

16. Черноусова, М. В. Методы экспертных оценок. Метод Дельфи / М. В. Черноусова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2017 года. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2017. – С. 6575–6579.

17. Овчинников, Я. А. Разработка механизма обоснования выбора технических решений для объекта инфраструктуры, позволяющего оценить уровень его оснащенности с учетом требований маломобильных групп населения / Я. А. Овчинников, Д. Н. Кривогино // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2022. – № 4(60). – С. 47–58.

18. Ovchinnikov, Ya. A. Development of a mechanism for comprehensive assessment of the infrastructure facility for compliance with the requirements of low-mobility groups of the population / Ya. A. Ovchinnikov, D. N. Krivogina // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – No. 3(45). – P. 85–91. – DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-85-91.

19. Харитонов, В. А. Обоснование установления отношения строгого порядка в задаче ранжирования/выбора альтернатив строительного материала / В. А. Харитонов, Д. Н. Кривогино // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 10(141). – С. 78–91. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-10-78-91.

20. Гусельникова, Э. Д. Проектное управление формированием технического задания на строительство малоэтажного жилого дома на основе учета индивидуальных особенностей потребителя / Э. Д. Гусельникова, Д. Н. Кривогино // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2(44). – С. 96–102. – DOI: 10.52684/2312-3702-2023-44-2-96-102.

© В. А. Харитонов, Я. А. Овчинников, Г. Ф. Овчинникова

Ссылка для цитирования:

Харитонов В. А., Овчинников Я. А., Овчинникова Г. Ф. Применение механизмов комплексного оценивания в задачах повышения эффективности научных исследований в области строительства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 98–106.

УДК 519.862

DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-106-110

УТОЧНЕНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ ФУНКЦИИ РИСКА ДЛЯ ДИНАМИКИ ЦЕН НА ЦЕМЕНТ

С. И. Носков, Т. К. Кириллова, С. В. Беляев, С. П. Середкин, В. Д. Торопов

Носков Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: sergey.noskov.57@mail.ru;

Кириллова Татьяна Климентьевна, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: kirillova_tk@irgups.ru;

Беляев Сергей Вячеславович, магистрант, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: bsv2001@list.ru;

Середкин Сергей Петрович, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: Seredkin_SP@irgups.ru;

Торопов Виктор Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Государственное управление и управление человеческими ресурсами», Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: Toropovvd@bgu.ru

В работе представлен алгоритм максимизации числа допустимых ошибок аппроксимации для регрессионной кусочно-линейной функции риска, основанный на решении задачи линейно-булева программирования. Построены два варианта этой функции для описания динамики цен на цемент. Первый из них представляет собой обычную функцию риска, а второй – ее уточнение, направленное на такую максимизацию. Их краткий анализ показал, что второй вариант хоть и немного уступает первому по качеству аппроксимации, зато существенно его превосходит по числу наблюдений с допустимыми ошибками.

Ключевые слова: кусочно-линейная регрессионная функция риска; метод наименьших модулей; оценки параметров; задача линейно-булева программирования; допустимые ошибки; динамика цен на цемент.

REFINEMENT OF PIECEWISE LINEAR REGRESSION RISK FUNCTION FOR CEMENT PRICE DYNAMICS

S. I. Noskov, T. K. Kirillova, S. V. Belyaev, S. P. Seredkin, V. D. Toropov

Noskov Sergey Ivanovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Information Systems and Information Security Department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: sergey.noskov.57@mail.ru;

Kirillova Tatyana Klimentyevna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of Information Systems and Information Security Department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: kirillova_tk@irgups.ru;

Belyaev Sergey Vyacheslavovich, postgraduate student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: bsv2001@list.ru;

Seredkin Sergey Petrovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Information Systems and Information Security Department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: Seredkin_SP@irgups.ru;

Toropov Viktor Dmitriyevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Public Administration and Human Resource Management Department, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: Toropovvd@bgu.ru

The paper presents an algorithm for maximizing the number of permissible approximation errors for a regression piecewise linear risk function based on solving a linear Boolean programming problem. Two versions of this function are constructed to describe the dynamics of cement prices. The first of them is a regular risk function, and the second is its refinement aimed at such maximization. A brief analysis of them showed that the second version, although slightly inferior to the first in terms of approximation quality, significantly surpasses it in terms of the number of observations with permissible errors.

Keywords: *piecewise linear regression risk function; least absolute value method; parameter estimates; linear Boolean programming problem; permissible errors; cement price dynamics.*

Введение

Цемент является важнейшим строительным материалом, предназначенным для изготовления бетонов и строительных растворов, скрепления отдельных элементов строительных конструкций, гидроизоляции и т. д. Как ключевой материал в строительной отрасли, демонстрирует сложную динамику цен, обусловленную множеством факторов: от колебаний спроса до геополитических кризисов. Традиционные методы прогнозирования зачастую не способны уловить резкие изменения, вызванные структурными сдвигами. Традиционно при разработке и анализе технологий производства цемента и его комплексном использовании в строительстве и других экономических отраслях принято применять, в том числе, методы математического моделирования. Так, в работе [1] описывается разработка кинетической модели гидратации цемента, которая учитывает ее скорость относительно времени. Модель отражает несколько одновременных процессов, последовательно управляющих отдельными сегментами гидратации. В [2] разработана математическая модель в частных производных для сопряжения поведения гидратации цемента и реакции карбонизации как клинкерных минералов, так и продуктов гидратации, когда цементное тесто подвергается ускоренному карбонизированному отверждению на ранней стадии. Численное моделирование показывает, что трикальцийсиликат является основным реагентом как для гидратации, так и для карбонизации портландцементного теста на ранней стадии. В статье [3] разработана основанная на балансе массы и энергии математическая модель сжигания различных альтернативных видов топлива во вращающейся цементной печи. Было обнаружено, что основные параметры процесса во многом зависят от химических характеристик топлива. Исследование [4] посвящено применению известных уравнений Абрамса, Лайза и Молинари для оценки влияния соотношения вода/цемент в растворах при использовании трех различных смесей в разных пропорциях. В [5] изучаются законы расширения цементного композитного материала из стали и шлака и разрабатывается математическая модель расширения гидратации соответствующего цементного композитного материала. Модель может точно предсказать коэффициент расширения, когда содержание стального шлака составляет менее 30 %.

В работе [6] разрабатываются математические модели для прогнозирования вязкости цементных паст с различными соотношениями вода-цемент/вяжущее и содержанием суперпластификатора на основе поликарбоксилата путем введения степенной зависимости напряжения сдвига от деформации сдвига неньютоновских жидкостей в уравнения движения Навье-Стокса. В статье [7] представлено применение механики многофазных пористых сред для моделирования материалов на основе цемента при высокой температуре. Описаны и проанализированы физические явления в бетонном элементе, нагреваемом во время пожара, подтверждающие многофазность бетона в этих условиях. В исследовании [8] разработана модифицированная модель регидратации на основе термодинамической модели гидратации цемента, которая использовалась для прогнозирования степеней гидратации образцов в разное время. Выявлено, что влияние температуры на константу скорости реакции регидратации следует закону Аррениуса. В [9] разработана математическая модель для моделирования физико-химического сопряжения процесса сверхкритической карбонизации в цементных материалах. Эта модель учитывает скорость химической реакции, сохранение массы для двухфазного потока газ-жидкость, диффузию и дисперсию CO₂ в воде, сохранение энергии для пористой среды. Предсказаны степень карбонизации, температура, давление газа, содержание влаги и насыщенность воды внутри материала.

Интересные результаты в рамках данной проблематики представлены в работах: [10] (математическая модель зависимости прочности бетона от расходов цемента при его заданной активности), [11] (математическая модель влияния параметров зернового распределения частиц цемента на величину его удельной поверхности), [12] (упрощенные уравнения твердения бетона), [13] (математическая модель процесса смешивания компонентов газобетона), [14] (математическая модель набора прочности бетона, учитывающая влияние конструктивного и деструктивного процессов, протекающих при его твердении), [15] (математическая модель проектирования звукопоглощающих бетонов).

Цель настоящей работы состоит в описании динамики цен на цемент на основе применения уточненной кусочно-линейной функции риска, параметры которой оцениваются путем максимизации числа допустимых ошибок аппроксимации. Кусочно-линейная модель при этом разбивает временной ряд на сегменты (интервалы), внутри и на границах которых тренд аппроксимируется линейной функцией.

Следует иметь в виду, что в традиционных подходах точки перегиба в кусочных моделях задаются либо экспертно, либо с использованием комбинаций методов:

- регрессионного анализа с минимальной квадратичной ошибкой – для поиска оптимального числа сегментов;
- байесовского информационного критерия (BIC) – чтобы при моделировании избежать переобучения;
- учета экзогенных переменных – например, стоимости энергоносителей или введенных санкций, что повышает точность моделирования.

Это позволяет модели «учиться» на данных, выделяя периоды, когда внешние шоковые или внутренние факторы (например, сезонность спроса) меняют траекторию цен.

Ключевая особенность предлагаемого подхода – оценка параметров путем максимизации числа допустимых ошибок аппроксимации, что позволяет модели сохранять адекватность даже в условиях возможных изменений рынка.

Методы

Задачу описания динамики цен на цемент будем решать с использованием регрессионной кусочно-линейной функции риска (см., например, [16]):

$$y_k = \max\{a_1 x_{k1}, a_2 x_{k2}, \dots, a_m x_{km}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где y – зависимая (выходная) переменная, $x_i, i = \overline{1, m}$ – независимые (входные) переменные, $a_i, i = \overline{1, m}$ – определяемые оценки параметров, $\varepsilon_k, k = \overline{1, n}$ – ошибки аппроксимации, n – количество наблюдений. Все переменные в (1) будем полагать детерминированными.

Отличительной особенностью функции риска является невозможность уменьшения значений зависимой переменной без пропорционального уменьшения значений всех входных факторов.

В [16] показано, что если в качестве функции потерь использовать соответствующую методу наименьших модулей сумму абсолютных ошибок аппроксимации:

$$J(a) = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k|.$$

Задача идентификации параметров $a_i, i = \overline{1, m}$ модели (1) сводится к следующей задаче линейно-булева программирования (ЛБП):

$$\sum_{k=1}^n (u_k + v_k) - \rho \sum_{i=1}^m a_i \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$z_k + u_k - v_k = y_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$z_k \geq a_i x_{ki}, \quad k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

$$a_i x_{ki} - z_k - M \sigma_{ki} \geq -M, \quad k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sigma_{ki} = 1, \quad k = \overline{1, n}, \quad (6)$$

$$\sigma_{ki} \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, n}, i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$u_k \geq 0, v_k \geq 0, \quad k = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где M и ρ – наперед заданные соответственно большая и малая положительные константы.

В работе [17] описан алгоритм решения задачи оценивания параметров линейной регрессионной модели посредством максимизации числа S допустимых (то есть не превышающих некоторой положительной величины d) абсолютных ошибок аппроксимации (то есть таких, что $|\varepsilon_k| \leq d$), также сводящийся к решению задачи ЛБП. Нетрудно видеть, что его адаптация по отношению к модели (1) приводит к включению в состав ограничений задачи ЛБП (2) – (8) следующих:

$$u_k + v_k + M \delta_k \leq M + d, \quad k = \overline{1, n}, \quad (9)$$

$$\delta_k \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, n}, \quad (10)$$

а также замене целевой функции (2) на $\sum_{k=1}^n \delta_k - \rho_1 \sum_{k=1}^n (u_k + v_k) + \rho \sum_{i=1}^m a_i \rightarrow \max$, (11) где ρ_1 – также наперед заданное малое положительное число.

Таким образом, решение задаче ЛБП (3)–(8), (9)–(11) позволяет определить оценки параметров кусочно-линейной функции риска, для которых число допустимых ошибок аппроксимации максимально.

Результаты и обсуждение

Стоимость цемента зависит от множества факторов, при этом одним из основополагающих при ее моделировании является стоимость сырья, из которого он изготавливается. Наиболее типичными компонентами, входящими в состав цемента, являются известь, песок, глинозем, а также асбест. Примем этот факт за исходный при формировании состава переменных модели:

- y – цена тонны цемента, руб.;
- x_1 – цена тонны извести строительной, руб.;
- x_2 – цена кубометра песка строительного, руб.;
- x_3 – цена тонны глинозема, руб.;
- x_4 – цена тонны асбеста, руб.

В качестве информационной базы моделирования используем официальную статистику по выделенным показателям за 1998–2016 гг. (табл. 1) [18].

Будем строить регрессионную кусочно-линейную функцию риска в виде:

$$y_k = \max\{a_1 x_{k1}, a_2 x_{k2}, a_3 x_{k3}, a_4 x_{k4}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, 19}. \quad (12)$$

Вначале при оценивании параметров $a_i, i = \overline{1, 4}$ решим задачу ЛБП (2)–(8). В результате получим модель:

$$y_k = \max\{1.40x_{k1}, 11.06x_{k2}, 0.10x_{k3}, 0.18x_{k4}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, 19}, \quad (13)$$

$$J = 3977, E = 11.4,$$

где E – средняя процентная ошибка:

$$E = 100\% \sum_{k=1}^{19} |\varepsilon_k| / \sum_{k=1}^{19} y_k.$$

Примем за допустимую ошибку величину $d = 150$. Тогда для модели (13) число наблюдений с допустимыми ошибками S будет равно 9 (из 19 возможных). Решение задачи ЛБП (3) – (8), (9) – (11) приводит к следующей модели:

$$y_k = \max\{1.36x_{k1}, 11.45x_{k2}, 0.10x_{k3}, 0.19x_{k4}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, 19}, \quad (14)$$

$$J = 4309, E = 12.4.$$

Таблица 1

Исходные данные

Год	y	x_1	x_2	x_3	x_4
1998	256	281	21.7	1924	1243
1999	325	350	27.6	3735	2235
2000	438	352	39.0	4962	2750
2001	542	449	51.9	5439	3286
2002	687	532	67.5	5643	4200
2003	868	643	66.8	6118	5036
2004	980	812	96.2	7329	5763
2005	1413	918	87.7	9985	6772
2006	1792	1035	112	10426	7530
2007	3094	1455	129	9306	7841
2008	2546	1640	146	9941	9062
2009	2110	1634	113	11713	8631
2010	2248.75	1571.25	147	12901	8606
2011	2820.5	1639	151	13746	10353
2012	2874	1726.5	152	11624	8699
2013	2819	2045.75	188	13268	9936
2014	2821.75	2028.5	163	18249	12482
2015	2835.5	2183.75	166	30819	15825
2016	3165.5	2126.75	147	31830	16739

При этом число наблюдений с допустимыми ошибками достигло 14.

Таким образом вариант (14) кусочно-линейной модели риска (12) хоть и несколько уступает варианту (13) по сумме модулей ошибок (на 7.7 % по критерию J и на 8.6 % по критерию E) но зато превосходит его более, чем в полтора раза, по числу наблюдений с допустимыми ошибками аппроксимации. На приемлемость значений средней ошибки в моделях (13), (14) указывается в ряде источников (см., в частности, [19, 20]).

С помощью алгоритма, минимизирующего квадратичную ошибку и информационного критерия ВИС, было выявлено три ключевых точки смены тенденций исследуемого процесса:

- 2003 год – пик роста цен на глинозем (x_3) и асбест (x_4) на фоне роста объемов строительства;
- 2008 год – мировой финансовый кризис, вызвавший резкое снижение спроса на цемент;
- 2014 год – введение санкций и девальвация рубля, повлиявшие на стоимость импортного сырья.

Рассмотрим отдельно динамику значимости на предыстории независимых факторов:

- влияние переменной x_3 выросло в 2015–2016 гг., что связано с увеличением доли импортного сырья и волатильностью валютного курса;
- снижение влияния переменной x_2 , которое объясняется переходом на альтернативные материалы (в частности, щебень) после 2008 г.;
- рост значимости фактора x_4 после 2014 г. связан с ограничением импорта и ростом цен на отечественный асбест.

Модели позволяют выделить периоды повышенной волатильности:

- 2004–2008 – высокая чувствительность производства цемента к извести, имеет место риск дефицита местного сырья;
- 2015–2016 – рост значимости глинозема, что может вызвать риск зависимости от импорта.

Для управления возможными рисками рекомендуются следующие мероприятия:

- проведение мониторинга цен на глинозем и асбест в периоды геополитической нестабильности;
- диверсификация поставщиков сырья при прогнозировании будущих точек смены тенденций изучаемого процесса.

Заключение

В работе описана алгоритмическая схема максимизации числа допустимых ошибок аппроксимации для регрессионной кусочно-линейной функции риска, основанная на решении задачи линейно-булевого программирования. Разработаны два варианта такой функции для описания динамики цен на цемент. Один из них представляет собой обычную функцию риска, а другой – ее уточнение, направленное на такую максимизацию. Оказалось, что второй вариант хоть и несколько уступает первому по точности аппроксимации, зато существенно его превосходит по числу наблюдений с допустимыми ошибками. Кусочно-линейная регрессия с учетом структурных сдвигов позволяет не только описать сложившуюся динамику цен на цемент, но и выявить ключевые факторы риска для отрасли. Интеграция модели с прогнозами по сырьевым рынкам и макроэкономическим трендам повысит ее прогностическую силу. Уточненная кусочно-линейная модель может стать действенным инструментом для анализа рынка цемента, особенно в условиях нестабильности. Она не только отражает возможные изменения в тенденциях, но и помогает понять их природу, а также переводить полученные модельные результаты в конкретные управленческие решения. Эффективность модели можно существенно повысить путем привлечения специальным образом сформированной экспертной информации.

Список литературы

1. Dabić, P., Krstulović, R., Rušić, D. A new approach in mathematical modelling of cement hydration development // *Cement and Concrete Research*. – 2000 – V. 30. – No. 7. – P. 1017–1021.
2. Tiefeng Chen, Xiaojian Gao, Ling Qin. Mathematical modeling of accelerated carbonation curing of Portland cement paste at early age // *Cement and Concrete Research*. – 2019. – V. 120. – P. 187–197.
3. W. K. Hiromi Ariyaratne, E. V. P. J. Manjula, Morten C. Melaaen, and Lars-André Tokheim. Mathematical Model for Alternative Fuel Combustion in a Rotary Cement Kiln Burner // *International Journal of Modeling and Optimization*. – 2014. – V. 4. – No. 1. – P. 56–61.
4. Marvila, M. T., Azevedo, A. R. G., Monteiro, S. N. Verification of the application potential of the mathematical models of lyse, abrams and molinari in mortars based on cement and lime // *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. – V. 9. – No. 4 – P. 7327–7334.
5. Yinan Weng, Yanchao Liu, Jiayang Liu. Study on mathematical model of hydration expansion of steel slag-cement composite cementitious material // *Environmental Technology*. – 2021. – V. 42. – No. 18. – P. 2776–2783.
6. Yong Yuan, Xiaoyun Wang, Xi Chen, Peng Xiao, Eduardus Koenders & Ying Dai. Mathematical models of apparent viscosity as a function of water-cement/binder ratio and superplasticizer in cement pastes // *Scientific Reports*. – 2023. – V. 13. – P. 1–13.
7. Dariusz Gawin & Francesco Pesavento. An Overview of Modeling Cement Based Materials at Elevated Temperatures with Mechanics of Multi-Phase Porous Media // *Fire Technology*. – 2012. – V.48. – P. 753–793.
8. Yue Wang, Mingzhe An, Ziruo Yu, Song Han. Impacts of various factors on the rehydration of cement-based materials with a low water-binder ratio using mathematical models // *Construction and Building Materials*. – 2016. – V. 125. – P. 160–167.
9. Xiaoxiong Zha, Min Yu, Jianqiao Ye, Ganlin Feng. Numerical modeling of supercritical carbonation process in cement-based materials // *Cement and Concrete Research*. – 2015. – V. 72. – P. 10–20.
10. Шумков, А. И. Математическая модель зависимости прочности тяжелого бетона от расходов цемента и воды / А. И. Шумков // *Технологии бетонов*. – 2017. № 7–8. – С. 45–47.
11. Шарапов, Р. Р., Шаптала, В. Г., Алфимова, Н. И. Прогнозирование дисперсных характеристик высокодисперсных цементов / Р. Р. Шарапов, В. Г. Шаптала, Н. И. Алфимова // *Строительные материалы*. – 2007. – № 8. – С. 24–25.
12. Иванов, И. М., Крамар, Л. Я. Математическая модель для назначения высокоэффективного состава бетона с использованием молотого гранулированного доменного шлака / И. М. Иванов, Л. Я. Крамар // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура*. – 2020. – Т. 20. – № 4. – С. 28–41.
13. Ефименко, А. З., Кузнецов, А. А., Свистунов, К. Н. К вопросу повышения однородности материалов и оценки качества технологических процессов при производстве газобетона / А. З. Ефименко, А. А. Кузнецов, К. Н. Свистунов // *Технологии бетонов*. – 2010. – № 11–12. – С. 62–63.
14. Макридин, Н. И., Максимова, И. Н., Королев, Е. В., Меньшова, О. В. О влиянии ускоряюще-пластифицирующей добавки на характер изменения механических свойств бетона во времени / Н. И. Макридин, И. Н. Максимова, Е. В. Королев, О. В. Меньшова // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2004. – № 5. – С. 43–47.
15. Федюк, Р. С., Баранов, А. В., Мугахед, А. Й. Х. Влияние пористой структуры на звукопоглощение ячеистого бетона / Р. С. Федюк, А. В. Баранов, А. Й. Х. Мугахед // *Строительные материалы и изделия*. – 2020. – Т. 3. – № 2. – С. 5–18.
16. Носков, С. И., Хоняков, А. А. Применение функции риска для модельного описания колебания цен на рынке недвижимости / С. И. Носков, А. А. Хоняков // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2021. – № 3 (37). – С. 77–82.
17. Носков, С. И., Шахуров, А. Н. Максимизация числа допустимых ошибок аппроксимации при построении линейной регрессионной модели / С. И. Носков, А. Н. Шахуров // *Вестник Югорского государственного университета*. – 2024. – Т. 20. – № 3. – С. 57–62.
18. Средние цены производителей на отдельные виды промышленных товаров. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Proizvoditeli_Cena_10-2024.xlsx (дата обращения: 13.01.2025).
19. Iain, R. White. Simsum: Analyses of simulation studies including Monte Carlo error // *The Stata Journal*. – 2010. – № 3. – P. 369–385.
20. Koehler, E., Brown, E., Haneuse, S. J.-P. A. On the assessment of Monte Carlo error in simulation-based statistical analyses // *American Statistician*. – 2009. – №63. – P. 155–162.

© С. И. Носков, Т. К. Кириллова, С. В. Беляев, С. П. Середкин, В. Д. Торопов

Ссылка для цитирования:

Носков С. И., Кириллова Т. К., Беляев С. В., Середкин С. П., Торопов В. Д. Уточнение кусочно-линейной регрессионной функции риска для динамики цен на цемент // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 106–110.