

Методическое обеспечение надежности камеральной оценки достоверности исполнительных геодезических схем

Guidelines for ensuring the reliability of cameral evaluation of the authenticity of as-built survey maps

Орлова Е.А.^{1*}, Фомин Н.И.¹
Orlova E.A.^{1*}, Fomin N.I.¹

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Российская Федерация, Екатеринбург

¹Ural Federal University, Russian Federation, Yekaterinburg

*e.a.orlova@internet.ru



Орлова Е.А.



Фомин Н.И.

Резюме. Цель. Целью настоящей статьи является демонстрация авторского способа оценки достоверности исполнительных геодезических схем с использованием программы Microsoft Excel и результатов его верификации. Оценка достоверности плано-высотных отклонений строительных конструкций зданий и сооружений, фиксируемых на геодезической схеме, производится в результате сравнения диаграммы распределения значений контрольных точек с графиком нормального распределения (кривой Гаусса). Верификация разработанного способа, представленная в статье, выполнена на основе построения графика квантилей, а также проведения расчетов тремя различными способами, основанными на анализе параметров и статистических характеристик искомой выборки. **Методы.** В данной статье применялся камеральный метод исследования исполнительных геодезических схем, а также методы математической статистики для верификации результатов исследования.

Результаты. Гипотеза о нормальном распределении выборки отклонений контрольных точек исследуемых строительных конструкций проверена и подтверждена следующими способами: построение графика квантилей; проверка «правила трех сигм»; анализ показателей асимметрии и эксцесса; проверка гипотезы о нормальности распределения по критерию согласия Пирсона (Критерий Хи-квадрат). Это позволяет обеспечить надежность и проверяемость результатов в объеме регистрационного контроля исполнительных схем. В статье также обоснована возможность практического применения разработанного авторами способа оценки достоверности исполнительных геодезических схем.

Abstract. Aim. The paper aims to demonstrate a unique method of evaluating the authenticity of as-built survey maps using Microsoft Excel and verification results. The authenticity of the horizontal and vertical deviations of building structures documented in geodetic designs is evaluated by comparing the diagram of control point value distribution with a normal probability plot (Gaussian distribution). The verification of the developed method presented in the paper is based on a quantile plot, as well as calculations using three different methods involving the analysis of the parameters and statistical characteristics of the sought sample. **Methods.** The paper used the cameral method of evaluating as-built survey maps, as well as methods of mathematical statistics for verifying the research findings. **Results.** The hypothesis of normal distribution of the sample of control point deviations of the examined building structures was verified and confirmed using the following methods: quantile plotting; verification of the three sigma rule; analysis of the index of skewness and kurtosis; verification of the hypothesis of normal distribution per Pearson's chi-squared test. That allows ensuring the reliability and verifiability of the results as regards the registration control of as-built drawings. The paper also substantiates the practical applicability of the method of evaluating the authenticity of as-built survey maps developed by the authors.

Ключевые слова: строительные конструкции; исполнительная документация; геодезические схемы; строительный контроль; оценка достоверности; камеральная оценка.

Keywords: building structures; as-built documentation; geodetic designs; construction oversight; evaluation of authenticity; cameral evaluation.

Для цитирования: Орлова Е.А., Фомин Н.И. Методическое обеспечение надежности камеральной оценки достоверности исполнительных геодезических схем // Надежность. 2023. №4. С. 39-44. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-4-39-44>

For citation: Orlova E.A., Fomin N.I. Guidelines for ensuring the reliability of cameral evaluation of the authenticity of as-built survey maps. *Dependability* 2023;4:39-44. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-4-39-44>

Поступила: 17.05.2023 / **После доработки:** 22.09.2023 / **К печати:** 20.11.2023
Received on: 17.05.2023 / **Revised on:** 22.09.2023 / **For printing:** 20.11.2023

Введение

В процессе возведения здания или сооружения обеспечение полного соответствия построенного проектным решениям представляется маловероятным. Поэтому необходимость достоверной фиксации фактических отклонений возведенных несущих конструкций здания или сооружения и их учета для продолжения строительства и возможности безопасной эксплуатации объекта является важной составляющей эффективности строительного контроля. Актуальность достоверного учета отклонений возрастает в связи с существующей практикой передачи подрядчиком застройщику сфальсифицированных исполнительных геодезических схем, т. е. схем, содержащих заниженные планово-высотные отклонения несущих строительных конструкций, например, гражданских зданий [1, 2].

Таким образом, необходимы новые методические разработки по оценке надежности исполнительных геодезических схем несущих конструкций зданий или сооружений и недопущения в них сфальсифицированных значений. Целью данной работы является представление простого и наглядного способа камеральной оценки достоверности исполнительных геодезических схем, разработанного для надежного обоснования решения по инструментальной натурной проверке строительных конструкций зданий или сооружений, а также его верификация. Обработка, анализ и интерпретация результатов экспериментальных исследований реализованы с использованием программы Microsoft Excel, позволяющей осуществить анализ отклонений строительных геодезических схем в автоматическом режиме.

Теоретическое обоснование способа оценки достоверности строительных исполнительных схем

В основе рассматриваемого способа оценки достоверности исполнительных геодезических схем лежит представление величины геометрического отклонения строительной конструкции как случайной величины, зависящей от большого количества различных (случайных) факторов [3, 4]. Эти факторы обусловлены независимыми характеристиками: исполнителей (строители, работники предприятий строительной индустрии; геодезисты, и т. п.); технологий производства работ; применяемых материалов; методов и средств контроля, а также окружающей среды. Таким образом, суммарная ошибка в виде фактического отклонения планово-высотного положения конструкции от проектного значения складывается из большого числа случайных неза-

висимых ошибок. Согласно центральной предельной теореме Ляпунова [5, 6, 7]: если случайная величина X представляет собой сумму большого числа взаимно независимых величин, а влияние каждой из которых на всю сумму мало, то X имеет распределение близкое к нормальному. Таким образом, корректное распределение случайных значений отклонений планово-высотного положения строительных конструкций следует считать близким к нормальному распределению Гаусса.

Алгоритм реализации камерального способа оценки достоверности исполнительных геодезических схем

Алгоритм реализации можно разделить на два этапа.

1. Из оцениваемого комплекта исполнительных геодезических схем формируют выборку или выборки однородных отклонений контрольных точек строительных конструкций (например, колонны, стены, пилоны, балки, фермы и т. п.) в соответствии с видом нормируемого допуска (например, из свода строительных правил СП 70.13330.2012 [8]). После этого, строят гистограмму распределения значений отклонений для каждого вида конструкций.

2. Для каждой гистограммы оценивают степень соответствия распределения значений нормальному распределению Гаусса, например, путем визуального сопоставления вида кривой, соединяющей верхние точки столбцов гистограммы, с видом эталонной кривой нормального распределения в аналогичном масштабе.

Вывод о достоверности (наличии вероятной фальсификации) оцениваемых исполнительных геодезических схем и необходимости натурной проверки планово-высотного положения строительных конструкций может быть сделан на основе ответов на два вопроса:

— соответствует ли вид кривой, соединяющей верхние точки столбцов гистограммы отклонений, эталонной кривой нормального распределения?

— имеются ли отклонения контрольных точек строительных конструкций вне диапазона нормируемого допуска?

Парные отрицательные ответы свидетельствуют о вероятной недостоверности оцениваемых исполнительных геодезических схем и их фальсификации, а также о необходимости проверки данных из оцениваемых схем при помощи инструментального контроля строительных конструкций.

С целью обеспечения доступности и простоты оценки достоверности исполнительных геодезических схем в камеральных условиях, апробация разработанного способа произведена в программе «ПОДИГС, версия 1.0»

(программа для оценки достоверности исполнительных геодезических схем), созданной при помощи функционального инструмента визуализации и анализа данных Microsoft Excel [9]. Программа «ПОДИГС, версия 1.0» предназначена для анализа выборки отклонений контрольных точек строительных конструкций зданий и сооружений, при использовании которой может быть сделан вывод о достоверности или вероятной фальсификации отклонений строительных конструкций на исследуемых исполнительных схемах.

Верификация способа оценки достоверности исполнительных геодезических схем

С целью верификации разработанного способа была исследована исполнительная геодезическая документация, содержащая планово-высотные отклонения строительных конструкций здания литейного цеха ремонтно-машиностроительного завода, зафиксированные в «Техническом отчете по планово-высотной съемке положения строительных конструкций» (далее – технический отчет). Инженерно-изыскательские работы выполнены строительной организацией города Екатеринбурга в 2020 году. Значения геометрических отклонений контрольных точек строительных конструкций промышленного одноэтажного здания, содержащиеся в геодезических схемах (колонны, стропильные и подстропильные фермы, подкрановые балки), имеют нормируемые допуски в СП 70.13330.2012 [8] (табл. 6.1 п. 4, табл. 6.1 п. 6 и табл. 4.9 п. 7 соответственно). В рамках настоящей статьи мы ограничимся выборкой отклонений контрольных точек колонн (объем выборки – 244 значения). Гистограмма распределения значений геометрических отклонений искомой выборки (244 значения планово-высотных отклонений колонн) представлена на рис. 1, вид кривой нормального распределения Гаусса (график – эталон) для объема выборки в количестве 244 значения – на рис. 2.

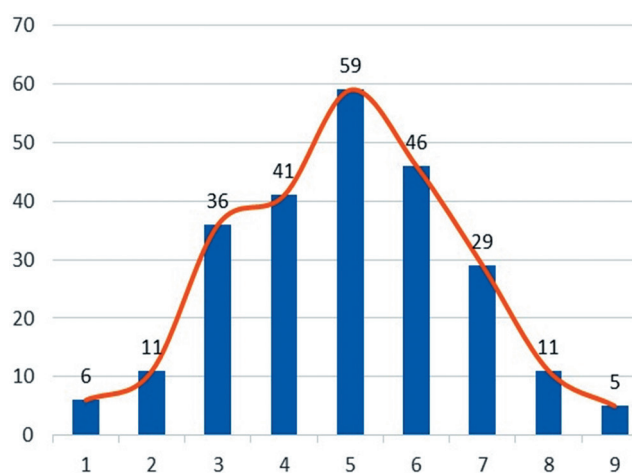


Рис. 1. Гистограмма распределения значений геометрических отклонений

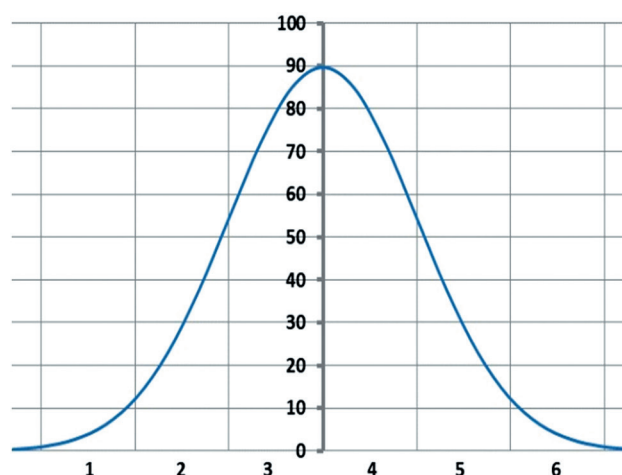


Рис. 2. График-эталон. Вид кривой нормального распределения Гаусса

При оценке построенного графика распределения значений отклонений контрольных точек колонн, путем визуального сопоставления вида кривой, соединяющей верхние точки столбцов гистограммы, с видом кривой нормального распределения графика-эталона (см. рис. 1 и 2), можно сделать вывод о сопоставимости графиков и, соответственно, **вероятной достоверности** исследуемой исполнительной геодезической схемы.

В предлагаемом способе за нулевую гипотезу принимается утверждение, что исследуемая выборка отклонений контрольных точек колонн взята из нормального распределения. Доказательство данной гипотезы будет являться верификацией предлагаемого способа и оценкой возможности его практического применения. Для верификации способа мы рассмотрим комплекс доказательств, а именно: один графический способ и три аналитических.

Способ 1 (графический). Построение графика квантилей (Q-Q plots, Quantile-Quantile plots).

На графике квантилей изображаются квантили двух распределений – эмпирического (то есть построенного по анализируемым данным) и теоретически ожидаемого стандартного нормального распределения. При нормальном распределении точки на графике квантилей должны выстраиваться в прямую линию, исходящую под углом 45 градусов из левого нижнего угла графика [10, 11].

Поскольку указанный графический способ основан на субъективной визуальной оценке данных, результатом его применения будет являться ответ на следующий вопрос:

– разумно ли предположение, что оцениваемая выборка геометрических отклонений строительных конструкций взята из нормального распределения?

Результаты построения графика квантилей для искомой выборки геометрических отклонений контрольных точек колонн в объеме 244-х значений представлены на рис. 3.

Из представленного графика можно заключить следующее: преобладающее большинство точек рас-

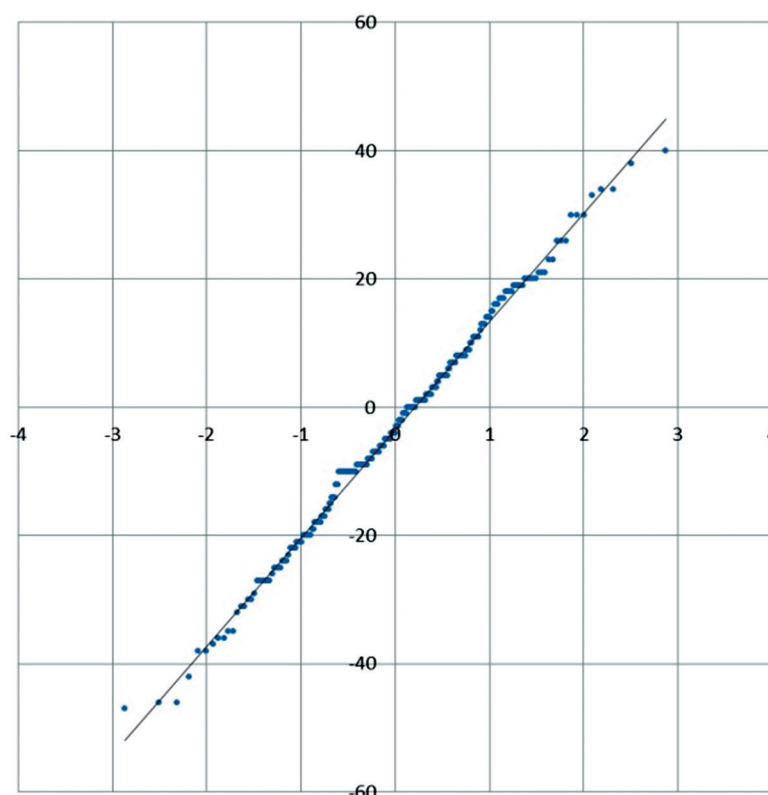


Рис. 3. График квантилей (Q-Q plots, Quantile-Quantile plots)

положено на одной прямой, соответственно, имеет место быть предположение, что оцениваемая выборка геометрических отклонений колонн взята из нормального распределения.

Способ 2 (аналитический). Правило трех сигм.

Правило трех сигм имеет следующую формулировку: если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднего квадратичного отклонения [5, 7].

Соответственно, исследуемая выборка геометрических отклонений строительных конструкций распределена нормально, если все значения исследуемой выборки находятся в диапазоне от $M-3\sigma$ до $M+3\sigma$, где σ – среднее квадратическое отклонение выборки; M – среднее значение выборки.

Расчеты таких параметров, как среднее квадратическое отклонение выборки (σ) и среднее значение выборки (M) производились с помощью удобного и доступного инструмента – программы Microsoft Excel.

Результат расчетов: $M-3\sigma=-54,13$; $M+3\sigma=47,24$.

Минимальное значение отклонения контрольной точки колонны согласно техническому отчету составляет «-47»; максимальное значение – «40».

Поскольку все значения отклонений контрольных точек колонн находятся от $M-3\sigma$ до $M+3\sigma$, можно сделать вывод, что исследуемая выборка геометрических отклонений колонн распределена нормально.

Способ 3 (аналитический). Анализ показателей асимметрии и эксцесса.

С помощью показателей асимметрии (A) и эксцесса (E) можно количественно оценить степень отличия эмпирического распределения от нормального. Эти показатели для нормального распределения равны нулю. Следовательно, если для исследуемой выборки геометрических отклонений строительных конструкций асимметрия и эксцесс имеют небольшие значения (близкие к нулю), можно предположить близость этого распределения к нормальному. В ином случае (то есть при получении больших значений асимметрии и эксцесса), можно делать вывод о значительном отклонении от нормального распределения [5, 7].

Результат расчетов: $A=-0,062$; $E=-0,147$.

Для исследуемой выборки геометрических отклонений контрольных точек колонн асимметрия и эксцесс имеют небольшие значения, близкие к нулю, соответственно, есть основания предположить близость полученного распределения к нормальному.

Способ 4 (аналитический). Критерий согласия Пирсона (Критерий Хи-квадрат).

Критерий согласия – это статистическое правило, по которому принимается или отвергается статистическая гипотеза о том, что исследуемая случайная величина подчиняется заданному эмпирическому закону распределения. Сама идея критерия Хи-квадрат основана на том, что производят измерение разницы между наблюдаемой частотой попадания (эмпирической частоты) в какой-либо интервал и теоретической вероятностью попадания в этот же интервал (теоретической частоты) [5, 7].

Таблица 1. Эмпирическое распределение

№ диапазона отклонений	Значение диапазонов		Эмпирические частоты	Теоретические частоты
	от	до		
1	-47,00	-37,33	6	5
2	-37,33	-27,67	11	13
3	-27,67	-18,00	36	29
4	-18,00	-8,33	41	47
5	-8,33	1,33	59	55
6	1,33	11,00	46	47
7	11,00	20,67	29	30
8	20,67	30,33	11	13
9	30,33	40,00	5	5

Примечание – Значения теоретических частот округлены до целых.

Гипотеза: эмпирическое распределение искомой выборки (выборки отклонений строительных конструкций) является нормальным.

Проверка гипотезы заключается в сопоставлении вычисленного значения $\chi^2_{\text{выч}}$ с табличным значением $\chi^2_{\text{табл}}$, соответствующему выбранному уровню значимости α и числу степеней свободы $\nu=k-m-1$ (где m – количество параметров, оцениваемых по исходной выборке). Если вычисленное значение Хи-критерия больше табличного, то на уровне значимости α проверяемая гипотеза должна быть отвергнута.

Таким образом, при уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $\nu=6$, табличное значение $\chi^2_{\text{табл}}=12,6$.

Подсчет количества значений, которые попадают в каждый из интервалов (эмпирической частоты) и определение теоретической частоты производились в программе Microsoft Excel. Результаты сведены в таблицу «Эмпирическое распределение», представленную в табл. 1.

Результат расчетов: $\chi^2_{\text{выч}}=3,62$.

Сравнивая полученные результаты, получаем, что $\chi^2_{\text{выч}} < \chi^2_{\text{табл}}$ ($3,62 < 12,6$).

Таким образом, на уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $\nu=6$ рассматриваемая гипотеза не противоречит исходным данным, т. е. исходное эмпирическое распределение можно считать нормальным.

Резюмируем: в результате выполненной верификации следует заключить, что предлагаемый способ камеральной оценки достоверности исполнительных геодезических схем является надежным и может применяться на практике для обоснования необходимости инструментальной проверки данных из оцениваемых схем.

Заключение

В статье рассмотрен один из вариантов реализации методического обеспечения оценки достоверности исполнительных геодезических схем. Предлагаемый способ оценки достоверности отличается простотой и наглядностью. В статье показано теоретическое обоснование способа и алгоритм его практического применения. В результате рассмотренного доказательства

гипотезы, положенной в основу способа, выполнена верификация способа и обоснована возможность его практического применения.

Библиографический список

1. Охотский Н.Р. К вопросу о качестве строительной продукции из монолитного железобетона / Н.Р. Охотский // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 12. С. 25–26.
2. Фомин Н.И. Организационно-технологическое обеспечение комплексного повышения эксплуатационных качеств монолитных и сборно-монолитных гражданских зданий. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. 112 с.
3. Байбурун А.Х. Качество и безопасность строительных технологий / А.Х. Байбурун, С.Г. Головнев. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 453 с.
4. Байбурун А.Х. Оценка вероятности аварии с учетом ошибок участников строительства // Вестник ЮУрГУ: Серия «Строительство и архитектура». 2015. № 1. С. 10–12.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
6. Петров В.В. Предельные теоремы для сумм независимых случайных величин. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 320 с.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972. 497 с.
8. Свод строительных правил СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. М.: Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2012. 196 с.
9. Программа оценки достоверности исполнительных геодезических схем, версия 1.0 (ПОДИГС, 1.0) : Свидетельство №2022612788 Российская Федерация : №2022611683 : заявл. 10.02.2022 : опубл. 28.02.2022 / Е.А. Орлова, А.А. Стародубцев, Н.И. Фомин. 1 с.
10. Excel2.ru. Справочник по функциям. URL: <https://excel2.ru/articles/proverka-raspredeleniya-na-normalnost-v-ms-excel> (дата обращения: 05.03.2023).
11. R: Анализ и визуализация данных. URL: https://ranalytics.blogspot.com/2012/06/blog-post_14.html (дата обращения: 05.03.2023).

References

1. Okhotsky N.R. Concerning the quality of building production from monolithic ferro-concrete. *Industrial and civil engineering* 2009;12:25-26. (in Russ.)
2. Fomin N.I. [Organisational and process-specific support of comprehensive improvement of the operational qualities of monolithic and half precast civil buildings]. Yekaterinburg: Ural University Press; 2022. (in Russ.)
3. Baiburin A.Kh., Golovnev S.G. [Quality and safety of building technologies]. Cheliabinsk: SUSU Press; 2006.
4. Baiburin A.Kh. Construction accidents probability estimate taking into account errors of construction participants. *Bulletin of SUSU. Series "Construction Engineering and Architecture"* 2015;1:10-12. (in Russ.)
5. Ventsel E.S. Probability theory. Moscow: Nauka; 1969. (in Russ.)
6. Petrov V.V. [Limiting theorem for sums of independent random quantities]. Moscow: Nauka. Chief Editorial Board of Physical and Mathematical Literature; 1987. (in Russ.)
7. Gmurman V.E. [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow: Vysshaya Shkola; 1972. (in Russ.)
8. Building acts SP 70.13330.2012. [Load carrying and cladding structures. Revised edition of building codes and regulations 3.03.01-87]. Moscow: Gosstroy, FAU FTsC; 2012. (in Russ.)
9. Orlova E.A., Starodubtsev A.A., Fomin N.I. [Program for verifying the authenticity of as-built survey map, version 1.0 (PODIGS, 1.0): Certificate no. 2022612788 Russian Federation: no. 2022611683: appl. 10.02.2022: publ. 28.02.2022. (in Russ.)
10. [Excel2.ru. Function reference]. (accessed 05.03.2023). Available at: <https://excel2.ru/articles/proverka-raspredeleniya-na-normalnost-v-ms-excel>. (in Russ.)
11. [R: Analysis and visualisation of data]. (accessed 05.03.2023). Available at: https://ranalytics.blogspot.com/2012/06/blog-post_14.html. (in Russ.)

Сведения об авторах

Орлова Екатерина Алексеевна – аспирант, ассистент кафедры «Промышленного, гражданского стро-

ительства и экспертизы недвижимости» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: e.a.orlova@internet.ru

Фомин Никита Игоревич – доцент, кандидат технических наук, директор «Института Строительства и Архитектуры», заведующий кафедрой «Промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация, e-mail: nnimoff@mail.ru

About the authors

Ekaterina A. Orlova, postgraduate student, Teaching Assistant, Department of Industrial, Civil Engineering and Property Survey, Ural Federal University, e-mail: e.a.orlova@internet.ru.

Nikita I. Fomin, Associate Professor, Candidate of Engineering, Director, Institute of Civil Engineering and Architecture, Head of Chair, Department of Industrial, Civil Engineering, and Property Survey, Ural Federal University, e-mail: nnimoff@mail.ru.

Вклад авторов в статью

Орловой Екатериной Алексеевной выполнена подготовка исходных данных, проанализированы существующие методы математической статистики для верификации результатов исследования, произведены расчеты, реализована графическая визуализация и анализ результатов исследований, сформулированы выводы.

Фомин Никитой Игоревичем выполнена постановка задачи исследования, осуществлено общее руководство и участие в подготовке статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.