирования количества публикаций, проиндексированных в наукометрической системе Scopus, образовательной организации.

Результаты

Согласно предлагаемой методике за период с 2017 по 2021 выполнялся мониторинг индексирования публикаций и сформированы ретроспективные выборки, фрагмент которых приведен на рис. 2.

	Дата	РИНЦ	Scopus	WoS	Прирост РИНЦ	Прирост Scopus	Прирост WoS
2							
3	01.01.19	0	2	0			
4	24.01.19	3	9	1	3	7	1
5	13.02.19	19	17	2	16	8	1
6	14.03.19	60	21	5	41	4	3
7	25.03.19	87	21	8	27	0	3
8	23.05.19	281	58	17	194	37	9
9	31.05.19	472	68	18	191	10	1
10	18.06.19	770	70	20	297	11	0

Рис. 2. Фрагмент ретроспективной выборки за 2019 год

Используя ретроспективные данные с учетом периода пролонгирования и инструментальные средства *MS Excel* построены эмпирические зависимости для каждого периода (рис. 3).

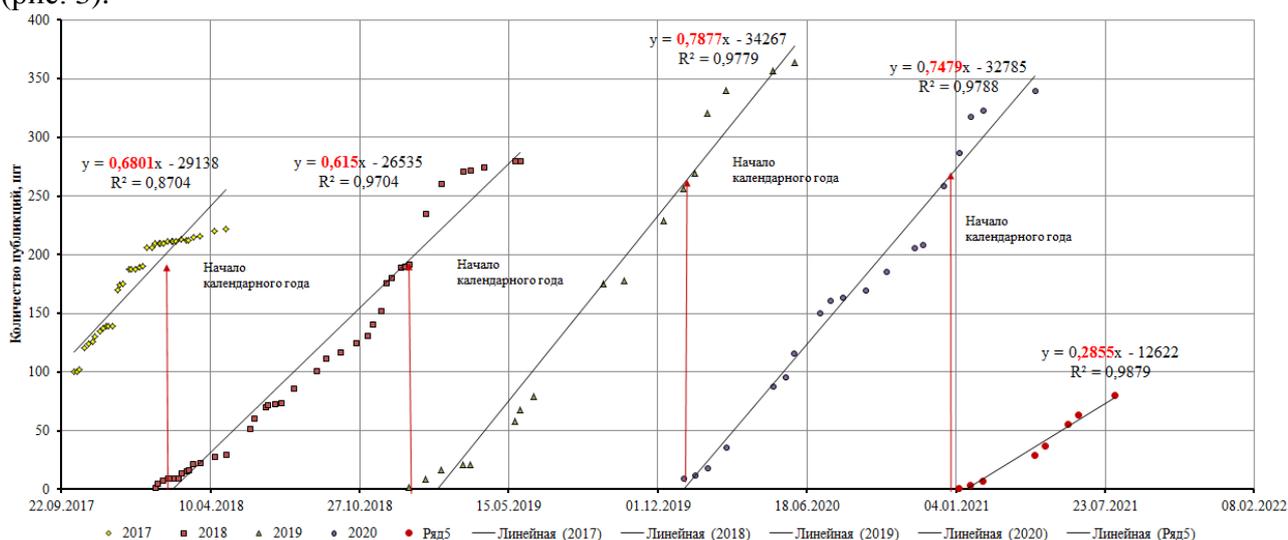


Рис. 3. Диаграмма временного ряда для ретроспективных данных

Текущим периодом в рассматриваемых условиях является 2021 год. Для период 5.08.2021 соотношения коэффициентов и максимального значения показателя в конце периода (см. рис.4).

ГОД	Коэффициент	Максимальное количество
2017	0,68	222
2018	0,6115	280
2019	0,7877	364
2020	0,7479	340
2021	0,2855	55

Соотношения к текущему периоду:	
K2020	0,52426795
P2020	178,251103
K2019	0,49777834
P2019	181,191316

Рис. 4. Фрагменты рабочих листов: а – таблица исходных данных для расчета соотношения; б – фрагмент таблицы с результатами расчета соотношения коэффициентов для оценки значений в конце периода

На рис. 4 введены обозначения: K_{2020} , K_{2019} – отношение коэффициентов эмпирического уравнения соответственно 2020 и 2019 года к значению коэффициента 2021 года; P_{2020} , P_{2019} – прогнозируемые значения на окончание текущего периода количества публикаций.

В процессе времени непрерывный мониторинг позволяет выявить изменение тенденции в рамках текущего периода. Для выбранных исходных данных было определено, изменение тенденции индексирования публикаций в базе данных Scopus по скорости прироста: апрель 2021 года – 0,2855 публикаций в день; июнь 2021 года – 0,3921 публикации в день; октябрь 2021 года – 0,3976 публикаций в день. В соответствии с изменением тенденции происходит и изменение прогноза проиндексированных публикаций на конец отчетного периода. Этот прогноз составляет: по данным на 20.04.2021 – 130 публикаций; по данным на 03.06.2021 – 178 публикаций; по данным на 05.10.2021 – 179 публикаций. Оценка достоверности прогноза возможна при достижении окончания отчетного периода.

Заключение

1. Анализ существующих решений по применению временных рядов для описания процессов и явлений показал наличие классификации временных рядов по шести основным признакам: количество показателей, характеристике временного параметра, формы представления уровней ряда, способов формирования временного ряда, расстоянию между датами и наличию тенденции временного ряда.

2. Изучение формы временного ряда по накоплению значений показателей публикационной активности научно-педагогических работников показало, что появляется новый класс временных рядов, для которого отличительной особенностью является наличие пролонгированного периода, обусловленного инерционностью процесса и обнуления показателей в начале нового планового периода.

3. Предложена методика, позволяющая выполнять прогнозирования значений временного ряда с пролонгированными периодами на момент подведения итогов.

4. Результаты применения предложенной методики показали, что при накоплении данных в ходе сплошного мониторинга происходит корректировка прогноза из-за изменения тенденции. Достоверность прогноза может быть проверена после окончания контрольного периода.

Список использованных источников

1. Логунова, О.С. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ. Сер. Высшее образование: Аспирантура / О.С. Логунова, П.Ю. Романов, Е.А. Ильина. – М.: Инфра-М, 2021. – 377 с.
2. Дьяконов, Н.А. Системы управления технологическим процессом на основе предиктивной аналитики: проектирование / Н.А. Дьяконов, О.С. Логунова // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 1 (50). – С. 58-64.
3. Логунова, О.С. Система оценки качества статей научного журнала / О.С. Логунова, Е.А. Ильина, К.М. Окжос // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2015. – № 2 (7). – С. 56-57.
4. Логунова, О.С. О классификации временных рядов: добавление нового класса с пролонгированными периодами / О.С. Логунова, Е.А. Ильина // Программное обеспечение для цифровизации предприятий и организаций. Сб. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. 2021. – С. 51-55.
5. Логунова, О.С. Моделирование теплового состояния бесконечно протяженного тела с учетом динамически изменяющихся граничных условий третьего рода / О.С. Логунова, И.И. Мацко, Д.С. Сафонов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2012. – № 27 (286). – С. 74-85.
6. Гребенюк, Г.Н. Исследование динамики климата по метеоэлементам погоды (на примере города Нижневартовска) / Г.Н. Гребенюк, В.П. Кузнецова // Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета. – 2009. – № 1. – С. 19-27.
7. Крымская, О.В. Динамика индекса патогенности погоды г. Валуйки / О.В. Крымская, Д.В. Степанова // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2012. – № 11. – С. 82-85.
8. Влияние динамики изменения курса валюты на рынок жилой недвижимости / А.М. Платонова [и др.] // Строительство и недвижимость. – 2020. – № 2 (6). – С. 168-171.
9. Галаган, Т.А. Применение авторегрессионных моделей различных порядков для прогнозирования динамики поведения курса валют / Т.А. Галаган, А.Л. Несин // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2012. – № 57. – С. 8-12.
10. Динамика электропотребления московского региона и анализ режимной ситуации зимой 2005/06 Г / В.В. Сергеев [и др.] // Электрические станции. – 2006. – № 12. – С. 9-20.
11. Романов, М.В. Анализ динамики бытового электропотребления в Самарской области / М.В. Романов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2005. – № 37. – С. 117-121.
12. Елисеева, И.И. Эконометрика: учебник / И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Т.В. Костеева. – М.: Изд-во «Финансы и статистика», 2007. – 575 с.
13. Сай, В.К. Прогнозирование высокочастотных временных рядов методами машинного обучения и статистическими методами в автоматическом режиме / В.К. Сай, М.В. Щербаков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2020. – Т. 17. № 6 (192). – С. 3-11.
14. Шашевский, П.С. Метод профилей для селекции признаков из временных рядов в задачах анализа данных / П.С. Шашевский, И.Н. Яковина // Автоматика и программная инженерия. – 2015. – № 4 (14). – С. 59-64.
15. Логунова, О.С. Динамика показателей публикационной активности профессорско-преподавательского состава Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова / О.С. Логунова, Л.Г. Егорова, В.В. Королева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. – № 3 (51). – С. 101-112.

Материал поступил в редакцию: 16.09.2021

Материал принят к публикации: 26.09.2021

TIME SERIES MODELING WITH PROLONGED PERIODS

Logunova O.S., Ilina E.A.

Abstract. The aim of the study is to improve the reliability of the forecast for the time series in accounting systems. Expansion of the classification of time series includes the introduction of a new class and subclasses of time series, for which a distinctive feature is the presence of a prolonged period due to the inertia of the process and zeroing of indicators at the beginning of a new planning period. A technique is proposed that makes it possible to predict the values of a time series with prolonged periods at the time of summing up. The technique is based on the possible proportionality of the rate of data accumulation. The proposed methodology has been tested on the example of monitoring and forecasting the indexing of publications in the international Scopus database. The results of the application of the proposed methodology showed that with the accumulation of data in the course of continuous monitoring, the forecast is adjusted due to a change in the trend. The reliability of the forecast can be checked after the end of the control period.

Keywords: time series, classification of time series, prolongation period, planning publication activity, forecasting time series values.

References

1. Logunova O.S., Romanov P.Yu., Ilina E.A. (2021) *Obrabotka eksperimentalnykh dannyykh na EVM*, М.
2. Dyakonov N.A., Logunova O.S. (2021) *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы*, 1 (50) : 58-64.
3. Logunova O.S., Ilina E.A., Okzhos K.M. (2021) *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i sotsialnoj sferakh*, 2 (7) : 56-57.
4. Logunova O.S., Ilina E.A. (2021). *Programnoe obespechenie dlya czifrovizaczii predpriyatij i organizaczij*. Magnitogorsk. gos. tekhn. u-t im. G.I. Nosova, Magnitogorsk.
5. Logunova O.S., Maczko I.I., Safonov D.S. (2012) *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye*, 27 (286) : 74-85.
6. Grebenyuk G.N., Kuzneczova V.P. (2009) *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta*, 1 : 19-27.
7. Krymskaya O.V., Stepanova D.V. (2012) *Strategiya ustojchivogo razvitiya regionov Rossii*, 11 : 82-85.
8. Platonova A.M. [i dr.] (2020) *Stroitelstvo i nedvizhimost*, 2 (6) : 168-171.
9. Galagan T.A., Nesin A.L. (2012) *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i ekonomicheskie nauki*, 57 : 8-12.
10. Sergeev V.V. [i dr.] (2006) *Elektricheskie stanzii*, 12 : 9-20.
11. Romanov M.V. (2005) *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 37 : 117-121.
12. Eliseeva I.I., Kurysheva S.V., Kosteeva T.V. (2007) *Ekonometrika*, М.
13. Saj V.K., Shherbakov M.V. (2020) *Vestnik kompyuternyykh i informaczionnykh tekhnologij*, Т. 17 : 3-11.
14. Stashevskij P.S., Yakovina I.N. (2015) *Avtomatika i programmnaya inzheneriya*, 4 (14) : 59-64.
15. Logunova O.S., Egorova L.G., Koroleva V.V. (2015) *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*, 3 (51) : 101-112.

ОБ АВТОРАХ:

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: logunova66@mail.ru

Ильина Елена Александровна – канд. пед. наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет», г. Магнитогорск. Email: dar_nas@mail.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Логунова, О.С. Моделирование временных рядов с пролонгированными периодами / О.С. Логунова, Е.А. Ильина // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 2. – С. 11-16. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-11-16.

Logunova O.S. and Ilina E.A. (2021) Time series modeling with prolonged periods. Software of systems in the industrial and social fields. 9 (2): 11-16. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-11-16.