

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ/CONSTRUCTION STRUCTURES,
BUILDINGS AND STRUCTURES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.27>

МОЩНОСТЬ КРИТЕРИЯ ШАРЛЬЕ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ В ИЗМЕРЕНИЯХ ПРИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ

Научная статья

Норин В.А.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0003-0412-3211;

¹ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (norinveniamin[at]yandex.ru)

Аннотация

При статистической обработке результатов измерений на первом этапе производится выявление выбросов, которые обусловлены главным образом ошибками, неправильными действиями операторов. Обнаружив выбросы, их необходимо исключить из выборки и при дальнейшей обработке не учитывать. Для обнаружения выбросов был разработан ряд критериев, эффективность которых зависит от размера выборки. Среди них выделяется своей простотой и удобством использования критерий Шарлье, который, судя по справочным данным, может использоваться при малом и большом числе измерений. Однако в последнее время в открытой печати появились работы, в которых не рекомендуется использовать критерий Шарлье в выборках любого объема. Поэтому была поставлена задача проанализировать мощность критерия Шарлье в выборках различного размера. Для этого был проведен теоретический эксперимент, позволяющий смоделировать измерения, полностью игнорируя экспериментальные данные, и получить эталонную выборку, данные которой имеют строго нормальное распределение. В результате проведенных исследований установлено, что критерий Шарлье может быть использован при выявлении выбросов в выборках объемом более 20 наблюдений. В выборках малого объема ($n \leq 20$) он может быть рекомендован к совместному использованию с критериями Романовского и Диксона для выявления выбросов в диапазоне $x_{\text{норм}} > 3$, т.е. только для обнаружения ошибок второго рода.

Ключевые слова: аномальные измерения, выбросы, критерий Шарлье, статистическая обработка результатов измерений.

THE POWER OF THE CHARLIER CRITERION FOR DETECTING OUTLIERS IN CONSTRUCTION WORK
MEASUREMENTS

Research article

Norin V.A.^{1,*}

¹ORCID : 0000-0003-0412-3211;

¹ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (norinveniamin[at]yandex.ru)

Abstract

At the first stage of statistical processing of measurement results, the first step is to identify outliers, which are mainly caused by errors, incorrect actions of operators. Having detected outliers, it is necessary to exclude them from the sample and not to take them into account in further processing. To detect outliers, a number of criteria have been developed, the effectiveness of which depends on the sample size. Among them, the Charlier criterion stands out for its simplicity and ease of use, which, judging by reference data, can be used for small and large numbers of measurements. However, recently in the open press there have appeared works that do not recommend using the Charlier criterion in samples of any size. Therefore, the aim was to analyse the power of the Charlier criterion in samples of different sizes. For this purpose, a theoretical experiment was carried out, which allows to model the measurements, completely ignoring the experimental data, and to obtain a reference sample, the data of which have a strictly normal distribution. As a result of this research, it was found that the Charlier criterion can be used to detect emissions in samples of more than 20 observations. In small sample sizes ($n \leq 20$), it can be recommended for joint use with the Romanovsky and Dixon criteria to detect outliers in the range of $x_{\text{norm}} > 3$, i.e., only for detecting errors of the second kind.

Keywords: anomalous measurements, outliers, Charlier criterion, statistical processing of measurement results.

Введение

В строительной отрасли при выполнении различных работ осуществляется множество разнообразных измерений, направленных на контроль качества строительных процессов, характеристик качества строительных материалов, конструкций и изделий. Внедрение новых технологий, строительных материалов и изделий требует значительного повышения точности проводимых измерений и повышенных требований к обработке получаемых результатов. В этой связи большое значение имеет своевременное выявление грубых погрешностей или так называемых выбросов в данных, полученных при измерениях [1], [2]. Выбросы – это те значения измеряемой величины в ряду измерений, которые резко отличаются от других результатов этого ряда [3]. Они, как правило, возникают из-за ошибок, неправильных действий оператора при сборе данных. Выбросы существенно искажают среднее значение, вследствие

его большой чувствительности к экстремальным значениям. Это может привести к неточному представлению данных и неверным выводам.

Избежать появления промахов в процессе измерений можно в результате четкой организации измерений, качественной подготовкой операторов, настройки и своевременной поверки средств измерений. Однако, все это не гарантирует на 100 % отсутствие выбросов. Таким образом, основной задачей статистической обработки полученных результатов измерений является выявление и исключение выбросов из серии измерений.

Для выявления грубых погрешностей разработано достаточно большое количество критериев, позволяющих производить отсев аномальных измерений из серии проведенных измерений искомой величины. Эффективность таких критериев зависит от объема выборки [4], [5].

Грубые погрешности выявляют в самом начале статистической обработки измерений, на первом этапе. В зависимости от количества измерений используют такие статистические критерии как критерий Граббса [6], [7], Диксона [8], [9], Шовене [10], [11], Ирвина [12] и ряд других критериев, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки.

Мощность таких критериев и их сравнительный анализ достаточно хорошо описаны в открытой печати, например, в работе [13]. Однако, анализ современной литературы показал, что в открытых источниках имеется противоречивая информация о критерии Шарлье. В работе [14] вообще не рекомендуется использовать критерий Шарлье при любом количестве измерений.

В связи с этим возникла необходимость проверки эффективности критерия Шарлье в выборках большого и малого объема, что и является целью данной работы.

Методы и принципы исследования

Проверка мощности критерия осуществлялась на основе методики, изложенной в работе [15], заключающейся в проведении теоретического эксперимента, который позволяет смоделировать измерения, игнорируя экспериментальные данные. Данное обстоятельство обусловлено тем, что при проверке мощности критерия на основании совокупности экспериментальных данных, распределение которой будет практически всегда отличаться от строго нормального, невозможно определить «эталон», по сравнению с которым будет приниматься решение об успешных единичных проверках.

Эксперимент проводился на выборках с количеством измерений 5, 10, 20, 30, 40.

Суть методики [15] заключается в следующем.

Вначале создается генеральная совокупность много большего объема, чем проверяемые выборки. При этом элементы такой «эталонной» генеральной совокупности подчиняются строго нормальному закону с вероятностью, равной 1. На рис. 1 представлена гистограмма такого распределения с математическим ожиданием $m_x = 25$ и стандартным отклонением $\sigma = 1$.

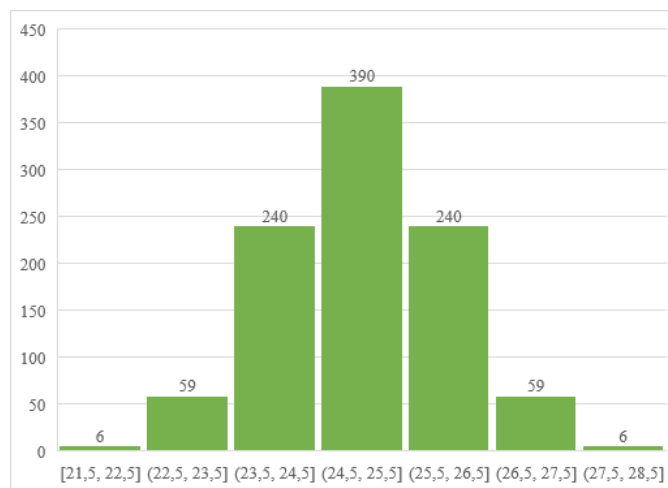


Рисунок 1 - Гистограмма генеральной совокупности
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.27.1>

Принимая во внимание правило 3-х сигм, можно полагать, что все значения случайной величины, имеющей нормальное распределение, будут находиться в границах ($m_x - 3\sigma, m_x + 3\sigma$) с вероятностью 99,7%, т.е. практически с доверительной вероятностью, равной 1. Необходимо отметить, что нужно отличать правило «трех сигм» и критерий «трех сигм», что не одно и то же. В первом случае задаются границы, внутри которых должна находиться случайная величина, используя параметры генеральной совокупности, т.е. математическое ожидание и стандартное отклонение. Во втором случае, когда речь идет о критерии «трех сигм», рассматривается интервал в границах ($\bar{x} - 3 \cdot S_x, \bar{x} + 3 \cdot S_x$), полученный в результате статистической обработки выборок ограниченного объема. Если полученное при измерении значение измеряемой величины находится за границами ($m_x - 3\sigma, m_x + 3\sigma$), то с вероятностью 99,7% можно утверждать, что это – промах. Однако аналогичный вывод в отношении вероятности будет неправилен в случае, если результат измерения выходит за границы интервала $\bar{x} - 3 \cdot S_x, \bar{x} + 3 \cdot S_x$. Это связано

с тем, что точечные оценки ограниченной выборки \bar{x} , S_x и параметры m_x , σ генеральной совокупности это – не одно и то же.

Далее из созданной «эталонной» генеральной совокупности извлекаются выборки определенного объема. При проведении теоретического эксперимента для извлечения выборок использовался online-генератор случайных чисел. Для каждого исследуемого объема выборок использовалось по 50 выборочных совокупностей. При этом изначально каждая случайная выборка была свободна от выбросов. Затем производится постепенное увеличение максимального значения в каждой выборке и одновременно выполняется проверка этого значения на выброс по критерию Шарлье. Для удобства проверки очередного значения измеряемой величины на промах методикой предусмотрено формирование нормированного отклонения $x_{\text{норм}} = (x_{\text{max}} - m_x) / \sigma$, т.е. если $x_{\text{норм}} \geq 3$, то x_{max} будут являться промахами.

Условие $x_{\text{норм}} = 3$ будет являться граничным при единичной проверке мощности критерия Шарлье при выявлении выброса. Это значит, что, если при $x_{\text{норм}} \geq 3$, критерий обнаружил промах, а при $x_{\text{норм}} < 3$ проверяемое значение не является промахом, то единичная проверка является успешной.

И наоборот, если при $h \geq 3$ критерий Шарлье не обнаружит выброс, то единичная проверка не будет считаться успешной, а будет трактоваться, как ошибка второго рода, при этом количество успешных проверок будет являться характеристикой мощности критерия. Если проверяемое значение $x_{\text{max}} < 3$, то критерий определяет x_{max} как промах и это уже будет ошибкой первого рода.

Результаты и обсуждение

При определении мощности критерия Шарлье был проведен статистический эксперимент, который заключался в моделировании измерений, не используя экспериментальные данные. Исследовались выборки объема при $n = 5; 10; 20; 30, 40$.

В соответствии с методикой [15] в начале была сформирована генеральная совокупность, состоящая из 1000 элементов со строго нормальным распределением (рис. 1). При этом математическое ожидание $m_x = 25$, а стандартное отклонение $\sigma = 1$.

Далее на следующем этапе методики из генеральной совокупности извлекались выборки объемом $n = 5$. Извлечение производилось случайным образом с помощью online-генератора случайных чисел. Количество выборок определялось из условия обеспечения достаточной точности результатов дальнейших вычислений. В данной работе использовалось по пятьдесят выборочных совокупностей для каждого исследуемого объема выборки. Выборки производились в диапазоне $(m_x - 2\sigma, m_x + 2\sigma)$, в котором находится более 95% значений генеральной совокупности. Максимальное значение выборки x_{max} принималось равным 27 (нормированное отклонение $x_{\text{норм}} = 2$) и проверялось на промах по критерию Шарлье. Выбросом в этом случае считается то значение измеряемой величины, для которого выполняется следующее неравенство

$$|x_k - \bar{x}| > K_{\text{III}} \cdot S_x,$$

где, x_k – проверяемое значение, \bar{x} – среднее арифметическое значение измеряемой величины, S_x – стандартное отклонение.

При нормированном отклонении $h = 2$ в пятидесяти выборках при проверке выбросов не было обнаружено, все единичные проверки были успешными при всех уровнях значимости. Таким образом, мощность критерия

$$P(x_{\text{норм}}) = \frac{F(x_{\text{норм}})}{N(x_{\text{норм}})} \cdot 100\% = \frac{50}{50} \cdot 100\% = 100\% \quad (1)$$

где $F(x_{\text{норм}})$ – количество успешных единичных проверок, $N(x_{\text{норм}})$ – общее количество единичных проверок.

Затем x_{max} увеличивалось до 27,2, в этом случае нормированное отклонение $x_{\text{норм}}$ равнялось 2,2. После извлечения случайным образом выборки из генеральной совокупности производилась проверка максимального значения $x_{\text{max}} = 27,2$ на выброс, которая показала отсутствие промаха. Таким же образом проводились аналогичные проверки на выбросы в оставшихся сорока девяти выборках, извлекаемых также случайным образом из генеральной совокупности. После того как были проведены все единичные проверки на промах при нормированном отклонении $x_{\text{норм}} = 2,2$, подсчитывалось количество успешных проверок и определялась мощность критерия по формуле (1), которая составила 30%.

Аналогичным образом проводились проверки на выброс максимальных значений x_{max} , равных 27,4; 27,8; 27,9 т. е. при нормированных отклонениях $x_{\text{норм}}$, равных соответственно 2,4; 2,8; 2,9. Для максимальных значений, равных двадцати восьми и более, т. е. при $x_{\text{норм}} \geq 3$, шаг изменения был увеличен до 1.

Для каждого значения нормированного отклонения $x_{\text{норм}}$ подсчитывалось общее количество $N(x_{\text{норм}})$ единичных проверок и количество $F(x_{\text{норм}})$ удачных единичных проверок и определялась мощность критерия.

В таблицу 1 занесены полученные значения мощности критерия Шарлье $P(x_{\text{норм}})$ в зависимости от величины нормированного отклонения $x_{\text{норм}}$ и объема выборки, а также данные, полученные из открытых источников [15], [16], которые использовались для сравнительного анализа.

Таблица 1 - Мощности критериев для выборок различного объема и разных значений нормированного отклонения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.27.2>

| Критерий | Объем выборки $n = 5$ | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | Нормированное отклонение $X_{норм}$ | | | | | | | | | | |
| | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 2,99 | 3 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4 | 5 |
| | Значения мощности в процентах | | | | | | | | | | |
| Критерий Диксона 0,99 | - | 90 | 88 | 80 | 20 | 20 | 26 | 30 | 30 | 30 | 44 |
| Критерий Диксона 0,95 | - | 74 | 70 | 68 | 32 | 36 | 40 | 44 | 50 | 52 | 78 |
| Критерий Романовского 0,95 | 70 | 62,5 | 55 | 52,5 | 47,5 | 55 | 85 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Критерий Романовского 0,99 | 80 | 72,5 | 60 | 57,5 | 42,5 | 50 | 80 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Критерий Шарлье | 30 | 27,5 | 10 | 2,5 | 97,5 | 97,5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Объем выборки $n = 10$ | | | | | | | | | | |
| Критерий Диксона 0,99 | - | 90 | 84 | 74 | 26 | 40 | 42 | 52 | 54 | 64 | 84 |
| Критерий Диксона 0,95 | - | 58 | 40 | 32 | 68 | 74 | 78 | 86 | 90 | 96 | 100 |
| Критерий Романовского 0,95 | 82,5 | 77,5 | 60 | 55,5 | 44,5 | 65 | 92,5 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Критерий Романовского 0,99 | 95 | 87,5 | 72,5 | 65 | 35 | 55 | 85 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Критерий Шарлье | 40 | 30 | 15 | 5 | 95 | 97,5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Объем выборки $n = 15$ | | | | | | | | | | |

| Критерий | Объем выборки $n = 5$ | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|-----|-----|------|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| | Нормированное отклонение $x_{норм}$ | | | | | | | | | | |
| | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 2,99 | 3 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4 | 5 |
| Значения мощности в процентах | | | | | | | | | | | |
| Критерий Диксона $\alpha = 0,99$ | - | 82 | 70 | 64 | 36 | 44 | 50 | 58 | 66 | 72 | 94 |
| Критерий Диксона $\alpha = 0,95$ | - | 56 | 38 | 34 | 66 | 74 | 82 | 86 | 94 | 94 | 100 |

При графической интерпретации полученных результатов статистического эксперимента принимался во внимание тот факт, что точка $x_{норм} = 3$ при графическом изображении зависимостей $P(x_{норм})$ является точкой разрыва. В этом случае точка $x_{норм} = 3$ для диапазона $x_{норм} < 3$ рассматривалась как 2,99.

Анализируя полученные результаты теоретического эксперимента, было произведено сравнение мощности критерия Шарлье с данными работ [15], [16], где приведена информация об эффективности критериев Диксона и Романовского, которые широко используются при выявлении выбросов.

Установлено, что на всем участке $x_{норм} < 3$ в выборках $n = 5, 10, 20$ мощность критерия Шарлье значительно меньше мощности критериев Романовского и Диксона (рис.2) при всех уровнях значимости (данных по мощности критерия Диксона при $n = 30$ и 40 в открытых источниках не было обнаружено, а критерий Романовского при числе измерений больше 20 не используется).

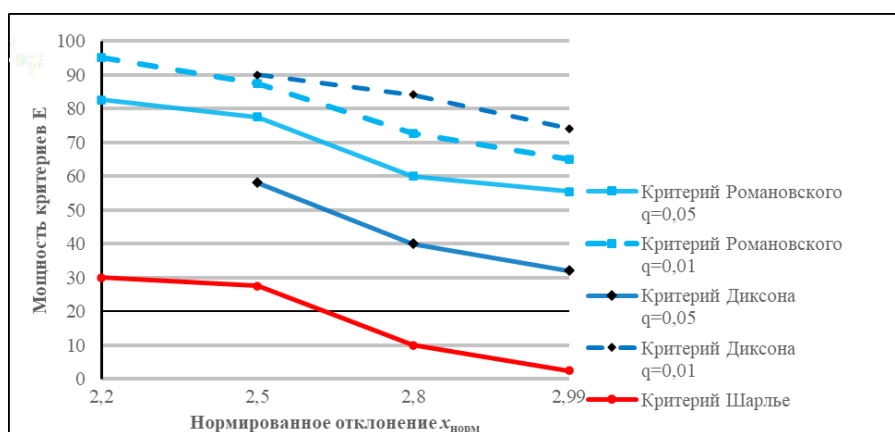


Рисунок 2 - Зависимость мощности критерия Шарлье от нормированного отклонения при $n = 5$
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.27.3>

На рис. 3 представлена зависимость критерия Шарлье от объема выборки при нормированном отклонении $x_{норм} = 2,5$.

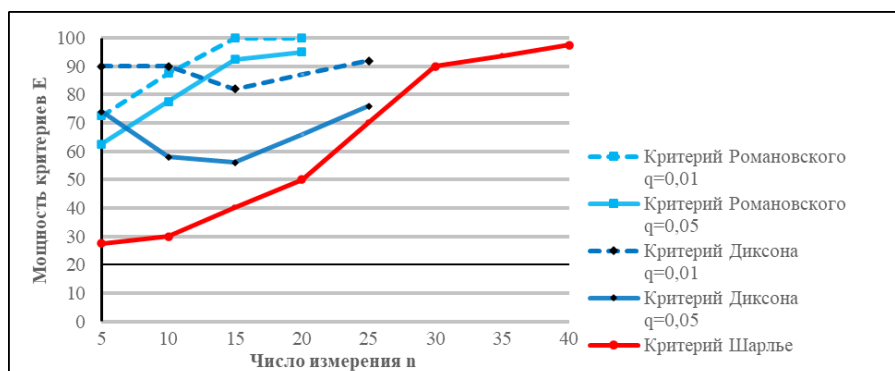


Рисунок 3 - Зависимость мощности критерия Шарлье от числа измерений n при нормированном отклонении $x_{норм} = 2,5$
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.27.4>

При нормированном отклонении в области $h \geq 3$ мощность критерия Шарлье превышает $P(x_{\text{норм}}, q)$ критериев Романовского и Диксона при всех объемах выборок и достигает 100% в выборках $n = 30$ и 40 уже при нормированном значении $x_{\text{норм}} = 3,2$, а в выборках $n = 5, 10, 20$ – при $x_{\text{норм}} = 3,4$. Это свидетельствует о том, что при использовании критерия Шарлье возникновение ошибки второго рода менее вероятно, чем при использовании критериев Романовского и Диксона. При этом ошибка второго рода (принятие ошибочной нулевой гипотезы, т.е. пропуск промаха) более опасна, чем ошибка первого рода (признание промахом наблюдение, которое промахом не является).

В области $x_{\text{норм}} < 3$ эффективность критерия Шарлье в выборках малого объема $n = 5, 10, 20$ не велика и составляет 30-40%, что значительно ниже мощности критериев Романовского и Диксона.

Таким образом, анализ полученных результатов теоретического эксперимента показывает, что критерий Шарлье обладает достаточной мощностью при выявлении выбросов только в выборках объемом более 20. А в выборках малого объема он надежен только при нормированном значении $x_{\text{норм}} > 3$, т.е. позволяет эффективно выявлять ошибки второго рода.

Заключение

Проведенные исследования, выполненные в рамках теоретического эксперимента, позволили установить, что критерий Шарлье надежен во всех диапазонах нормированных значений в выборках с числом измерений, больше 20. При числе измерений 20 и менее данный критерий эффективен при выявлении ошибок второго рода, т.е. при нормированных значениях $x_{\text{норм}} > 3$, а при $x_{\text{норм}} < 3$ его мощность невысока и составляет 30-40%. В этом случае вероятность признания промахом наблюдения, которое промахом не является, очень высока, что не позволяет рекомендовать его к использованию на практике для выявления выбросов в данном диапазоне.

Таким образом, критерий Шарлье может быть использован при выявлении выбросов в выборках объемом более 20 наблюдений. В выборках малого объема ($n \leq 20$) он может быть рекомендован к совместному использованию с критериями Романовского и Диксона для выявления выбросов в диапазоне $x_{\text{норм}} > 3$, т.е. только для обнаружения ошибок второго рода.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Рябченко Р.Б. Идентификация промахов, обеспечивающая безопасность плавания в стесненных водах / Р.Б. Рябченко, В.В. Шутов, В.И. Меньшиков // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 3. — С. 38–40.
2. Ермаков С.В. Детализация понятия «промах в навигационных измерениях» / С.В. Ермаков // Инновационная наука. — 2015. — № 8–2 (8). — С. 33–38.
3. Попукайло В.С. Обнаружение аномальных измерений при обработке данных малого объема / В.С. Попукайло // Технология и конструирование электронной аппаратуры. — 2016. — №4–5. — С. 42–46
4. Марков В.В. Обзор способов повышения качества результатов многократных измерений при исключении промахов / В.В. Марков, О.Н. Борзенкова // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. — 2007. — № 3. — С. 104–106.
5. Grubbs F.E. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations / F.E. Grubbs, G. Beck // Technometrics. — 1972. — Vol. 14. — № 4. — P. 847–854.
6. Ширияева Л.К. Вычисление мер мощности критерия Граббса на один выброс / Л.К. Ширияева // Сиб. Журн. Индустр. Матем. — 2010. — Т.13. — № 4. — С. 141–154.
7. Dixon W.J. Ratios involving extreme values / W.J. Dixon // Annals of Mathematical Statistics. — 1951. — Vol. 22. — № 1. — P. 68–78.
8. Власов Р.Ю. Обоснование и выбор критерия выявления и локализации аномальных значений / Р.Ю. Власов, А.В. Яковлев // Глобальный научный потенциал. Информатика, вычислительная техника и управление. — 2015. — № 7 (15). — С. 36–39.
9. Salim Ç. A novel system for automatic removal of ocular artefacts in EEG by using outlier detection methods and independent component analysis / Ç. Salim, A. Nurettin // Expert Systems with Applications. — 2017. — Vol. 68. — P. 36–44. — DOI: 10.1016/j.eswa.2016.10.009.
10. Резниченко С.В. Наиболее общие подходы к метрологической обработке результатов многократных измерений / С.В. Резниченко, А.С. Лихошерстова // Современные материалы, техника и технологии. — 2016. — № 2. — С. 165–173.
11. Заляжных В.В. Расширение области применения критерия Ирвина при обнаружении аномальных измерений / В.В. Заляжных // Вестник СибГУТИ. — 2020. — № 2 — С. 95–104.
12. Попукайло В.С. Исследование критериев грубых ошибок применительно к выборкам малого объема / В.С. Попукайло // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — 2015. — № 3 — С. 39–44.

13. Заляжных В.В. О критериях одиночных выбросов / В.В. Заляжных // Журнал естественнонаучных исследований. — 2022. — № 1 — С. 16–21.
14. Ермаков С.В. Методика сравнительного анализа критериев выявления промахов в измерениях навигационных параметров / С.В. Ермаков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова — 2016. — № 1 (35). — С. 15–23.
15. Norin V. Statistical processing of traffic flow characteristics data / V. Norin, Yu. Pukharenko // E3S Web Conference. — 2023. — Vol. 371. — 04031. — DOI: 10.1051/e3sconf/202337104031.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rjabchenko R.B. Identifikacija promahov, obespechivajushhaja bezopasnost' plavanija v stesennyh vodah [Identification of misses ensuring safety of navigation in confined waters] / R.B. Rjabchenko, V.V. Shutov, V.I. Men'shikov // Jeksploatacija morskogo transporta [Operation of Marine Transport]. — 2010. — № 3. — P. 38–40. [in Russian]
2. Ermakov S.V. Detalizacija ponjatija «promah v navigacionnyh izmerenijah» [Detailing of the concept 'miss in navigation measurements'] / S.V. Ermakov // Innovacionnaja nauka [Innovative Science]. — 2015. — № 8–2 (8). — P. 33–38. [in Russian]
3. Popukajlo V.S. Obnaruzhenie anomal'nyh izmerenij pri obrabotke dannyh malogo ob#ema [Detection of anomalous measurements during processing of small volume data] / V.S. Popukajlo // Tehnologija i konstruirovanie jelektronnoj apparatury [Technology and design of electronic equipment]. — 2016. — №4–5. — P. 42–46 [in Russian]
4. Markov V.V. Obzor sposobov povyshenija kachestva rezul'tatov mnogokratnyh izmerenij pri iskljuchenii promahov [Review of the ways to improve the quality of the results of multiple measurements at the exclusion of blunders] / V.V. Markov, O.N. Borzenkova // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii [Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology]. — 2007. — № 3. — P. 104–106. [in Russian]
5. Grubbs F.E. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations / F.E. Grubbs, G. Beck // Technometrics. — 1972. — Vol. 14. — № 4. — P. 847–854.
6. Shirjaeva L.K. Vychislenie mer moshhnosti kriterija Grabbsa na odin vybros [Calculation of power measures of the Grubbs criterion for one emission] / L.K. Shirjaeva // Sib. Zhurn. Industr. Matem [Siberian Journal of Industr. Math]. — 2010. — Vol.13. — № 4. — P. 141–154. [in Russian]
7. Dixon W.J. Ratios involving extreme values / W.J. Dixon // Annals of Mathematical Statistics. — 1951. — Vol. 22. — № 1. — P. 68–78.
8. Vlasov R.Ju. Obosnovanie i vybor kriterija vyjavlenija i lokalizacii anomal'nyh znachenij [Justification and selection of the criterion for detection and localisation of anomalous values] / R.Ju. Vlasov, A.V. Jakovlev // Global'nyj nauchnyj potencial. Informatika, vychislitel'naja tehnika i upravlenie [Global Scientific Potential. Informatics, Computer Science and Management]. — 2015. — № 7 (15). — P. 36–39. [in Russian]
9. Salim Ç. A novel system for automatic removal of ocular artefacts in EEG by using outlier detection methods and independent component analysis / Ç. Salim, A. Nurettin // Expert Systems with Applications. — 2017. — Vol. 68. — P. 36–44. — DOI: 10.1016/j.eswa.2016.10.009.
10. Reznichenko S.V. Naibolee obshhie podhody k metrologicheskoj obrabotke rezul'tatov mnogokratnyh izmerenij [The most general approaches to metrological processing of the results of repeated measurements] / S.V. Reznichenko, A.S. Lihosherstova // Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii [Modern Materials, Engineering and Technologies]. — 2016. — № 2. — P. 165–173. [in Russian]
11. Zaljazhnyh V.V. Rasshirenie oblasti primenenija kriterija Irvina pri obnaruzhenii anomal'nyh izmerenij [Expansion of Irwin's criterion application area at detection of anomalous measurements] / V.V. Zaljazhnyh // Vestnik SibGUTI [Bulletin of SibSUTI]. — 2020. — № 2 — P. 95–104. [in Russian]
12. Popukajlo V.S. Issledovanie kriteriev grubyh oshibok primenitel'no k vyborkam malogo ob#ema [Study of the criteria of gross errors in relation to small volume samples] / V.S. Popukajlo // Radiojelektronnye i komp'juternye sistemy [Radioelectronic and Computer Systems]. — 2015. — № 3 — P. 39–44. [in Russian]
13. Zaljazhnyh V.V. O kriterijah odinochnyh vybrosov [About criteria of single outliers] / V.V. Zaljazhnyh // Zhurnal estestvennonauchnyh issledovanij [Journal of Natural Science Research]. — 2022. — № 1 — P. 16–21. [in Russian]
14. Ermakov S.V. Metodika sravnitel'nogo analiza kriteriev vyjavlenija promahov v izmerenijah navigacionnyh parametrov [Methodology of comparative analysis of criteria for detecting misses in measurements of navigation parameters] / S.V. Ermakov // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova [Bulletin of Admiral S.O. Makarov State University of Sea and River Fleet] — 2016. — № 1 (35). — P. 15–23. [in Russian]
15. Norin V. Statistical processing of traffic flow characteristics data / V. Norin, Yu. Pukharenko // E3S Web Conference. — 2023. — Vol. 371. — 04031. — DOI: 10.1051/e3sconf/202337104031.