

Раздел 2 МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ТЕХНИКЕ

Section 2 MODELS, SYSTEMS, NETWORKS IN THE TECHNIQUE

УДК 519.862.6
doi:10.21685/2227-8486-2022-4-6

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ФОРМЫ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОЙ СОГЛАСОВАННОСТИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕМА ДОБЫЧИ ГАЗА

С. И. Носков¹, Ю. А. Бычков²

^{1,2} Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия
¹sergey.noskov.57@mail.ru, ²bychkov_ya@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Методы регрессионного анализа – эффективный инструмент изучения закономерностей функционирования и развития сложных систем различной природы. Цель исследования состоит в выявлении модельной зависимости объема добычи газа от перечисленных технологических характеристик. *Материалы и методы.* Для достижения поставленной цели применялся математический аппарат решения задач линейного программирования. *Результаты.* Приведена краткая характеристика технологического объекта, эксплуатируемого в газовой отрасли топливно-энергетического комплекса Иркутской области. Определены зависимая и независимые переменные регрессионной модели добычи газа. При помощи модифицированного метода максимальной согласованности в непрерывной форме и метода наименьших модулей построены регрессионные модели, описывающие процесс добычи газа на исследуемом объекте. *Выводы.* Определены некоторые направления практического применения построенной регрессионной модели.

Ключевые слова: регрессионная модель, задача линейного программирования, критерии адекватности, добыча газа, технологический процесс

Для цитирования: Носков С. И., Бычков Ю. А. Применение непрерывной формы метода максимальной согласованности для построения регрессионной модели объема добычи газа // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 4. С. 94–103. doi:10.21685/2227-8486-2022-4-6

APPLICATION OF THE CONTINUOUS FORM OF THE MAXIMUM CONSISTENCY METHOD FOR CONSTRUCTING A REGRESSION MODEL OF GAS PRODUCTION

S.I. Noskov¹, Yu.A. Bychkov²

^{1,2} Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

¹sergey.noskov.57@mail.ru, ²bychkov_ya@mail.ru

Abstract. *Background.* Regression analysis methods are an effective tool for studying the patterns of functioning and development of complex systems of various nature. The purpose of the study is to identify the model dependence of the volume of gas production on the listed technological characteristics. *Materials and methods.* To achieve this goal, a mathematical apparatus for solving linear programming problems was used. *Results.* The paper provides a brief description of the technological facility operated in the gas industry of the fuel and energy complex of the Irkutsk region. The dependent and independent variables of the regression model of gas production are determined. Using the modified method of maximum consistency in continuous form and the method of least modules, regression models were constructed that describe the process of gas production at the object under study. *Conclusions.* Some directions of practical application of the constructed regression model are determined.

Keywords: regression model, linear programming problem, adequacy criteria, gas production, technological process

For citation: Noskov S.I., Bychkov Yu.A. Application of the continuous form of the maximum consistency method for constructing a regression model of gas production. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2022;(4):94–103. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-4-6

Введение

Методы регрессионного анализа являются эффективным инструментом исследования закономерностей функционирования и развития сложных систем различной природы. Так, в работе [1] исследуется возможность построения регрессионной модели для определения зависимости скорости движения проводника с током в рельсотроне от приложенного к нему напряжения. В [2] инструментарий регрессионного моделирования применяется для выявления особенностей роста сибирской кедровой сосны в бассейне реки Голоустная. На основе модели сделан вывод о том, что при увеличении диаметра дерева на 1 см его высота возрастет на 0,4 метра. В статье [3] регрессионные модели применяются при тестировании уровня экологической безопасности г. Москвы. В [4] при помощи линейных корреляционно-регрессионных моделей анализируются связи между показателями успеха проекта и качеством внутривнутрипроектных коммуникаций с одной стороны и количественными параметрами структуры внутривнутрипроектных коммуникаций с другой. В [5] предложена модель прогнозирования доходов предприятия санаторно-курортной сферы «Пансионаты Севастополя». В работе [6] построена регрессионная модель для расчета влияния некоторых факторов на процесс алкилирования ор-

токрезола соолигомером бутадиен-стирола. В [7] методы регрессионного анализа используются для расчета характеристик процесса зимнего бетонирования. В [8] построена конечно-элементарная модель ударно-волновой чувствительности взрывчатых веществ, которая обладает высокой точностью при проведении экспериментов с так называемыми тонкими преградами и возрастающей погрешностью – с толстыми.

В настоящей работе объектом исследования является технологический процесс добычи и подготовки газа с использованием опытно-промышленной установки УПГ-102 Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Установка расположена на территории Средне-Сибирского плоскогорья на Лено-Ангарском плато в центральной части Ковыктинского месторождения. Рельеф площадки пологий с разностью отметок от 1047 до 1088 м. Уклон площадки определяется направлением на юго-запад, в сторону реки Тюяхтах. Застроенная часть площадки УПГ-102 спланирована и свободна от лесной растительности. Газопроводы-шлейфы и метанолопроводы располагаются вдоль внутрипромысловых дорог от технологических площадок кустов скважин до площадки УПГ-102. Основная функция установки состоит в отработке оптимальных технологических режимов эксплуатации скважин, которые необходимы для дальнейшего проектирования промышленной разработки месторождения.

Установка УПГ-102 предназначена для обеспечения следующих процессов:

- осушки газа методом низкотемпературной сепарации;
- компримирования и подачи газа на опытно-промышленную мембранную установку выделения гелия из природного газа высокого давления;
- стабилизации, хранения и отгрузки стабильного конденсата;
- получения, хранения и отгрузки пропан-бутановой фракции (ПБФ);
- учета газа, конденсата, ПБФ;
- подачи газа на электростанцию обеспечения собственных нужд.

Важными агрегатами установки УПГ-102 являются сепараторы С101 и С102б, служащие соответственно для разделения газа, капельной жидкости, водометанольного раствора (так называемой метанольной воды) и отделения остатков влаги и жидких углеводородов, а также глубокой осушки газа. Для газодобывающей организации важно с помощью модели установить сложившиеся в ходе эксплуатации установки пропорции в результатах функционирования указанных сепараторов и при необходимости внести коррективы в эти пропорции.

Цель работы состоит в выявлении модельной зависимости объема добычи газа от перечисленных технологических характеристик.

Материалы и методы

Разработку собственно анонсированной математической модели следует начать с выделения круга задействованных переменных. В качестве эндогенной переменной модели добычи газа у примем общий объем добычи газа, тыс. м³/сут, а экзогенными будем считать: приход водометанольного раствора x_1 (т), рабочее давление сепаратора С101 x_2 (МПа), рабочее давление сепаратора С102б x_3 (Р МПа).

Математическую модель объема добычи газа будем строить в виде линейной регрессии:

$$y_k = \alpha_0 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i x_{ki} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где k – номер наблюдения выборки; n – длина выборки (количество наблюдений); ε_k – ошибки аппроксимации.

Отметим, что, если в процессе моделирования линейная модель (1) окажется неадекватной исследуемому процессу, можно будет использовать вместо нее более гибкие, в том числе нелинейные конструкции, описанные, в частности, в [9].

Для оценивания параметров модели (1) воспользуемся непрерывной формой метода максимальной согласованности (далее – НММС), предложенного в [10] и примененного в [11, 12], а также методом наименьших модулей (МНМ). Такой выбор методов объясняется следующими их свойствами. ММС предполагает максимизацию числа совпадений знаков приращений расчетных и наблюдаемых значений зависимой переменной на всех парах наблюдений выборки данных и сводится к задаче линейно-булевого программирования. Непрерывная же форма ММС представима существенно более простой в вычислительном отношении задачей линейного программирования. Достоинством МНМ является то, что с его помощью можно эффективно выявлять так называемые выбросы в данных – наблюдения, не согласующиеся с выборкой в целом. Отметим, что ММС уже успешно использовался при исследовании сложных социально-экономических объектов [13, 14].

Реализация НММС сводится к решению задачи:

$$L = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{s=k+1}^n l_{ks} \rightarrow \min,$$

где $l_{ks} = \begin{cases} |\hat{y}_k - \hat{y}_s|, & (y_k - y_s)(\hat{y}_k - \hat{y}_s) < 0 \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$; $\hat{y}_k = \sum_{i=1}^3 \alpha_i x_{ki}$ – расчетные значения

зависимой переменной.

Реализация МНМ состоит в решении следующей задачи:

$$M = \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k| \rightarrow \min.$$

Обе приведенные выше задачи сводятся к задачам линейного программирования (см, например, [15]).

Наряду со значениями L и M для оценки качества построенных регрессионных моделей будем использовать также среднюю относительную ошибку аппроксимации E :

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

В качестве информационной базы исследования используем статистическую информацию о функционировании УПГ-102 за один календарный месяц 2021 г. (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные для моделирования

Дни	Объем добычи газа (общий), тыс. м ³ /сут	Приход ВМР, т	Рабочее давление сепаратора С101, МПа	Рабочее давление сепаратора С102б, МПа
№	y	x_1	x_2	x_3
1	542,919	4,8548	12,04	3,72
2	439,391	1,2824	12,12	3,67
3	438,736	1,16332	12,67	3,68
4	437,829	1,16332	12,18	3,78
5	440,427	1,3282	12,38	3,73
6	440,844	1,42896	12,37	3,68
7	439,334	1,11752	12,34	3,74
8	441,89	1,1908	12,37	3,69
9	441,118	1,2824	12,38	3,74
10	442,114	1,1908	12,37	3,75
11	454,17	1,1908	12,05	3,76
12	454,537	1,0992	12,18	3,77
13	455,273	1,374	12,13	3,79
14	452,982	1,0076	11,99	3,85
15	450,391	0,8244	11,89	3,86
16	457,937	1,5572	12,2	3,85
17	451,738	1,0992	12,23	3,8
18	446,666	1,0992	12,3	3,82
19	455,544	1,1908	12,24	3,87
20	454,769	1,2824	12,31	3,86
21	448,521	1,0076	12,37	3,77

Всего выборка содержит 21 наблюдение. Это обусловлено тем, что в течение девяти дней месяца УПГ-102 работала в режиме резервной сепарации.

Результаты

Воспользуемся программным комплексом [16] для оценивания параметров модели (1). Полученные оценки и сопутствующие результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты моделирования

r	E	M	L	α_0	α_1	α_2	α_3
0,45	1,425	141,180	62,290	347,578	12,623	-4,298	37,177
0,5	1,117	110,248	89,361	313,990	18,047	-6,825	51,716
0,6	0,940	89,617	113,898	301,038	23,885	-8,751	59,801
0,7	0,868	81,252	127,686	308,800	26,198	-11,214	65,039
0,8	0,787	73,692	153,666	309,160	26,393	-16,367	81,366
0,9	0,766	71,789	162,510	311,425	26,597	-17,936	85,571
1	0,765	71,752	165,040	254,591	26,838	-16,073	94,504

Оговоримся, что значения критериев адекватности всех построенных семи альтернативных вариантов линейной модели (1) указывают на их вполне приемлемое качество, следовательно, ее возможное усложнение, как это допускалось выше, нецелесообразно.

Входящий в нее параметр $r \in (r^*, 1]$ представляет собой заранее заданное число, которое является мерой компромисса между НММС- и МНМ-оценками, а число r^* устанавливает нижнюю границу для получения нетривиальных решений при минимизации функции

$$r \sum_{k=1}^n |\varepsilon_k| + (1-r) \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{s=k+1}^n l_{ks}.$$

Заметим, что при $r = 1$ НММС- и МНМ-оценки совпадают.

Из табл. 2 следует, что для всех $r \in (r^*, 1]$ средняя относительная ошибка аппроксимации весьма мала, это указывает на высокую точность построенных вариантов модели, а значит, на их адекватность исследуемому объекту.

Для выбора из всех семи альтернативных вариантов модели (1) лучше всего воспользуемся часто применяемым в теории принятия решений методом идеальной точки [17]. Этот вариант соответствует значению $r = 0,7$, следовательно, модель (1) при использовании НММС принимает вид

$$y = 254,591 + 26,198 x_1 - 11,214 x_2 + 65,039 x_3. \quad (2)$$

Соответствующий МНМ (при $r = 1$) вариант модели несколько отличается от предыдущего:

$$y = 308,8 + 26,838 x_1 - 16,073 x_2 + 94,504 x_3. \quad (3)$$

Заметим, что модель (2) предпочтительнее своей альтернативы (3), поскольку соответствует, как показано в [11], своего рода компромиссу между методами наименьших модулей и максимальной согласованности. Отличительной его характеристикой является то, что он обеспечивает некий баланс между уровнем согласованности в поведении расчетных и наблюдаемых значений выходной переменной модели и ее реакцией на выбросы в данных. Она может подлежать практическому применению для решения задач, связанных с более глубоким анализом проблем добычи газа и ее вариантным прогнозированием – последнее относится к традиционным сферам использования регрессионных моделей. К таким задачам может быть отнесена возможность контроля складывающихся в ходе эксплуатации установки УПГ-102 пропорций между рабочими давлениями сепараторов С101 и С102б. Это может быть сделано в том числе с помощью анализа вкладов факторов в правую часть модели (соответствующая методика изложена в работе [18]). Его результатом может быть внесение соответствующих корректив в технологический процесс добычи газа.

На рис. 1 представлены фактические и вычисленные по моделям значения зависимой переменной.

Из рис. 1 следует, что обе построенные модели обладают высокой точностью, а соответствующие им расчетные траектории, несмотря на отличия в оценках параметров, близки между собой.

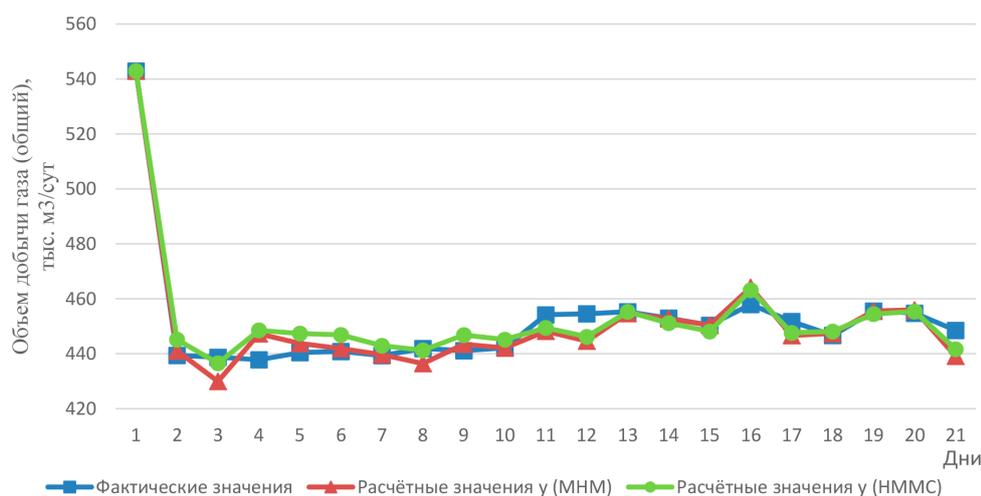


Рис. 1. Фактические и вычисленные по моделям значения переменной y

Обсуждение

Важным практическим выводом, следующим из анализа рис. 1, является то, что наблюдения 4, 5, 12, 21 характеризуются существенной рассогласованностью между расчетными и фактическими значениями зависимой переменной, что требует дополнительного анализа всех обстоятельств, сложившихся в эти дни, с привлечением соответствующих методик.

Разумеется, прямое применение описанной модели для другого объекта невозможно. Оно потребовало бы соответствующей ее адаптации, состоящей в пересчете параметров по новым исходным данным с сохранением разработанной модельной спецификации (набора переменных и формы модели).

Заключение

В работе дана краткая характеристика технологического объекта добычи газа на севере Иркутской области. Проведено его моделирование при помощи методов наименьших модулей и максимальной согласованности в непрерывной форме. В качестве независимых переменных использованы: приход водометанольного раствора, рабочее давление сепаратора С101, рабочее давление сепаратора С102б. Сделаны выводы о возможности практического применения полученной модели для решения некоторых практических задач.

Список литературы

1. Ланкин М. В., Таменцева К. О., Квашук Д. Е. Построение регрессионной модели скорости движения плазмы в рельсотроне // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики : материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Новочеркасск, 26 сентября 2014 г.). Новочеркасск : Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, 2014. С. 22–27.
2. Кутателадзе И. В., Леонтьев Д. Ф. К изучению хода роста кедровых молодячков на месте промышленных рубок // Актуальные вопросы аграрной науки. 2014. № 10. С. 19–22.

3. Кузовкина Т. В. Экологическая оценка города на модели энергоэкологической эффективности // Вестник Московского государственного строительного университета. 2014. № 12. С. 172–181.
4. Титов С. А. Исследование взаимосвязи структуры внутрипроектных коммуникаций и результативности инновационных проектов с помощью анализа социальных сетей // Cloud of Science. 2014. Т. 1, № 4. С. 665–695.
5. Матушевская Е. А., Яковлева Ю. К. Использование стохастического анализа для прогнозирования доходов предприятий санаторно-курортной сферы // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 6-1. С. 158–161. doi:10.24412/2411-0450-2021-6-1-158-161
6. Гулиева С. Н. Кинетические исследования процесса алкилирования соолигомера бутадиен-стирола ортокрезолом // Интеграция наук. 2018. № 5. С. 32–34.
7. Хубаев А. О. Описание эксперимента при расчете потенциала производства зимнего бетонирования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 2. С. 247–252.
8. Ахмадиев И. Д., Базотов В. Я., Анисимов А. Н., Бадретдинова Л. Х. Моделирование испытаний чувствительности взрывчатых веществ к ударной волне // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 15. С. 28–30.
9. Носков С. И., Базилевский М. П. Построение регрессионных моделей с использованием аппарата линейно-булевого программирования. Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2018. 176 с.
10. Носков С. И. Метод максимальной согласованности в регрессионном анализе // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 10. С. 380–385.
11. Носков С. И., Бычков Ю. А. Вычислительные эксперименты с непрерывной формой метода максимальной согласованности в регрессионном анализе // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2022. Т. 18, № 2. С. 7–12. doi:10.36622/VSTU.2022.18.2.001
12. Носков С. И., Бычков Ю. А. Модификация непрерывной формы метода максимальной согласованности при построении линейной регрессии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 5. С. 88–94. doi:10.24412/2071-6168-2022-5-88-95
13. Носков С. И., Бычков Ю. А. Построение регрессионной модели валового регионального продукта Ставропольского края на основе применения методов наименьших модулей и максимальной согласованности // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2022. № 2. С. 113–120.
14. Носков С. И., Бычков Ю. А. Применение метода максимальной согласованности для построения многофакторной регрессионной модели ввода жилья на региональном уровне // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. № 2. С. 141–145. doi:10.52684/2312-3702-2022-39-1-141-145
15. Носков С. И. Применение непрерывного критерия согласованности поведения при построении регрессионных моделей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 6. С. 74–78.
16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022618082 РФ. Программа оптимизации непрерывного критерия согласованности поведения при построении регрессионных моделей / Носков С. И., Бычков Ю. А. ; опублик. 28.04.2022.
17. Растринин Л. А. Системы экстремального управления. М. : Наука, 1974. 632 с.
18. Носков С. И. Оценка динамики вкладов факторов в линейной регрессионной модели // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17, № 5. С. 15–19.

References

1. Lankin M.V., Tamentseva K.O., Kvashuk D.E. Construction of a regression model of plasma velocity in a railgun. *Teoriya, metody i sredstva izmereniy, kontrolya i diagnostiki : materialy XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Novocherkassk, 26 sentyabrya 2014 g.) = Theory, methods and means of measurement, control and diagnostics : materials of the XV International Scientific and Practical Conference (Novo-cherkassk, September 26, 2014)*. Novocherkassk: Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy politekhnicheskii universitet (NPI) imeni M.I. Platova, 2014:22–27. (In Russ.)
2. Kutateladze I.V., Leont'ev D.F. To the study of the course of growth of cedar young trees on the site of industrial logging. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki = Actual issues of agrarian science*. 2014;(10):19–22. (In Russ.)
3. Kuzovkina T.V. Ecological assessment of the city on the model of energy-ecological efficiency. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta = Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering*. 2014;(12):172–181. (In Russ.)
4. Titov S.A. Investigation of the relationship between the structure of intra-project communications and the effectiveness of innovative projects using the analysis of social networks. *Cloud of Science*. 2014;1(4):665–695. (In Russ.)
5. Matushevskaya E.A., Yakovleva Yu.K. The use of stochastic analysis for forecasting the incomes of enterprises of the sanatorium-resort sphere. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika = Economics and Business: theory and practice*. 2021;(6-1):158–161. (In Russ.). doi:10.24412/2411-0450-2021-6-1-158-161
6. Gulieva S.N. Kinetic studies of the process of alkylation of the butadiene-styrene cooligomer with orthocresol. *Integratsiya nauk = Integration of sciences*. 2018;(5):32–34. (In Russ.)
7. Khubaev A.O. Description of the experiment in calculating the production potential of winter concreting. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2020;(2):247–252. (In Russ.)
8. Akhmadiev I.D., Bazotov V.Ya., Anisimov A.N., Badretdinova L.Kh. Modeling tests of explosives sensitivity to shock wave. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Kazan Technological University*. 2012;15(15):28–30. (In Russ.)
9. Noskov S.I., Bazilevskiy M.P. *Postroenie regressionnykh modeley s ispol'zovaniem apparata lineynno-bulevogo programmirovaniya = Construction of regression models using linear-Boolean programming apparatus*. Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, 2018:176. (In Russ.)
10. Noskov S.I. The method of maximum consistency in regression analysis. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya Tula State University. Technical sciences*. 2021;(10):380–385. (In Russ.)
11. Noskov S.I., Bychkov Yu.A. Computational experiments with the continuous form of the maximum consistency method in regression analysis. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2022;18(2):7–12. (In Russ.). doi:10.36622/VSTU.2022.18.2.001
12. Noskov S.I., Bychkov Yu.A. Modification of the continuous form of the maximum consistency method in the construction of linear regression. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya Tula State University. Technical sciences*. 2022;(5):88–94. (In Russ.). doi:10.24412/2071-6168-2022-5-88-95
13. Noskov S.I., Bychkov Yu.A. Constructing a regression model of the gross regional product of the Stavropol Territory based on the application of the methods of the smallest modules and maximum consistency. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Scientific works of the Kuban State Technological University*. 2022;(2):113–120. (In Russ.)
14. Noskov S.I., Bychkov Yu.A. Application of the maximum consistency method for constructing a multifactorial regression model of housing commissioning at the re-

- gional level. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya = Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2022;(2):141–145. (In Russ.). doi:10.52684/2312-3702-2022-39-1-141-145
15. Noskov S.I. Application of the continuous criterion of consistency of behavior in the construction of regression models. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2021;(6):74–78. (In Russ.)
16. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2022618082 RF. Programma optimizatsii nepreryvnogo kriteriya soglasovannosti povedeniya pri postroenii regressionnykh modeley = Certificate of state registration of the computer program No. 2022618082 of the Russian Federation. Program for optimization of the continuous criterion of consistency of behavior in the construction of regression models*. Noskov S.I., Bychkov Yu.A.; publ. 28.04.2022. (In Russ.)
17. Rastrigin L.A. *Sistemy ekstremal'nogo upravleniya = Systems of extreme control*. Moscow: Nauka, 1974:632. (In Russ.)
18. Noskov S.I. Evaluation of the dynamics of factor contributions in a linear regression model. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2021;17(5):15–19. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Иванович Носков

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационных
систем и защиты информации,
Иркутский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Иркутск,
ул. Чернышевского, 15)
E-mail: sergey.noskov.57@mail.ru

Sergey I. Noskov

Doctor of technical sciences, professor,
professor of the sub-department
of information systems
and information protection,
Irkutsk State Transport University
(15 Chernyshevskogo street, Irkutsk, Russia)

Юрий Александрович Бычков

аспирант,
Иркутский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Иркутск,
ул. Чернышевского, 15)
E-mail: bychkov_ya@mail.ru

Yuriy A. Bychkov

Postgraduate student,
Irkutsk State Transport University
(15 Chernyshevskogo street, Irkutsk, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 15.06.2022

Поступила после рецензирования/Revised 06.09.2022

Принята к публикации/Accepted 21.10.2022