

**В.А. ХАРИТОНОВ¹, И.М. ПЕТРОВ¹, С.В. СНИМЩИКОВ²,
М.Ю. УСАНОВ¹, И.П. САВРАСОВ^{2,✉}, Д.О. ДЕМИН³**

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»), пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, 455000, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (ФГБОУ ВО «МГТУ ГА»), Кронштадтский бульвар, д. 20, г. Москва, 125993, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, ул. Таллинская, д. 34, г. Москва, 123458, Российская Федерация

МЕТОДИКА ВЫБОРОЧНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АРМАТУРНОГО ПРОКАТА

Аннотация

Введение. Качество арматурного проката – ключевой фактор надежности железобетонных конструкций в условиях роста этажности и сложности строительных объектов. Современные российские стандарты (ГОСТ 34028-2016, ГОСТ Р 52544-2006) требуют строгого статистического контроля механических свойств проката, включая временное сопротивление, предел текучести и относительное удлинение. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности методов выборочного контроля для минимизации рисков недостоверной оценки качества.

Цель. Разработка методики выборочного контроля качества арматурного проката на основе статистического анализа, включая проверку нормальности распределения данных, устранение выбросов и оценку соответствия требованиям стандартов.

Материалы и методы. Исследование базируется на анализе данных испытаний арматурного проката класса А600 (ГОСТ 34028-2016). Применены критерии Шапиро – Уилка, Пирсона (χ^2) и Колмогорова – Смирнова для проверки нормальности распределения. Выбросы идентифицировались методом Шарлье ($\alpha = 0,05$). Использованы программные средства для расчета статистических показателей (среднее, СКО, асимметрия, эксцесс) и визуализации (гистограммы, Q–Q графики).

Результаты. Установлено, что наличие выбросов искажает распределение ключевых параметров. Для отношения временного сопротивления к пределу текучести исключение выбросов позволило восстановить

нормальность распределения ($p > 0,05$ по двум критериям), тогда как для относительного удлинения $\delta_{\max}$ их влияние оказалось незначительным. Автоматизированный анализ подтвердил, что применение доверительных интервалов (95 %) и методов ГОСТ 34028-2016 повышает достоверность оценки качества.

Выводы. Исключение выбросов – критический этап для обеспечения нормальности распределения данных. Комбинированное использование критериев согласия повышает надежность статистических выводов. Автоматизация методики на основе специализированного программного обеспечения сокращает время контроля и минимизирует человеческий фактор. Регулярный выборочный контроль необходим для соответствия продукции требованиям стандартов и снижения рисков в строительстве.

Ключевые слова: арматурный прокат, железобетонные конструкции, выборочный контроль, качество, статистический анализ, нормальное распределение, критерий, выбросы значений, доверительные интервалы, автоматизация контроля

Для цитирования: Харитонов В.А., Петров И.М., Снимщиков С.В., Усанов М.Ю., Саврасов И.П., Демин Д.О. Методика выборочного контроля качества арматурного проката // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626). С. 50–65. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-50-65](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-50-65). EDN: WPKKAT

Вклад авторов

Харитонов В.А. – разработка концепции исследования и постановка задач; анализ нормативной базы (ГОСТ, стандарты) и формулирование требований к методи-

ке контроля; руководство процессом написания статьи и координация работы коллектива авторов.

Петров И.М. – проведение статистического анализа данных, включая проверку нормальности распределения; разработка алгоритма обработки данных и исключения выбросов; подготовка разделов, посвященных методам и результатам исследования.

Снимщиков С.В. – разработка программного обеспечения для автоматизации выборочного контроля; проведение расчетов и визуализация данных (гистограммы, Q–Q графики); участие в написании разделов, связанных с практической реализацией методики.

Усанов М.Ю. – сбор и подготовка данных испытаний арматурного проката; проведение экспериментальной проверки методики на реальных данных; анализ влияния выбросов на результаты статистической оценки.

Саврасов И.П. – анализ современных подходов к контролю качества в строительной отрасли; подготовка

обзора литературы и нормативных документов; участие в написании введения и выводов статьи.

Демин Д.О. – проверка корректности применения статистических критериев (Шапиро – Уилка, Пирсона, Колмогорова – Смирнова); подготовка рекомендаций по повышению надежности выборочного контроля; редактирование текста статьи и приведение его в соответствие с требованиями научных стандартов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.12.2024

Поступила после рецензирования 13.01.2025

Принята к публикации 16.01.2025

**V.A. KHARITONOV¹, I.M. PETROV¹, S.V. SNIMSHCHIKOV²,
M.Yu. USANOV¹, I.P. SAVRASOV^{2,✉}, D.O. DEMIN³**

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov" (MSTU named after G.I. Nosov), Lenin ave., 38, Magnitogorsk, 455000, Russian Federation

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Technical University of Civil Aviation" (MSTU CA), Kronshtadtsky Boulevard, 20, Moscow, 125993, Russian Federation

³ National Research University "Higher School of Economics", Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, Tallinskaya str., 34, Moscow, 123458, Russian Federation

THE METHODOLOGY OF SELECTIVE QUALITY CONTROL OF REBAR PRODUCTS

Abstract

Introduction. The quality of rolled reinforcement is a key factor in the reliability of reinforced concrete structures in conditions of increasing number of floors and complexity of construction projects. Modern Russian standards (State Standard 34028-2016, State Standard R 52544-2006) require strict statistical control of the mechanical properties of rolled products, including temporary resistance, yield strength and relative elongation. The relevance of the study is due to the need to improve the accuracy of sampling methods in order to minimize the risks of an unreliable quality assessment.

Aim. Development of a methodology for selective quality control of rebar products based on statistical analysis, including verification of the normality of data distribution, elimination of outliers and assessment of compliance with the requirements of standards.

Materials and methods. The study is based on the analysis of test data for rebar rolled products of class A600 (State Standard 34028-2016). The Shapiro–Wilk, Pearson (χ^2), and Kolmogorov–Smirnov criteria were applied to verify the normality of the distribution. Outliers were identified by the Charlier method ($\alpha = 0.05$). Software tools were used to calculate statistical indicators (mean, RMSD, skewness, excess) and visualization (histograms, Q–Q graphs).

Results. It was found that the presence of outliers distorts the distribution of key parameters. For the ratio of temporary resistance to yield strength, the exclusion of emissions allowed the normality of the distribution to be restored ($p > 0.05$ according to two criteria), whereas for the relative elongation $\delta_{\max}$, their effect turned out to be insignificant. Automated analysis has confirmed that the use of confidence intervals (95 %) and State Standard 34028-

2016 methods increases the reliability of quality assessment.

Conclusions. Eliminating of outliers is a critical step to ensure the normality of data distribution. The combined use of agreement criteria increases the reliability of statistical conclusions. Automation of the methodology based on specialized software reduces the monitoring time and minimizes the human factor. Regular sampling is necessary to ensure that products meet the requirements of the standards and reduce risks in construction.

Keywords: rolled rebar, reinforced concrete structures, selective control, quality, statistical analysis, normal distribution, criterion, outliers of values, confidence intervals, automation of control

For citation: Kharitonov V.A., Petrov I.M., Snimshchikov S.V., Usanov M.Yu., Savrasov I.P., Demin D.O. The methodology of selective quality control of rebar products. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 50–65. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-50-65](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-50-65). EDN: WPKKAT

Authors contribution statement

Kharitonov V.A. – development of the research concept and formulation of tasks; analysis of the regulatory framework (State Standards, standards) and formulation of requirements for the control methodology; management of the article writing process and coordination of the work of the team of authors.

Petrov I.M. – conducting of the statistical data analysis, including checking of the normality of the distribution; develop-

ing an algorithm for data processing and outliers eliminating; preparing of the sections on research methods and results. Snimshchikov S.V. – software development for automation of sampling control; calculations and visualization of data (histograms, Q–Q graphs); participation in writing of the sections related to the practical implementation of the methodology.

Usanov M.Yu. – collection and preparation of test data for rebar products; experimental verification of the methodology on real data; analysis of the impact of outliers on the results of statistical assessment.

Savrasov I.P. – analysis of modern approaches to quality control in the construction industry; preparation of a review of literature and regulatory documents; participation in writing the introduction and conclusions of the article.

Demin D.O. – verification of the correctness of the application of statistical criteria (Shapiro–Wilk, Pearson, Kolmogorov–Smirnov); preparation of recommendations to improve the reliability of sampling control; editing the text of the article and bringing it in line with the requirements of scientific standards.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.12.2024

Revised 13.01.2025

Accepted 16.01.2025

Железобетон занимает ключевое место среди современных строительных материалов, широко востребованных в капитальном строительстве. Интенсификация его использования напрямую связана с увеличением объемов производства эффективных видов арматурных сталей, отвечающих заданным требованиям качества. Бетон и железобетон представляют собой прогрессивные материалы, которые непрерывно совершенствуются и адаптируются к современным потребностям строительной отрасли [1]. За последние три десятилетия экономика России претерпела значительные изменения, что повлияло и на строительную отрасль, вызвав внедрение ряда существенных технических нововведений. В частности, изменились пропорции объемов промышленного и жилищно-гражданского строительства, увеличилась доля сложных и нетиповых объектов. Рост этажности жилых зданий и усложнение конструктивных решений в строительстве привели к усилению требований к надежности железобетонных конструкций, подчеркивая необходимость их совершенствования и адаптации к современным условиям [2].

В соответствии с актуальными российскими строительными нормами [3–5] проектирование железобетонных конструкций, зданий и сооружений должно основываться на установленных нормируемых показателях качества арматурного проката. Эти показатели должны гарантировать надежность конструкций при воздействии заданных видов нагрузок в различных условиях эксплуатации [2].

В настоящее время наибольшую востребованность имеет арматурный прокат класса прочности 500 Н/мм² [6–10]. Кроме того, важное практическое значение имеют следующие из свойств арматурного проката: категория пластичности (соответствующая требованиям Eurocode 2 [11], включая категории с повышенной пластичностью для снижения риска лавинообразного разрушения железобетонных конструкций), возможность поставки проката в бухтах рядной смотки массой 2–5 тонн, форма периодического профиля, свариваемость, коррозионная стойкость и прочие.

Согласно Закону РФ «О защите прав потребителей», контроль качества продукции в первую очередь осуществляется поставщиком (контроль поставщика). Этот вид контроля служит средством подтверждения перед потребителем и третьими сторонами достоверности предоставленной поставщиком информации о соответствии продукции установленным требованиям. Контроль, проводимый потребителем (контроль потребителя), используется для выявления возможного несоответствия продукции заявленным характеристикам и для доказательства недостоверности информации поставщика. Для потребителей это играет ключевую роль при выборе надежных поставщиков арматуры, а также способствует снижению рисков при эксплуатации железобетонных конструкций.

Чаще всего применяется выборочный (статистический) контроль качества продукции, когда испытывается лишь ее часть, называемая выборкой. Выборочный приемочный контроль качества продукции представляет собой разновидность выборочного контроля. Его суть заключается в том, что на основе испытаний отдельных единиц продукции, входящих в случайную репрезентативную выборку, с применением методов математической статистики формируется обоснованное заключение о качестве всей партии продукции. Это позволяет оценить ее соответствие установленным требованиям, а также пригодность для поставки и последующего использования по назначению.

Для обеспечения надежности механических свойств арматурного проката и долгосрочного контроля качества продукции необходимо внедрение статистических норм. Они позволяют с заданной вероятностью экстраполировать результаты выборочных контрольных испытаний на всю партию или объем продукции, произведенной за определенный период. Такой подход обеспечивает обоснованность выводов о качестве продукции и ее соответствии установленным требованиям [12]. Гарантированный статистическими расчетами уровень механических свойств продукции повышает соответствие арматурного проката техническим требованиям. Это обеспечивает конкурентное преимущество производителя за счет надежности достижения номинальных значений нормируемых характеристик. Описанный подход укрепляет позиции производителя на рынке и повышает доверие потребителей [13].

На сегодняшний день в России действуют три основных стандарта на арматурный прокат: ГОСТ 34028-2016 [14], ГОСТ Р 52544-2006 [15] (в части требований только к холоднодеформированной арматуре) и ГОСТ 5781-82 [16]. ГОСТ 5781-82 [16] в части статистической оценки качества арматурного проката регламентирует требования по среднеквадратическому отклонению в генеральной совокупности испытаний, среднеквадратическому отклонению в партии-плавке, а также их отношению к среднему значению в генеральной совокупности испытаний и минимальному среднему значению в партии-плавке [16, табл. 9]. Стандарт включает требования гарантии среднего значения временного сопротивления, а также физического и условного пределов текучести в генеральной совокупности. Он также устанавливает минимальные средние значения этих показателей для каждой партии-плавки, обеспечивая контроль и подтверждение качества на всех этапах производства [16, Приложение 1]. Условия определения указанных показателей определяются границами доверительных интервалов.

Аналогичные требования к среднеквадратическому отклонению и средним значениям регламентируются в [15, табл. 6 и Приложение В].

Согласно ГОСТ 34028-2016 [14], статистическую оценку уровня качества проката при долговременном контроле проводят для подтверждения соответствия требованиям стандарта таких показателей, как относительная площадь смятия f_R , временное сопротивление σ_B , предел текучести $\sigma_T(\sigma_{0,2})$, отношение временного сопротивления к пределу текучести $\sigma_B/\sigma_T(\sigma_{0,2})$ и относительное удлинение δ_5 (δ_p или δ_{max}).

Для определения статистических показателей используют репрезентативную выборку результатов контрольных испытаний, охватывающую не менее 6 месяцев или последние 200 испытанных образцов при неизменном технологическом процессе. Выборка должна включать данные не менее чем по 5 партиям (плавкам). Оценка достоверной частоты отказов при заданной вероятности осуществляется путем определения границ доверительных интервалов. Оценка уровня качества при долгосрочном контроле основывается на предположении о нормальном распределении большого числа единичных результатов, так как большинство технологических процессов подчиняется закону нормального распределения (закон Гаусса, или Лапласа – Гаусса). Этот закон характеризуется средней величиной, которая определяет центр распределения, и среднеквадратическим отклонением, которое используется как мера изменчивости (вариативности) результатов [13].

Подход, изложенный в [14], позволяет производителю оценить прогнозируемый диапазон отказов (от 10 до 5 %) на основе фактического уровня изменчивости механических свойств арматурного проката, определяемого среднеквадратическим отклонением и ожидаемым средним значением. Это позволяет производителю прогнозировать вероятность обеспечения заданного уровня качества продукции и принимать меры для его повышения [2].

Представленный анализ свидетельствует, что основные действующие в России нормативные документы на арматурный прокат содержат требования по среднеквадратическому отклонению, т. е. регламентируют степень разброса результатов испытаний относительно среднего значения и предлагают использование доверительных интервалов для оценки среднего значения при статистической оценке уровня качества.

Доверительный интервал – это интервал, который включает в себя неизвестный параметр с заданной вероятностью [17]. Вычисление границы доверительного интервала случайной величины выполняется по формуле:

$$(\bar{X} - t_{a,f} \sigma; \bar{X} + t_{a,f} \sigma, \quad (1)$$

где $\bar{X}$ – среднее арифметическое;

σ – среднеквадратическое отклонение выборки;

$t_{a,f}$ – табличное значение критерия Стьюдента для выбранной доверительной вероятности.

Среднеквадратическое отклонение – это статистическая характеристика, отражающая степень разброса значений случайной величины относительно ее среднего значения и среднюю степень разброса значений величины относительно математического ожидания [17].

При использовании числовых характеристик весьма важным является следующее обстоятельство: изучая случайную величину, мы не можем охватить генеральную совокупность, поэтому имеем в своем распоряжении лишь ограниченную выборку из нее. Таким образом, по выборке будут получены не истинные значения той или иной характеристики, а их приближенные оценки [18].

Границы доверительного интервала случайной величины определяются площадью графика кривой Гаусса, заключенной между границами доверительного интервала. Например, в границах 95 % доверительного интервала заключено 95 % площади графика нормального распределения, как следствие, случайная величина имеет вероятность 0,95 попасть в границы доверительного интервала в результате испытаний. Таким образом, для получения достоверных результатов при оценке доверительных интервалов необходимо, чтобы величина, для которой рассчитывается доверительный интервал, была распределена по нормальному закону. В противном случае результаты оценки доверительного интервала нельзя признать достоверными. Таким образом, для правильного использования большинства классических методов математической статистики (применяемых в обработке измерений, стандартизации и контроле качества) необходимо, чтобы наблюдаемые данные соответствовали нормальному распределению [19]. Если гипотеза о нормальности данных не отклоняется, то анализ значительно упрощается, так как становится возможным использование традиционных статистических методов, корректность которых обусловлена выполнением данного условия. Это способствует более надежной интерпретации результатов и повышению эффективности решений в областях стандартизации и контроля качества [20]. По этой причине проверка на соответствие нормальному распределению является обязательной процедурой при проведении измерений, испытаний и контроля для корректности применения статистических методов и обеспечения надежности получаемых результатов при анализе качества продукции [19].

Для проверки характера распределения в статистике существуют следующие методы:

– графические методы: гистограмма частотного распределения, график «квантиль – квантиль» и др.;

– слабые критерии: оценка среднего абсолютного отклонения (CAO-критерий), размах варьирования (R/S-критерий), критерий асимметрии и эксцесса (метод моментов) и др.;

– сильные критерии: критерий Пирсона, критерий Колмогорова – Смирнова, критерий Шапиро – Уилка и др.

Использование критериев Пирсона, Колмогорова – Смирнова, Шапиро – Уилка и других позволяет не только оценить, являются ли расхождения между эмпирическим и теоретическим распределениями значимыми или случайными, но и определить достоверность полученного результата с помощью доверительной вероятности. Эти методы помогают проверить гипотезу о нормальности распределения данных и гарантировать, что применяемые статистические методы соответствуют требованиям анализа.

На момент написания статьи на территории России действует стандарт ГОСТ Р ИСО 5479-2002 [21], введенный в 2002 году и полностью соответствующий международному стандарту ISO 5479:1997 [22]. Этот стандарт определяет методы и критерии, используемые для оценки отклонений распределения вероятностей от нормального при условии независимых наблюдений. В числе таких методов могут быть как графические, так и числовые тесты, включая критерии, основанные на сравнении эмпирического и теоретического распределений, что позволяет определить, насколько данные соответствуют нормальному распределению:

- графический метод: построение нормального вероятностного графика и методы его интерпретации;

- направленные критерии (ориентированные на анализ характеристик асимметрии или эксцесса в распределении вероятностей наблюдаемых данных). Эти критерии позволяют оценить, насколько распределение данных отклоняется от нормального по форме. Асимметрия характеризует степень несимметричности распределения, а эксцесс – его «плоскостность» или «остроту» по сравнению с нормальным распределением;

- многосторонние критерии (критерии Шапиро – Уилка и Эппса – Палли);

- совместный критерий (используется для оценки отклонений от нормального распределения, когда анализ проводится на основе нескольких независимых выборок). Подход эффективен в случаях, когда каждая отдельная выборка слишком мала для обнаружения существенных отклонений от нормальности.

Критерий Эппса – Палли основан на сравнении эмпирической и теоретической характеристических функций и применяется при $8 < n < 200$ согласно стандарту. Этот метод учитывает данные нескольких выборок и оценивает их отклонения от нормальности, что особенно важно при ограниченных объемах данных.

Критерий Шапиро – Уилка основан на анализе линейной комбинации разностей между порядковыми статистиками. Стандарт рекомендует его применение в случаях, когда отсутствует априорная информация

о характере возможных отклонений от нормальности, что делает этот метод универсальным и надежным для проверки гипотезы о нормальном распределении данных [19]. Этот критерий широко представлен в различных статистических программных пакетах. Несмотря на то что ГОСТ Р ИСО 5479-2002 [21] рекомендует использование критерия Шапиро – Уилка для выборок с объемом $8 < n < 50$, современные статистические программы позволяют применять его и для выборок большего объема. Этот критерий является одним из наиболее мощных методов проверки согласия с нормальным распределением [23]. В математической статистике мощность критерия определяется как вероятность корректного отклонения нулевой гипотезы в случае, если справедлива конкурирующая гипотеза. Повышение мощности статистического критерия уменьшает вероятность ошибки второго рода, то есть ситуации, когда неверная нулевая гипотеза принимается несмотря на истинность альтернативной гипотезы.

Высокая мощность критерия указывает на его способность правильно обнаруживать истинные различия или эффекты в данных, что важно для точности и надежности статистических выводов.

В исследовании [19] установлено, что большинство критериев, описанных в стандарте, демонстрируют высокую чувствительность к аномальным наблюдениям. Это обусловлено использованием оценок вторых, третьих и четвертых центральных моментов, которые не обладают робастностью. Таким образом, отклонение от гипотезы о нормальности распределения значений может быть вызвано наличием аномальных данных в выборке. Следовательно, ограничение проверки нормальности только критериями, предложенными в стандарте, не всегда гарантирует корректные выводы о соответствии выборки нормальному распределению. В таких случаях целесообразно применять дополнительные критерии для выявления выбросов в исследуемой выборке, что помогает повысить надежность результатов и уменьшить влияние аномальных данных на статистический анализ.

Для повышения достоверности результатов при проверке гипотезы о характере распределения возможно одновременное использование нескольких статистических критериев. Например, помимо использования критерия Шапиро – Уилка возможно проводить проверку гипотезы с использованием критериев Пирсона и Колмогорова – Смирнова. Все три критерия базируются на разных подходах к проверке гипотез относительно характера распределения. Гипотеза о нормальности распределения не отвергается в случае, если положительный результат проверки получен хотя бы по двум критериям.

Критерий согласия Пирсона (χ^2 , хи-квадрат) используется для решения широкого спектра задач, включая анализ номинальных данных, то есть дан-

ных, выражаемых качественными характеристиками объектов, а не количественными показателями. В качестве статистического показателя критерий Пирсона рассматривает сумму отношений квадратов отклонений между наблюдаемыми эмпирическими и теоретическими частотами к теоретическим частотам для каждого интервала. Применение этого критерия регламентировано нормативным документом Р 50.1.033-2001 [24].

Критерий Колмогорова – Смирнова предназначен для оценки степени расхождения между теоретическим и эмпирическим распределениями. Он измеряет максимальную абсолютную разность между их функциями распределения. Применение этого критерия регламентируется стандартом Р 50.1.037-2002 [25].

Рекомендации по стандартизации [24, 25] регламентируют также другие критерии: статистику типа χ^2 Никулина, критерий Крамера – Мизеса – Смирнова, критерий Андерсона – Дарлинга.

Для реализации данного подхода предложен следующий алгоритм:

1. Формирование массива данных результатов испытаний для оценки уровня качества проката при долговременном контроле.

2. Проверка сформированного массива на наличие аномальных значений (выбросов). Для этого могут быть использованы следующие методы: правило трех сигм, критерии Райта, Романовского, Шарлье, Рошера, Граббса, тест Роснера, коробчатая диаграмма или другие методы, выбранные в зависимости от объема сформированного массива.

3. После исключения выбросов проводится проверка гипотезы о характере распределения. Для проверки используются три критерия, характер распределения признается нормальным, если гипотеза о нормальности распределения не отвергается хотя бы по двум критериям.

4. Построение графиков (гистограмма частотного распределения и график «квантиль – квантиль») для визуализации распределения оцениваемого параметра.

5. Расчет статистических показателей массива данных, характеризующих центр, разброс и форму распределения: среднее арифметическое, минимум, максимум, размах, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

6. Если гипотеза о нормальном распределении данных не отвергается, то оценка уровня качества проката при долговременном контроле выполняется в соответствии с требованиями [14, п. 8.14.4]. Однако, если гипотеза о нормальности распределения отклоняется, результаты такой оценки уровня качества проката при долговременном контроле теряют достоверность. Это связано с тем, что использование статистических методов, предполагающих нормальность распределения, в случае ее отсутствия может привести к неверным выводам и недостоверным оценкам качества продукции.

Методика является универсальной и по ней можно проводить оценку качества прежде всего других видов арматуры: проволоки арматурной высокопрочной и канатов арматурных. Ее можно использовать для других видов металлургической и не только продукции.

Для практической реализации предлагаемого подхода разработан программный продукт.

Демонстрация предложенного подхода была проведена на примере обработки массива результатов испытаний арматурного проката А600, изготовленного в соответствии с ГОСТ 34028-2016 [14]. На первом этапе была проведена проверка по критерию Шарлье на наличие выбросов в данных выборках с уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Все обнаруженные выбросы были исключены из дальнейшего анализа. В табл. 1 представлены исходные объемы массивов, а также количество найденных и исключенных из дальнейшей обработки выбросов.

Для определения центра распределения, разброса значений и смещения распределения была проведена статистическая обработка полученных выборок, результаты которой представлены в табл. 2.

Таблица 1
Table 1

Исходные объемы массивов и количество найденных и исключенных выбросов
The initial volumes of arrays and the number of detected and excluded outliers

Показатель качества	Объем исходной выборки	Количество исключенных значений
Предел текучести	93	0
Временное сопротивление	93	1
Отношение σ_b/σ_t	93	2
Относительное удлинение, δ_{max}	93	2
Относительное удлинение, δ_5	85	0

Таблица 2
Table 2

Результаты статистической обработки
Statistical processing results

	Предел текучести, σ_t , МПа	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_s
Минимум	630	739	1,139	6,1	19,4
Максимум	680	780	1,178	12,2	27,9
Размах	50	41	0,039	6,1	8,5
Среднее значение	656,32	758,68	1,16	8,95	23,85
Дисперсия	123,03	115,08	0,0001	1,41	3,71
Стандартное отклонение	11,09	10,73	0,01	1,19	1,93
Коэффициент вариации	1,69 %	1,41 %	0,69 %	13,30 %	8,08 %
Коэффициент асимметрии	0,12	0,04	0,29	0,25	-0,15
Коэффициент эксцесса	-0,80	-1,06	0,08	-0,10	-0,63

Для большинства анализируемых распределений характерна положительная асимметрия, отрицательный эксцесс и высокая однородность, определяемая коэффициентом вариации.

Гистограммы частотных распределений и графики «квантиль – квантиль» для результатов испытаний представлены на рис. 1 и 2 соответственно. Для

определения количества интервалов группировки при построении гистограмм было использовано правило Стерджесса.

Результаты проверки гипотезы о нормальности распределения по критериям Шапиро – Уилка, Пирсона и Колмогорова – Смирнова представлены в табл. 3–5.

Таблица 3
Table 3

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Шапиро – Уилка
The results of the assessment of the normality of the distribution according to the Shapiro–Wilk criterion

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_s
W	0,975	0,961	0,987	0,992	0,988
p-value	0,067	0,008	0,504	0,833	0,591
alpha	0,05				
Результат оценки	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 4
Table 4

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Пирсона
The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Pearson criterion

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_s
χ^2	8,950	15,684	3,980	3,051	3,757
$\chi^2_{кр}$	9,488				
alpha	0,05				
Результат оценки	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

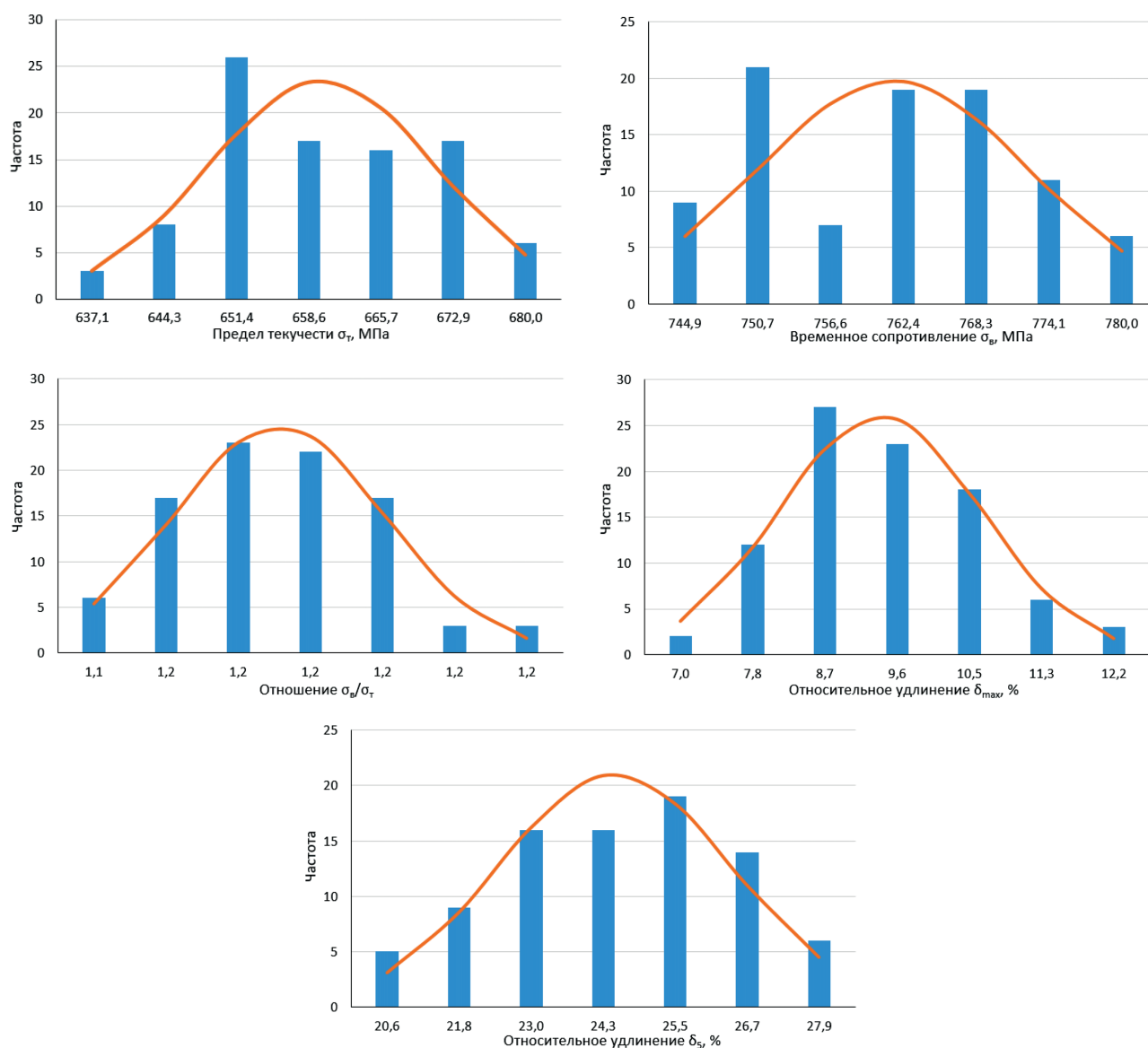


Рис. 1. Гистограммы частотных распределений результатов испытаний арматурного проката
Fig. 1. Histograms of frequency distributions of test results for rolled rebar products

Таблица 5
Table 5

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Колмогорова – Смирнова
The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Kolmogorov–Smirnov criterion

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_s
λ	0,523	0,873	0,268	0,241	0,210
$\lambda_{кр}$	1,347				
alpha	0,05				
Результат оценки	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

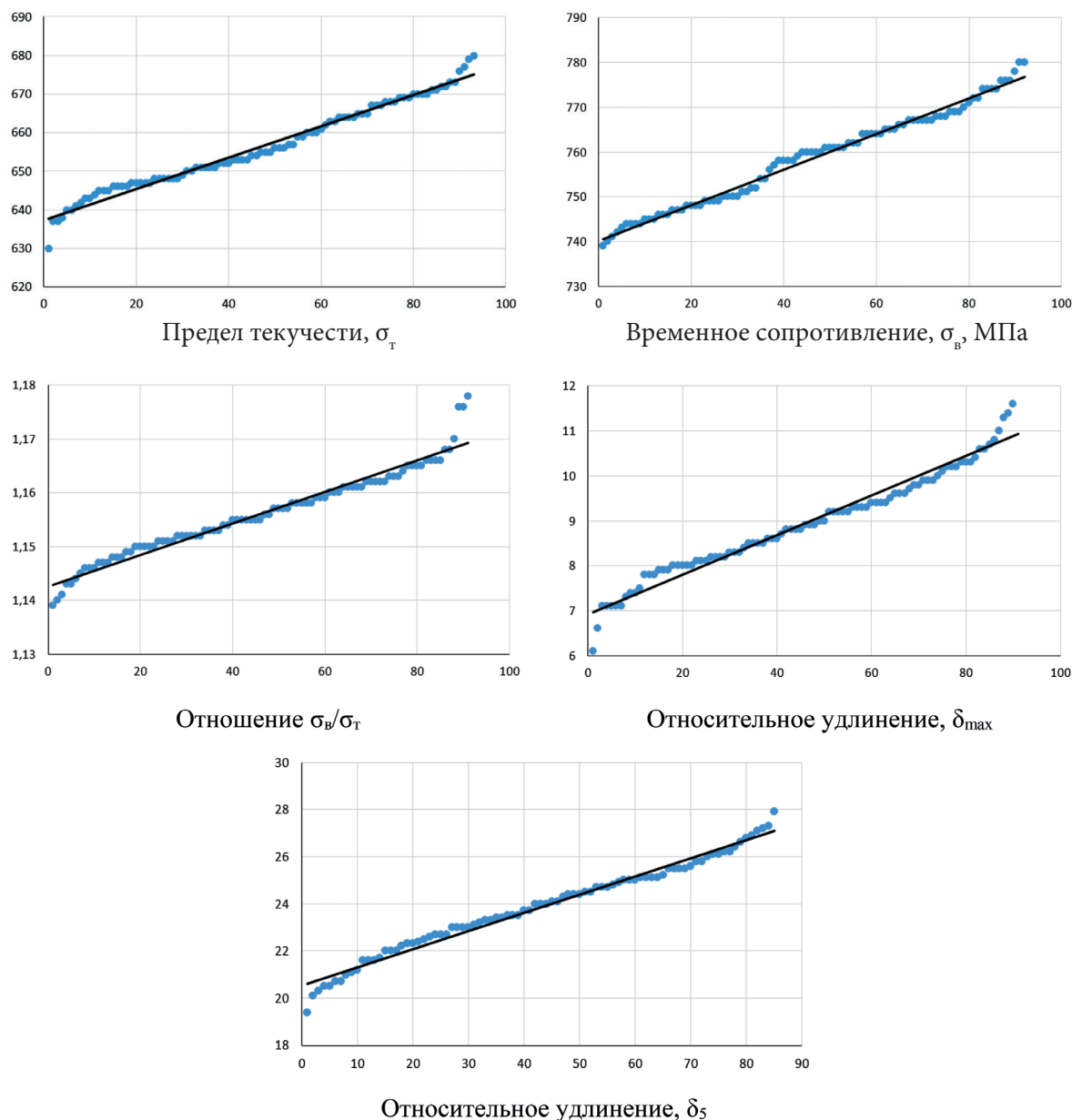


Рис. 2. Графики «квантиль – квантиль» для результатов испытаний арматурного проката
Fig. 2. Quantile-quantile graphs for the test results of rolled rebar products

Гипотеза о нормальном характере распределения принималась в случае, если нулевая гипотеза

не отвергалась по результатам проверки хотя бы по двум критериям (табл. 6).

Таблица 6
Table 6

Принимаемые гипотезы о характере распределения
Accepted hypotheses about the nature of the distribution

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_B/σ_T	Относительное удлинение, $\delta_{\max}$	Относительное удлинение, δ_5
Результат оценки по критерию Шапиро – Уилка	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Результат оценки по критерию Пирсона	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Продолжение таблицы 6

	Предел текучести	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_5
Результат оценки по критерию Колмогорова – Смирнова	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Принимаемая гипотеза о характере распределения	Соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле представлены в табл. 7.

Для всех оцениваемых параметров $X_{cp} - ks$ больше, чем C_{min} , что соответствует требованиям ГОСТ 34028-2016 [14]. Поскольку результаты испытаний на временное сопротивление не подчиняются нормальному закону распределения, то результаты оценки уровня качества при долговременном контроле для этого показателя не могут считаться достоверными.

Для демонстрации воздействия выбросов на характер распределения и результаты проверки гипотезы о нормальности распределения была выполнена аналогичная оценка исходных данных без исключения выбросов. Этот анализ показал, как наличие выбросов может искажать результаты проверки нормальности и, соответственно, влиять на корректность оценки качества продукции.

Обработка проводилась только для параметров, для которых ранее в массивах были обнаружены выбросы: временное сопротивление, отношение временного сопротивления к пределу текучести и относительное удлинение δ_{max} . Результаты статистической обработки исходных выборок, включающих выбросы, представлены в табл. 8.

Таблица 7
Table 7

Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле
The results of the assessment of the quality level of rolled rebar products under long-term control

	Предел текучести, σ_t , МПа	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}	Относительное удлинение, δ_5
$X_{cp} - ks$	640,02	738,28	1,14	7,20	21,02
C_{min}	600	700	1,05	5	14

Таблица 8
Table 8

Результаты статистической обработки
Statistical processing results

	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, δ_{max}
Минимум	739	1,12	6,1
Максимум	790	1,18	13,2
Размах	51	0,06	7,1
Среднее значение	759,02	1,16	9,03
Дисперсия	124,37	0,0001	1,70
Стандартное отклонение	11,15	0,01	1,31
Коэффициент вариации	1,47 %	0,79 %	14,46 %
Коэффициент асимметрии	0,18	-0,26	0,58
Коэффициент эксцесса	-0,68	2,15	0,62

Наличие выбросов в выборках привело к смещению средних оценок, росту значения коэффициента вариации и значительному изменению коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Гистограммы частотных распределений и графики «квантиль – квантиль» для результатов ис-

пытаний представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

Результаты проверки гипотезы о нормальности распределения по критериям Шапиро – Уилка, Пирсона и Колмогорова – Смирнова представлены в табл. 9–11.

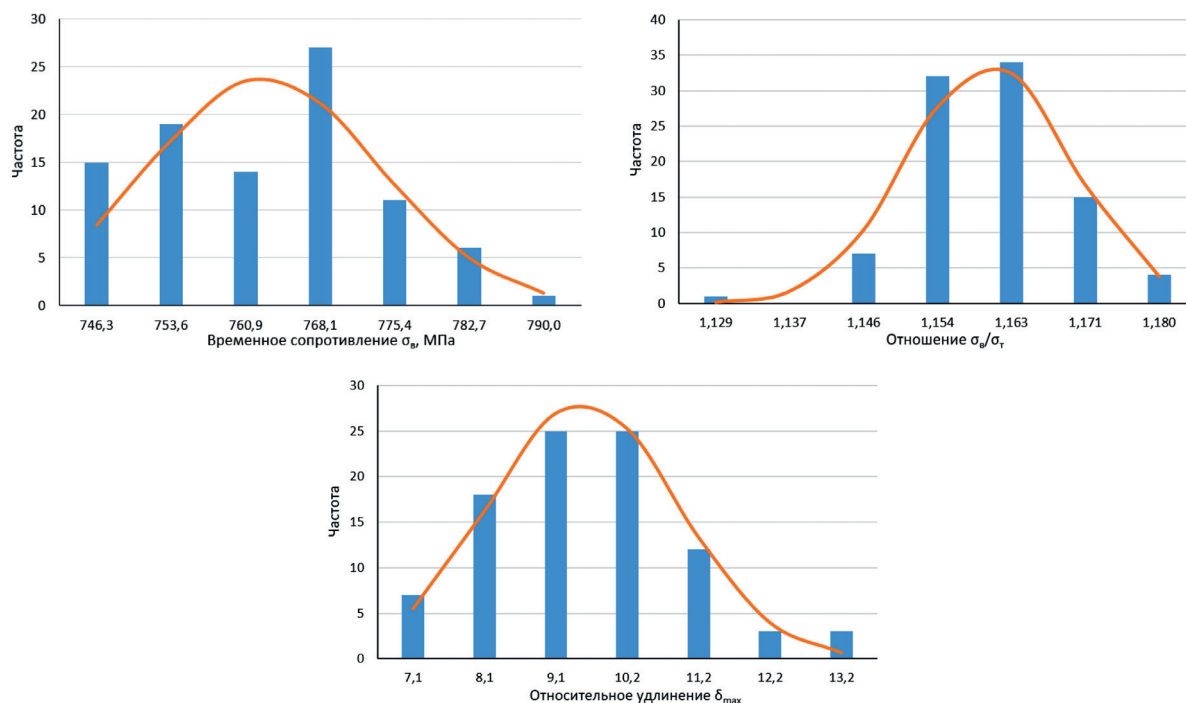


Рис. 3. Гистограммы частотных распределений результатов испытаний арматурного проката
Fig. 3. Histograms of frequency distributions of test results for rolled rebar products

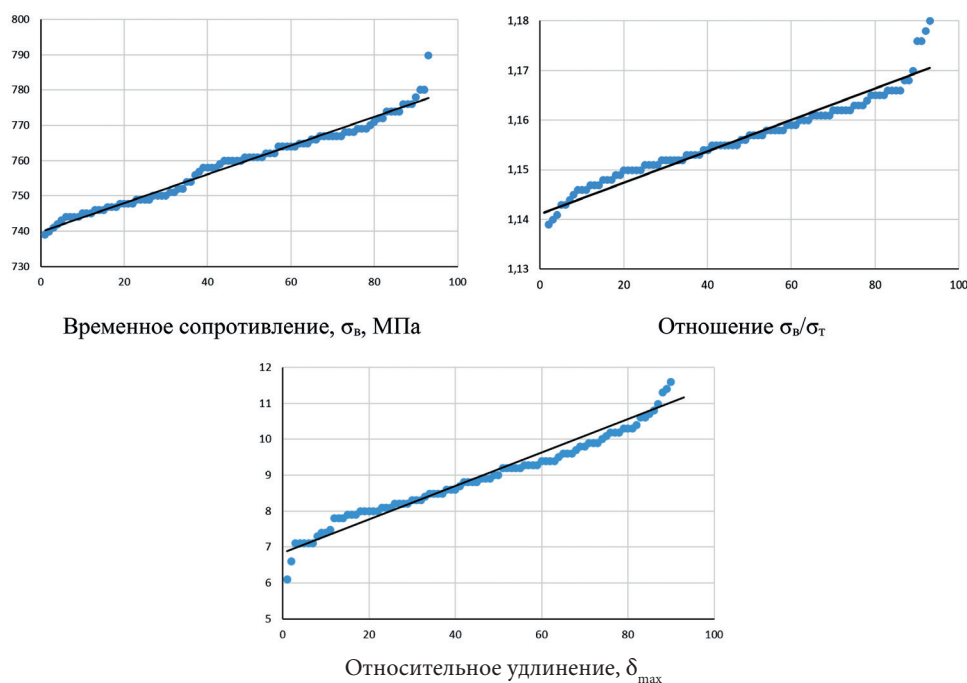


Рис. 4. Графики «квантиль – квантиль» для результатов испытаний арматурного проката
Fig. 4. Quantile-quantile graphs for the test results of rolled rebar products

Таблица 9

Table 9

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Шапиро – Уилка
The results of the assessment of the normality of the distribution according to the Shapiro–Wilk criterion

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, $\delta_{\max}$
W	0,968	0,969	0,978
p-value	0,023	0,026	0,121
alpha	0,05		
Результат оценки	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 10

Table 10

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Пирсона
The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Pearson criterion

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, $\delta_{\max}$
χ^2	11,263	10,257	9,460
$\chi^2_{кр}$	9,488		
alpha	0,05		
Результат оценки	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 11

Table 11

Результаты оценки нормальности распределения по критерию Колмогорова – Смирнова
The results of the evaluation of the normality of the distribution according to the Kolmogorov–Smirnov criterion

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_t	Относительное удлинение, $\delta_{\max}$
λ	0,603	0,303	0,244
$\lambda_{кр}$	1,347		
alpha	0,05		
Результат оценки	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Как и в предыдущем примере, гипотеза о нормальном характере распределения принималась в случае, если нулевая гипотеза не отвергалась по результатам проверки хотя бы по двум критериям (табл. 12).

Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле представлены в табл. 13.

Проведенный анализ показал, что по сравнению с массивами данных без выбросов в анализируемых массивах изменился характер частотного распределения (рис. 3) и распределения эмпирических значений на графике «квантиль – квантиль» (рис. 4).

Наличие неисключенных выбросов в выборке привело к тому, что характер распределения показателя отношения временного сопротивления к пределу текучести невозможно признать нормальным, как следствие, невозможно признать корректными результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле для данного показателя. Однако для показателя относительного удлинения $\delta_{\max}$ наличие выбросов привело к незначительным изменениям, а характер распределения для данного показателя можно признать нормальным. Для высокой надежности результатов рекомен-

Таблица 12

Table 12

**Принимаемые гипотезы о характере распределения
Accepted hypotheses about the nature of the distribution**

	Временное сопротивление	Отношение σ_b/σ_T	Относительное удлинение, δ_{max}
Результат оценки по критерию Шапиро – Уилка	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Результат оценки по критерию Пирсона	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Результат оценки по критерию Колмогорова – Смирнова	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному	Соответствует нормальному
Принимаемая гипотеза о характере распределения	Не соответствует нормальному	Не соответствует нормальному	Соответствует нормальному

Таблица 13

Table 13

**Результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле
The results of the assessment of the quality level of rebar products under long-term control**

	Временное сопротивление, σ_b , МПа	Отношение σ_b/σ_T	Относительное удлинение, δ_{max}
$X_{cp} - ks$	742,63	1,14	7,11
C_{min}	700	1,05	5

дуются проводить выборочный контроль качества постоянно. Использование специализированных программных комплексов позволяет значительно упростить и автоматизировать предложенную методику выборочного контроля.

Выводы

1. Наличие выбросов в выборке меняет характер частотного распределения и распределение эмпирических значений.

2. Для показателя отношения временного сопротивления к пределу текучести выбросы привели к тому, что распределение нельзя признать нормальным, что делает результаты оценки уровня качества арматурного проката при долговременном контроле недостоверными.

3. Для показателя относительного удлинения δ_{max} влияние выбросов в рассмотренных примерах оказалось незначительным, характер распределения для этого показателя можно признать нормальным.

4. Для повышения надежности результатов рекомендуется проводить выборочный контроль качества на постоянной основе.

5. Применение специализированных программных комплексов позволяет упростить и автоматизировать процесс выборочного контроля, что повышает его эффективность и точность.

Список литературы

1. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. Москва: Воентехлит, 2000. 256 с.
2. Полякова М.А., Харитонов В.А., Снимщиков С.В., Петров И.М., Харитонов В.А. Прокат арматурный: сортамент, стандартизация, технология. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2022. 288 с.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Москва: Стандартинформ, 2019.
4. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2019.
5. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81*. Москва: Стандартинформ, 2018.
6. Дорохин П.С., Харитонов В.А. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен // *Стройметалл*. 2012. № 3. С. 14–23.
7. Снимщиков С.В., Харитонов В.А., Суриков И.Н., Аникеев В.В. Взгляд в будущее // *Стройметалл*. 2013. № 5. С. 7–13.
8. Харитонов В.А., Петров И.М. Оценка и направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали // *Вестник Магнитогорского*

- го государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 4. С. 65–69.
9. Коршунов Д.А. Аспекты надежности армирования // *Бетон и железобетон*. 2004. № 1. С. 27–31.
 10. Беленький Д.М., Вернези Н.Л., Косенко Е.Е. О прочностных возможностях арматурной стали // *Бетон и железобетон*. 2004. № 3. С. 17–21.
 11. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
 12. Харитонов В.А. Анализ уровня качества арматурного проката класса В500С на основе методов математической статистики // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2013. № 8. С. 48–59.
 13. Михеева Е.Н., Сероштан М.В. Управление качеством. Москва: Дашков и К, 2012. 532 с.
 14. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2019.
 15. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
 16. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2006.
 17. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва: Высшая школа, 2003. 479 с.
 18. Румянцев М.И., Левандовский С.А., Ручинская Н.А., Черкисов К.Е., Логинов А.В. Статистические методы обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством проката. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2015. 259 с.
 19. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б. Сравнительный анализ критериев проверки отклонения распределения от нормального закона // *Метрология*. 2005. № 2. С. 2–23.
 20. Лемешко Б.Ю., Рогожников А.П. О нормальности погрешностей измерений в классических экспериментах и мощности критериев, применяемых для проверки отклонения от нормального закона // *Метрология*. 2012. № 5. С. 3–26.
 21. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.
 22. ISO 5479:1997. Statistical interpretation of data – Tests for departure from the normal distribution.
 23. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Москва: Физматлит, 2006. 816 с.
 24. Р 50.1.033-2001. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть 1. Критерии типа хи-квадрат. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.
 25. Р 50.1.037-2002. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002.

References

1. Madatyan S.A. Reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow: Publishing house of military-technical literature, 2000, 256 p. (In Russian).
2. Polyakova M.A., Kharitonov V.A., Snimshchikov S.V., Petrov I.M., Kharitonov V.A. Rolled rebar products: assortment, standardization, technology. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2022, 288 p. (In Russian).
3. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
4. SP 430.1325800.2018. Monolithic structural systems. Design rules. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
5. SP 14.13330.2018. Seismic building design code. Updated version of SNiP 11-7-81*. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
6. Dorokhin P.S., Kharitonov V.A. Progress in the consumption structure of rolled rebar products with a diameter of up to 18 mm is inevitable. *Stroy metal*. 2012, no. 3, pp. 14–23. (In Russian).
7. Snimshchikov S.V., Kharitonov V.A., Surikov I.N., Anikeev V.V. A look into the future. *Stroy metal*. 2013, no. 5, pp. 7–13. (In Russian).
8. Kharitonov V.A., Petrov I.M. Assessment and ways for competitiveness increasing of coil reinforcing steel. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2013, no. 4, pp. 65–69. (In Russian).
9. Korshunov D.A. Aspects of reinforcement reliability. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2004, no. 1, pp. 27–31. (In Russian).
10. Belenky D.M., Vernesi N.L., Kosenko E.E. On the strength capabilities of reinforcing steel. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2004, no. 3, pp. 17–21. (In Russian).
11. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
12. Kharitonov V.A. Analysis of the quality level of rolled rebar products of class B500C based on mathematical statistics methods. *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*. 2013, no. 8, pp. 48–59. (In Russian).
13. Mikheeva E.N., Seroshtan M.V. Quality management. Moscow: Dashkov and Co., 2012, 532 p. (In Russian).
14. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
15. State Standard R 52544-2006. Weldable deformed reinforcing rolled products of A500C and B500C

- classes for reinforcement of concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
16. State Standard 5781-82. Hot-rolled steel for reinforcement of ferroconcrete structures. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2006. (In Russian).
 17. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. Moscow: Higher school, 2003, 479 p. (In Russian).
 18. Rumyantsev M.I., Levandovsky S.A., Ruchinskaya N.A., Cherkasov K.E., Loginov A.V. Statistical methods of processing and analyzing of the numerical information, quality control and management of rolled products. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2015, 259 p. (In Russian).
 19. Lemeshko B.Yu., Lemeshko S.B. Comparative analysis of the criteria for checking the deviation of the distribution from the normal law. *Metrologiya*. 2005, no. 2, pp. 2–23. (In Russian).
 20. Lemeshko B.Yu., Rogozhnikov A.P. On normality of errors in measurements in classical experiments and power of tests for deviation from the normal law. *Metrologiya*. 2012, no. 5, pp. 3–26. (In Russian).
 21. State Standard R ISO 5479-2002. Statistical methods. Tests for departure of the probability distribution from the normal distribution. Moscow: Publishing house of standards, 2002. (In Russian).
 22. ISO 5479:1997. Statistical interpretation of data – Tests for departure from the normal distribution.
 23. Kobzar A.I. Applied mathematical statistics. Moscow: Physical and mathematical literature publishing house, 2006, 816 p. (In Russian).
 24. R 50.1.033-2001. Applied statistics. Rules of check of experimental and theoretical distribution of the consent. Part I. Goodness-of-fit tests of a type chi-square. Moscow: Publishing house of standards, 2002. (In Russian).
 25. R 50.1.037-2002. Applied statistics. Rules of check of experimental and theoretical distribution of the consent. Part II. Nonparametric goodness-of-fit test. Moscow: Publishing house of standards, 2002. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Вениамин Александрович Харитонов, канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск
e-mail: hva-46@yandex.ru
тел.: +7 (351) 929-84-81

Veniamin A. Kharitonov, Cand. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Materials Processing Technologies, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk
e-mail: hva-46@yandex.ru
tel.: +7 (351) 929-84-81

Игорь Михайлович Петров, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и стандартизации, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, филиал в г. Белорецке
e-mail: atrox.88@mail.ru
тел.: +7 (349) 724-00-59

Igor M. Petrov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Metallurgy and Standardization, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, branch in Beloretsk
e-mail: atrox.88@mail.ru
tel.: +7 (349) 724-00-59

Сергей Валентинович Снимщиков, канд. техн. наук, проректор по Э и ДПО, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва
e-mail: s.snimshikov@mstuca.ru
тел.: +7 (499) 459-04-90

Sergey V. Snimshchikov, Cand. Sci. (Engineering), Vice-rector for E and APE, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow
e-mail: s.snimshikov@mstuca.ru
tel.: +7 (499) 459-04-90

Михаил Юрьевич Усанов, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой металлургии и стандартизации, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, филиал в г. Белорецке
e-mail: barracuda_m@mail.ru
тел.: +7 (349) 724-00-59

Mikhail Yu. Usanov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Standardization, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, branch in Beloretsk
e-mail: barracuda_m@mail.ru
tel.: +7 (349) 724-00-59

Иван Петрович Саврасов✉, канд. техн. наук, помощник проректора, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва
e-mail: i.savrasov@mstuca.ru
тел.: +7 (499) 452-47-60

Ivan P. Savrasov✉, Cand. Sci. (Engineering), Assistant to the Vice-rector, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow
e-mail: i.savrasov@mstuca.ru
tel.: +7 (499) 452-47-60

Дмитрий Олегович Демин, преподаватель, Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ, Москва
e-mail: ddemin@hse.ru

Dmitry O. Demin, Lecturer, Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, National Research University "Higher School of Economics", Moscow
e-mail: ddemin@hse.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author