

Управление процессами перевозок/ Transportation Processes Management

Научная статья

УДК 65-656.222.6:519.872.8

<https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-2-94>

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ВАГОНПОТОКАХ. ЧАСТЬ II

*Анна Константиновна Мозалевская,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
Иркутск, Россия*

*Екатерина Викторовна Маловецкая,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
Иркутск, Россия*

Роман Сергеевич Большаков,
Иркутский государственный университет путей сообщения,
Иркутск, Россия*

Аннотация. Во второй части статьи рассматривается оценка функции распределения суммарных объёмов погрузки и выгрузки, не прошедших проверку на соответствие закону нормального распределения (отклонение нулевой гипотезы). Для обработки статистических данных о поступающем вагонпотоке и формирования прогнозных моделей в качестве основного инструмента использованы временные ряды. В работе проведен анализ массива данных поступающего вагонпотока с целью выявления закона распределения для дальнейшего корректного построения прогнозных моделей.

Для учета тенденций, наблюдаемых в данных, предлагается модель смешанного распределения для вагонпотоков, следующих по Восточному полигону назначением на морские порты Дальнего Востока. В частности, гамма-нормальное распределение, представляющее собой релевантную модель смешанного распределения. Исследование еще больше улучшает процесс анализа статистических данных, вводя использование A-D-теста в дополнение к более традиционному K-S-тесту. В дальнейшем, при построении прогнозных моделей колебаний вагонпотоков с использованием ARIMA- или GARCH-моделей, верно установленный вид распределения позволит точно описать ошибки модели. Сформулирован ряд рекомендаций, расширяющих возможность применения параметрической статистики в процессе анализа массивов данных изменения грузопотоков на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: выгрузка; прогнозирование грузопотоков; закон распределения; параметрические критерии; непараметрические критерии; критерии нормальности.

Для цитирования:

Мозалевская, А. К. Анализ распределения статистических данных о вагонпотоках. Часть II / А. К. Мозалевская, Е. В. Маловецкая, Р. С. Большаков // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2026. – Том 13. – №02. – С. 94-110. – <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-2-94>

Вклад авторов в работу: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

* Ответственный автор за связь с редакцией

Original research article

**ANALYSIS OF STATISTICAL DATA DISTRIBUTION ABOUT
WAGON FLOWS. PART II**

*Anna K. Mozalevskaya,
Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russia*

*Ekaterina V. Malovetskaya,
Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russia*

Roman S. Bolshakov,
Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russia*

Abstract. The second part of the article examines the estimation of the distribution function of the total volumes of loading and unloading that did not pass the test for normal distribution (rejection of the null hypothesis). Time series are used as the main tool for processing statical data on incoming car traffic and forming predictive models. The dataset of incoming wagon flows data is being evaluated in order to identify the distribution law for further correct construction of predictive models.

In order to take into account, the trends observed in the data, a mixed distribution model is proposed for wagon flows following the Eastern railway polygon destination to the seaports of the Far East. In particular, the gamma-normal distribution, which is a favorable mixed distribution model. The study further improves the statistical data analysis process by introducing the use of the A-D-test in addition to the more traditional K-S-test. In the future, when building predictive models of carriage fluctuations using ARIMA- or GARCH-models, a correctly determined distribution type will accurately describe the model errors. A number of recommendations have been formulated that expand the possibility of using parametric statistics in the process of analyzing data sets on changes in freight flows in railway transport.

Keywords: unloading; freight flows forecasting; distribution law; parametric test; nonparametric test; normality tests.

To cite this article:

Mozalevskaya, A. K., Malovetskaya, E. V., Bolshakov R. S. (2026). Analysis of statistical data distribution about wagon flows. Part II. *Crede Experto: transport, society, education, language*, vol. 13, no. 2, pp. 94-110 DOI: <https://doi.org/10.51955/2312-1327-2026-2-94> (in Russ.).

Author Contributions: Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Conflict of Interest: the authors declare no conflict of interest.

Введение (Introduction)

Эффективность работы холдинга ОАО «РЖД» определяется не только техническими характеристиками инфраструктуры, но и её состоянием и развитием, включая станции, терминалы, подъездные пути и прочие объекты инфраструктуры [Задачи и перспективы..., 2023; Лapidус, 2023; Кабанов и др., 2022; Стратегия развития..., 2008].

* Corresponding author

Железнодорожные станции и терминалы играют ключевую роль в системе организации грузоперевозок, обеспечивая возможность складирования, обработки, а также перевалки массовых грузов. Наличие хорошо развитых, современных складских помещений позволяет эффективно управлять запасами и минимизировать время простоя вагонов, качественная обработка грузов критически важна для соблюдения графиков движения поездов, а возможность осуществления перевалки грузов между различными видами транспорта (например, железнодорожным и автомобильным) повышает гибкость логистических цепочек [Бычков и др., 2023].

Эффективная реализация транзитного потенциала страны, особенно в контексте железнодорожного транспорта, включает в себя ряд ключевых аспектов, которые способствуют созданию конкурентоспособной и интегрированной транспортной системы. Одним из таких аспектов является внедрение современных технологий, базирующихся на использовании аналитики больших данных для оптимизации логистических цепочек и прогнозирования спроса [Маловецкая и др., 2023; Маловецкая и др., 2022; Мозалевская и др., 2025]. Анализ данных о перевозках и спросе позволяет находить наиболее эффективные маршруты и методы обработки. Прогнозирование позволяет своевременно выявлять колебания объемов перевозок и адаптировать под них предложение транспортных услуг.

Обязательным элементом анализа данных при исследовании грузооборота железнодорожного транспорта является оценка закона распределения [Мамаев и др., 2016; Malovetskaya et al., 2024].

Во второй части статьи представлены исследования, направленные на определение закона распределения рассматриваемого массива данных, содержащего информацию об изменении железнодорожных вагонопотоков.

В представленной статье рассматривается проблема важности этапа оценки вида распределения данных вагонопотоков железнодорожного транспорта. Целью исследования является определение закона распределения данных о погрузке и выгрузке вагонов по стыковым пунктам железных дорог. В качестве объекта исследования выбраны данные о погрузке и выгрузке по стыковым пунктам железных дорог. Предметом исследования является закон распределения исследуемых данных показателя «Погрузка» по стыковому

пункту Архара Дальневосточной железной дороги за период 5 лет (2018-2022 гг.).¹

Материалы и методы (Materials and Methods)

Основная цель привлечения математических методов в данном исследовании заключается в возможности получения эмпирических данных о пространственно-временной структуре и стохастической динамике вагонопотоков, погрузке и выгрузке вагонов, транспортной системы на примере железнодорожного транспорта [Гольц, 1982; Горелик, 1982; Правдин и др.,

¹ Нумерация формул, таблиц и рисунков является продолжением материала первой части.

1980a]. С практической точки зрения ясно, что информация может быть получена при непосредственном изучении вагонопотоков (погрузки и выгрузки), проходящих по стыковым пунктам железных дорог, и анализе характера их распределения. Очевидно, что рассмотрение общих закономерностей, обуславливающих ориентировку вагонопотоков, и характера их взаимоотношений, образующих систему, несет дополнительные сведения. Эти сведения могут послужить отправным пунктом в расшифровке процессов поездообразования и прогнозирования вагонопотоков. Эти классические подходы заложили существующую теоретическую базу анализа транспортных процессов, которая сегодня реализуется через алгоритмы машинного обучения и пакеты статистического анализа.

Вместе с тем, в зависимости от конкретной задачи и имеющихся данных, а также контекста проводимых исследований в транспортной прогнозной статистике используют разные методы анализа, эффективность которых варьируется. Однако некоторые методы зарекомендовали себя как наиболее эффективные в определенных условиях¹. Один из таких методов – анализ временных рядов.

Этот статистический метод используется для анализа данных, собранных в последовательные моменты времени. Он позволяет выявлять тренды, сезонные колебания и циклы, а также осуществлять прогнозирование на основе исторических данных.

Анализ временных рядов – мощный инструмент для понимания и прогнозирования данных, изменяющихся во времени. Однако данный метод требует тщательной предварительной подготовки данных, выбора подходящих моделей и постоянного мониторинга с целью обеспечения точности и надежности прогнозов.

Определение принадлежности соответствия эмпирических данных теоретическому закону распределения является важным этапом в статистическом анализе [Правдин и др., 1980б; Угрюмов, 1968]. Правильное определение закона распределения помогает выбрать подходящую статистическую модель для анализа данных. Разные модели имеют разные предположения и свойства, и неверный выбор может привести к искаженным результатам. При построении моделей для прогнозирования (например, регрессионных моделей) важно знать, как распределены ошибки [Malovetskaya et al., 2024]. Если ошибки имеют нормальное распределение, это позволяет использовать стандартные методы оценки и интерпретации модели. Правильно установленный вид распределения помогает выявить выбросы или аномалии в данных. Если представленные данные соответствуют определенному виду распределения, можно использовать свойства распределения для оценки значений выбросов. Определение принадлежности распределения опытных данных соответствующему закону распределения является важным для обеспечения корректности и надежности

¹ Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для студентов вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 551 с.

статистического анализа. Это позволяет сделать обоснованные выводы, выбрать подходящие методы и модели, а также правильно интерпретировать результаты. Сложность при определении закона распределения добавляет наличие колебаний вагонопотоков в течение различных отрезков времени.

Проблема неравномерности поступающего вагонопотока оказывает существенное влияние на величину логистических и транспортных расходов.

В большинстве случаев при описании эксплуатационных процессов на железнодорожном транспорте модель изменения вагонопотока в течение времени строят исходя из предположений о нормальности распределения случайной величины [Ghosh, 2020]. Однако в ряде случаев это неверно. Чтобы показать корректность таких предположений, в статье приведены результаты исследований [Razali et al., 2011].

Метод, принятый для анализа влияния неоднородности на распределение прохождения грузов через стыковые пункты, предполагает определение как самого распределения, так и уни- или бимодальности с последующим его моделированием, чтобы определить степень влияния неоднородности на транспортные расходы. Для непосредственных расчетов и визуализации результатов исследований использовались программные комплексы «Microsoft Excel» и «Statistica». В первой части статьи использовался аппарат, характерный для математической статистики.

Результаты исследований (Results)

Графический анализ по показателям «погрузка» и «выгрузка» всех железных дорог Восточного полигона представлен на рисунках 6, 7.

Исходя из анализа результатов исследований, изложенных в первой части статьи, можно сделать выводы, что для рядов опытных данных по виду работ «погрузка» и «выгрузка» не для всех стыковых пунктов соответствуют нормальному закону распределения по критерию Колмогорова и по критерию χ^2 Пирсона (рис. 7).

Гистограммы, представленные на рисунках 6, 7, наглядно иллюстрируют результаты исследований первой части статьи о подтверждении нулевой гипотезы в 87,5% и унимодальности распределения данных о вагонопотоках. В оставшихся 12,5% случаев принимается альтернативная гипотеза, предполагающая наличие у распределения более одного экстремума.

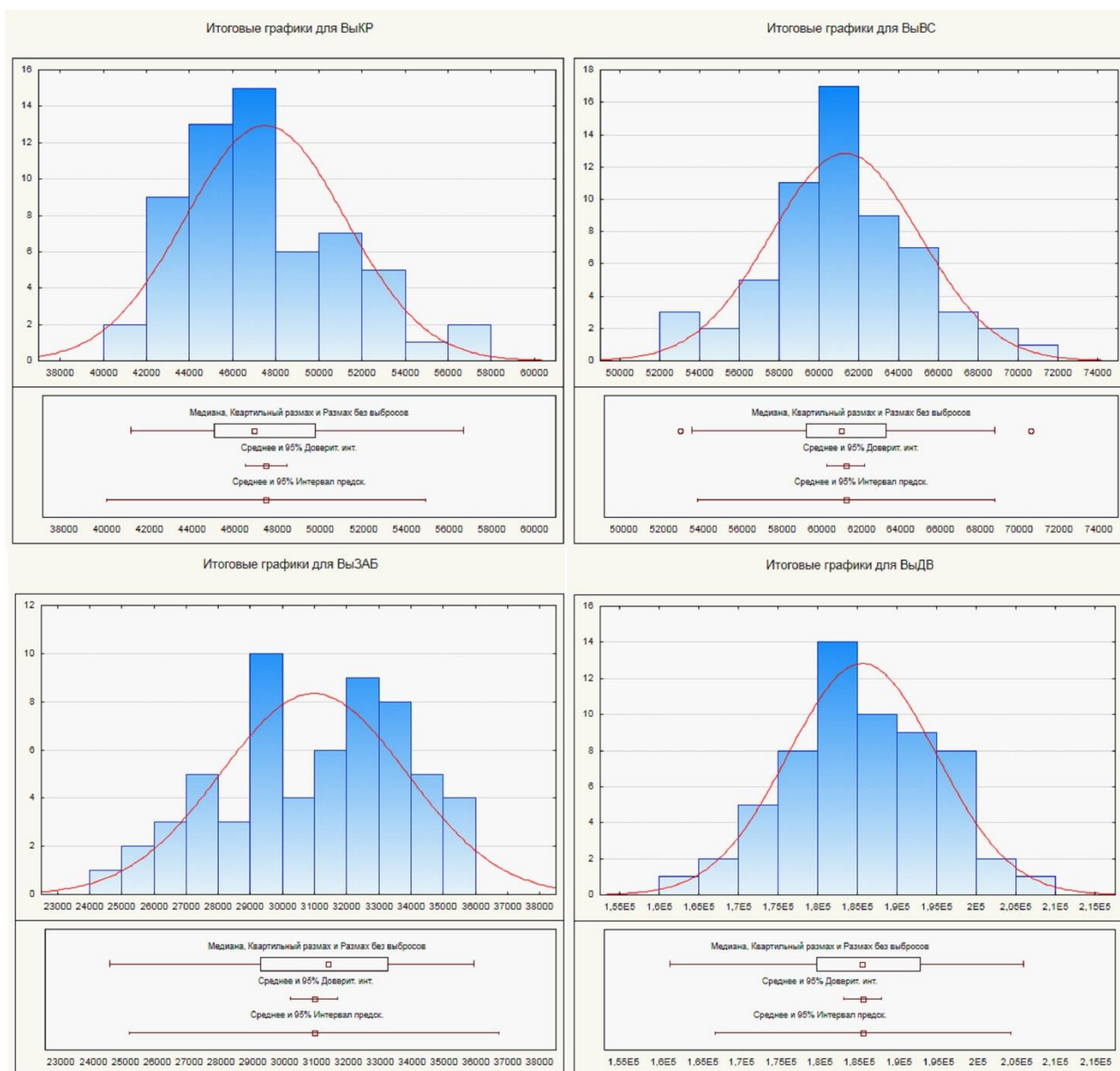


Рисунок 6 – Гистограмма и «диаграмма размаха (box plot)» параметров «Выгрузка» вагонов на стыковых пунктах Восточного полигона [Отчетность..., б.г.]

Figure 6 – Histogram and box plot of the parameters “Unloading” of wagons at the junction points of the Eastern polygon [Company reporting..., n.d.]

Приведенные выше результаты указывают на то, что наблюдается неоднородность только по некоторым стыковым пунктам, однако игнорировать ее не рекомендуется. После проведенного анализа, представленного в первой части статьи, следует, что характер изменения ретроспективных значений опытных данных показателя «Погрузка» стыкового пункта Дальневосточной железной дороги (на рис. 7 «ПоДВ») (показатель описывает вагонопоток, сдаваемый по морским портам) не подходит под нормальный закон распределения и требует более тщательного анализа, представленного ниже.

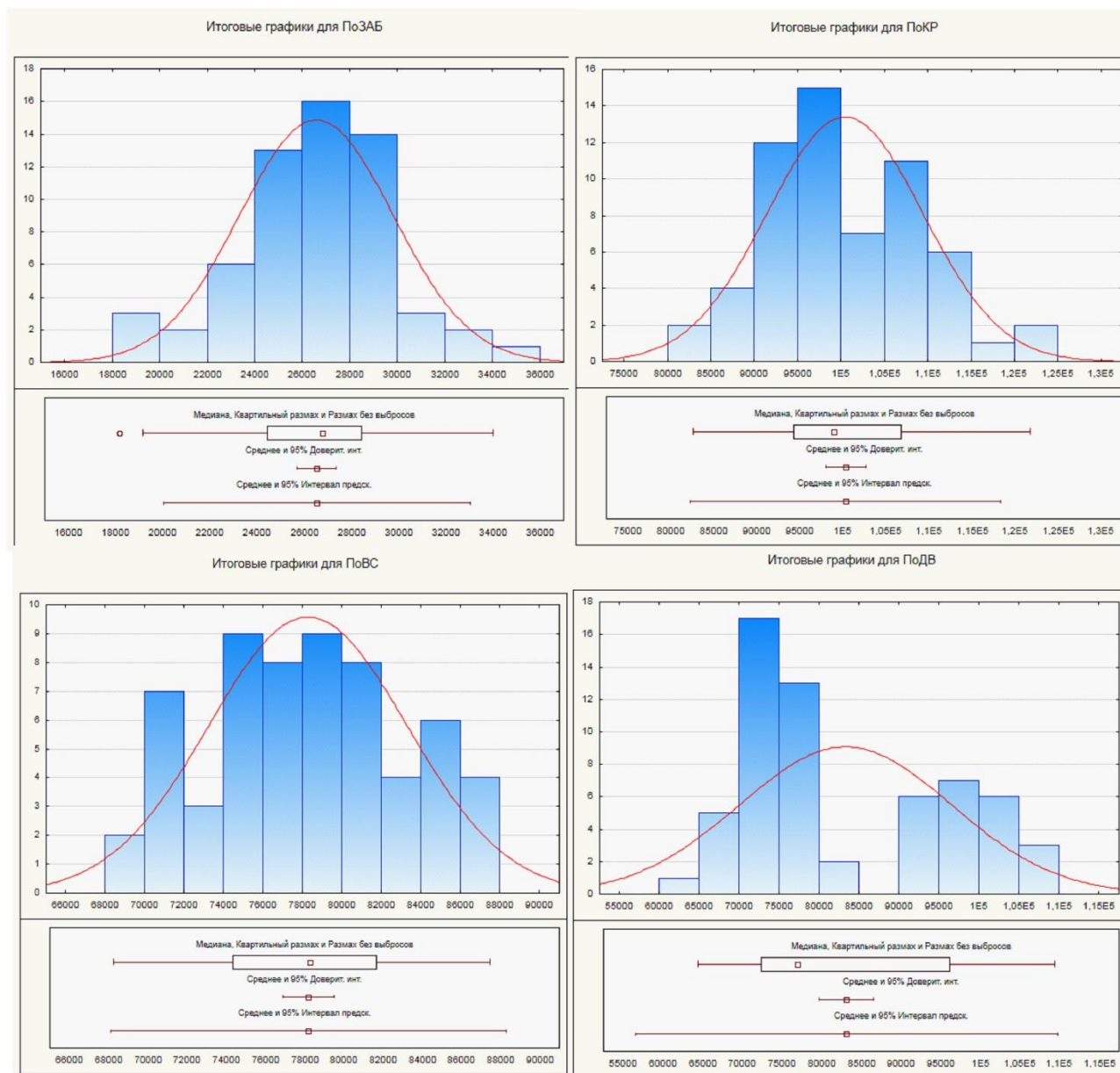


Рисунок 7 – Гистограмма и «диаграмма размаха (box plot)» параметров «Погрузка» вагонов на стыковых пунктах Восточного полигона [Отчетность..., б.г.]

Figure 7 – Histogram and box plot of the parameters “Loading” of wagons at the junction points of the Eastern polygon [Company reporting..., n.d.]

На первоначальном этапе проведем аналитический обзор на тему особенностей рассматриваемого стыкового пункта, по которому распределение данных отличается от нормального [Yar et al., 2011; Yazici et al., 2007].

Данное отличие наиболее характерно для массива данных показателя «Погрузка» по стыковому пункту А ДВЖД за период 5 лет (2018-2022 гг.). Необходимо отметить, что для данного стыкового пункта характерны особенности в работе, а именно, взаимодействие в работе с морскими портами и международные перевозки, на которые оказывают существенное влияние различные как внешние, так и внутренние факторы: ритмичность работы порта,

сезонность, заполненность складских площадок на подходах к портам, а также внутривнутриполитические и внешнеполитические изменения. Совокупное влияние внешнеполитической конъюнктуры и технологической неравномерности работы морских терминалов привносит в структуру вагонопотока значительную стохастическую составляющую, что исключает возможность аппроксимации данных классическим нормальным законом.

Если рассматривать динамику объемов перевозок всех видов грузов, следующих в направлении портов Дальнего Востока, можно выделить с сильной изменчивостью три категории (уголь, импортные грузы (контейнеры) и нефтепродукты) и слабой изменчивостью в динамике временного ряда. Более того, грузы с сильной изменчивостью также являются массовыми по объемам перевозки и самыми высокодоходными.

Графики помесечных колебаний погрузки различных видов грузов по категориям за период 2018-2022 годы представлены на рис. 8. Как можно видеть, показатели величины колебаний за рассматриваемое пятилетие у грузов 1-3 (уголь, импортные грузы (контейнеры) и нефтепродукты) были не одинаковы. Также совокупный процент объемов грузов с наибольшими величинами колебаний составляет около 69,1% от общего объема груза. Это означает, что именно эти грузы имеют больший вес и с большей вероятностью вариабельности влияют на закон распределения данных «погрузки» в целом.

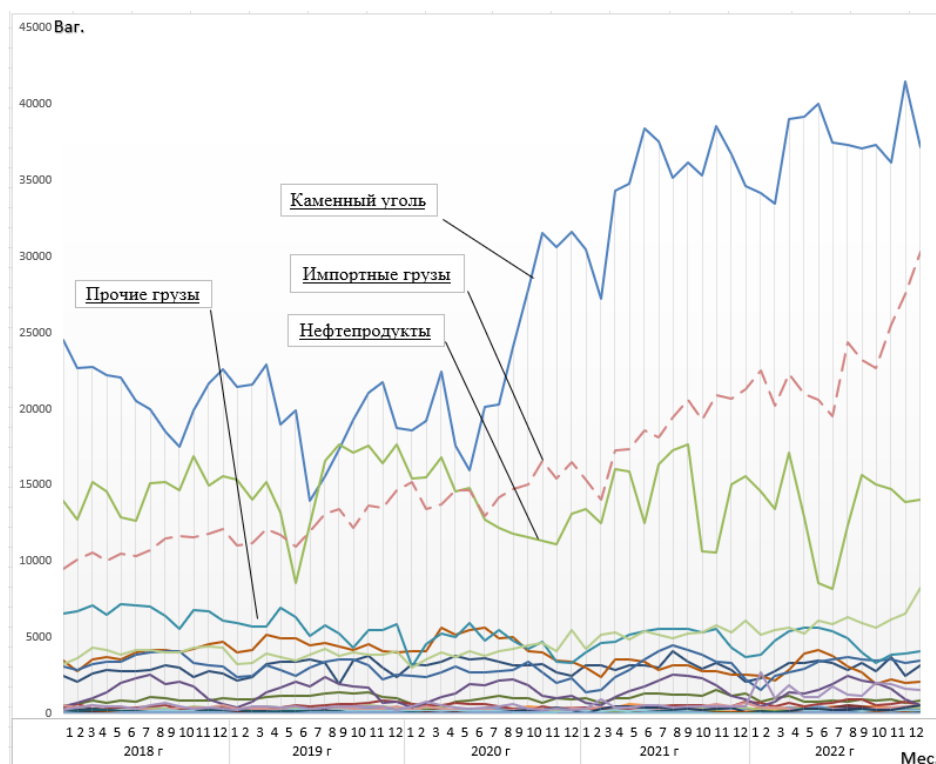


Рисунок 8 – Месячные колебания показателя «Погрузка» по стыковому пункту А. ДВЖД за период 5 лет (2018-2022 гг.) [Отчетность..., б.г.]

Figure 8 – Monthly fluctuations in the “Loading” indicator at junction point A of the Far Eastern Railway for the 5-year period (2018–2022) [Company reporting..., n.d.]

Для выявления вида распределения, после сортировки показателя «Погрузка» за период 5 лет на стыковом пункте ДВЖД (ежемесячное количество вагонов X , прошедших через стыковой пункт в месяц, объем выборки $n = 60$), были проведены тесты в программном пакете «Statistica» (рис. 9).

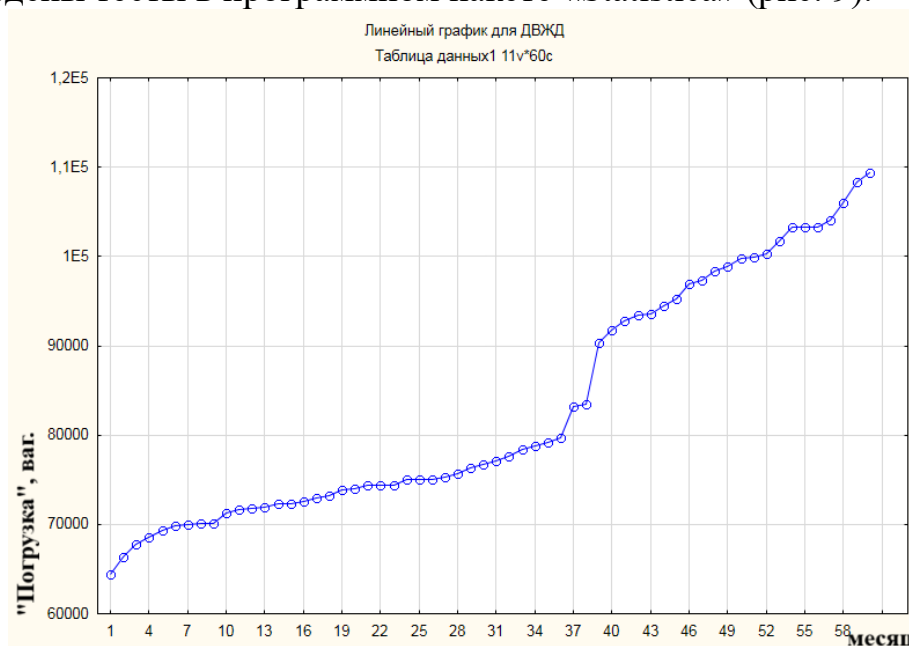


Рисунок 9 – Линейный график «Огиба-Гальтона» массива данных «Погрузка» по стыковому пункту А. ДВЖД за период 5 лет (2018-2022 гг.)
Figure 9 – Linear graph of the Ogive-Galton data set “Loading” for the junction point A. of the Far Eastern Railway for the 5-year period (2018-2022)

При анализе графика в диапазоне от 80 000 до 90 000 вагонов в месяц наблюдается резкий переход, что показывает наличие двух отдельных областей роста и, как следствие, двух мод (наиболее частых значений).

График «Огиба-Гальтона» (или кривая накопленных частот) имеет плавное очертание до значений вагонопотока 80 000 и далее после резкого скачка опять принимает плавные очертания. Это наталкивает на предположения о бимодальности распределения.

После были проведены графические тесты и построен график Q-Q Plot от теоретических квантилей стандартного нормального распределения (рис. 10).

На основе визуального изучения расположения точек вдоль теоретической нормальной кривой были сделаны выводы о том, что Q-Q график представляет собой зеркально-отраженную S-образную кривую, пересекающую опорную линию. Анализируя Q-Q график, можно сделать первоначальный вывод, что распределение массива данных демонстрирует значимое отклонение от нормального закона. Полученная графическая иллюстрация параметров представляет собой S-образную кривую, расположенную вдоль теоретических квантилей стандартного нормального распределения, что характерно для бимодальных распределений.

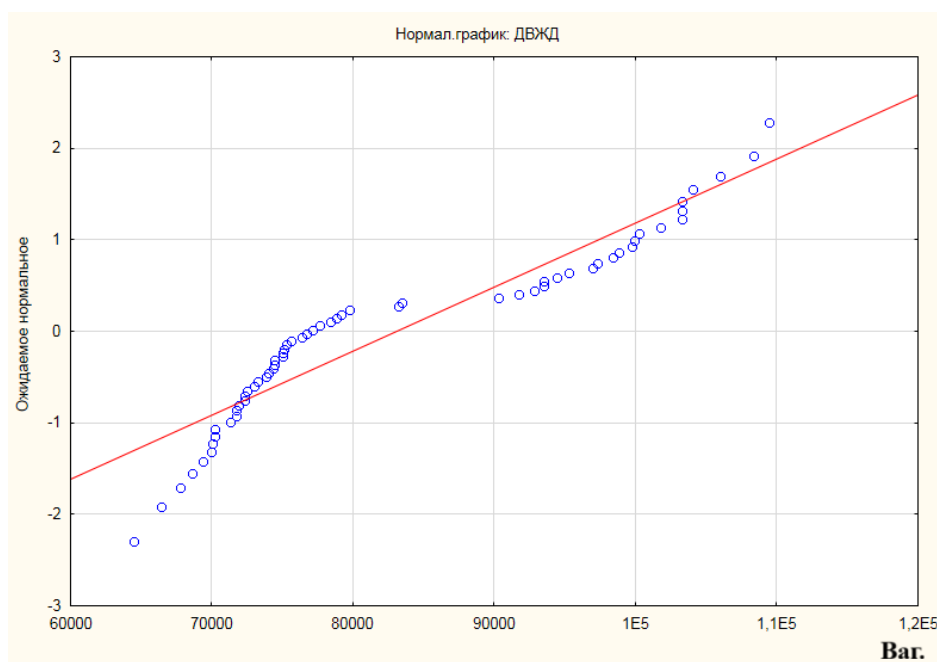


Рисунок 10 – Q-Q график массива данных «Погрузка» по стыковому пункту А. ДВЖД за период 5 лет (2018-2022 гг.)
Figure 10 – Q-Q graph of the “Loading” data array for the junction point A. of the Far Eastern Railway for the 5-year period (2018-2022)

Графические методы всё же субъективны и требуют серьёзных навыков для интерпретации. Для статистического подтверждения гипотезы об отклонении распределения от нормального закона используем критерий согласия Колмогорова-Смирнова (K-S test).

Количество интервалов в гистограмме принимаем $\sqrt{60} = 7,75 \approx 8$.

Критерий Колмогорова равен:

$$D_{\text{факт}} = 0,2019 \leq D_{0,05} = \frac{1,36}{\sqrt{60}} = 0,1755.$$

Так как наблюдаемое значение $D_{\text{факт}}$ превышает критическое, нулевая гипотеза отвергается.

Также рассмотрим гистограмму, представленную на рисунке 11, с учётом проверки по критерию Колмогорова. Из представленной гистограммы видно, что данные не распределены вдоль теоретической кривой. Результаты визуального анализа гистограммы в совокупности с данными описательной статистики подтверждают гипотезу о бимодальном характере распределения.

На рисунке 11 дополнительно приведены описательные статистические данные, рассчитанные в программном пакете «Statistica». Представлена асимметрия межквартильного размаха («ящика») и длины его «усов», что подтверждает наличие правосторонней асимметрии и эксцесса.

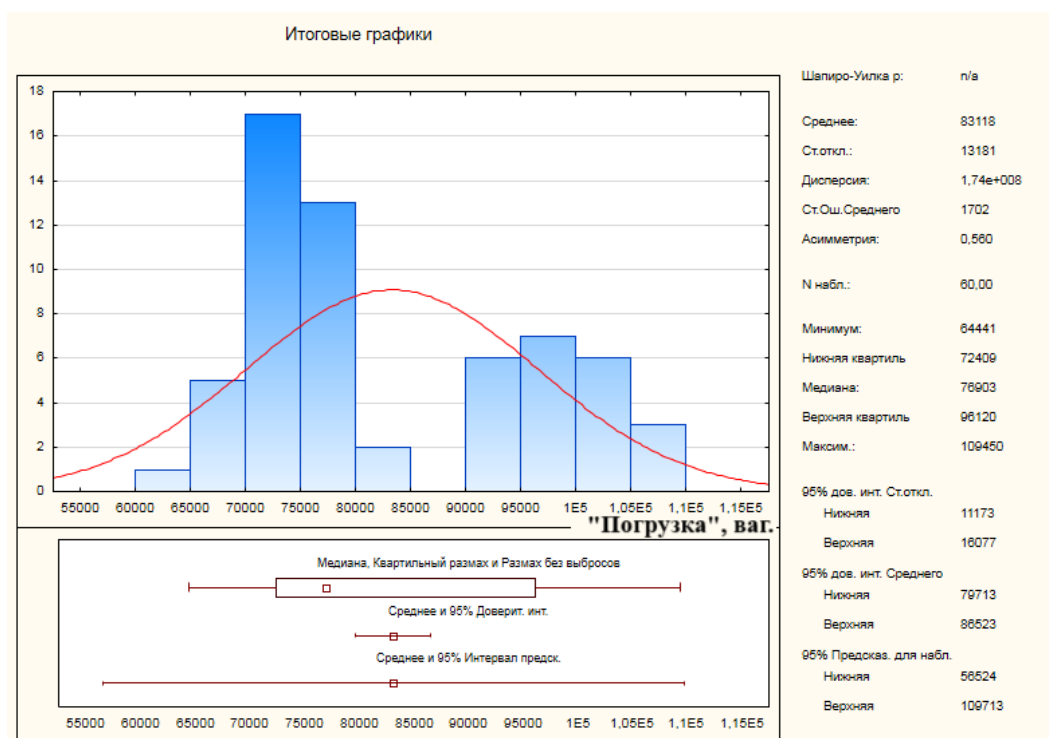


Рисунок 11 – Гистограмма и описательные статистические показатели данных «Погрузка» по стыковому пункту А. ДВЖД за период 5 лет (2018-2022 гг.) [Отчетность..., б.г.]

Figure 11 – Histogram and descriptive statistics of the “Loading” data for the junction point A. of the Far Eastern Railway for the 5-year period (2018–2022) [Company reporting..., n.d.]

Обсуждение

Предварительные выводы по типу распределения параметра «Погрузка» вагонов на стыковом пункте на данной железной дороге следующие:

- при моделировании данных одна функция распределения вероятностей не может использоваться для представления всей совокупности;
- по полученным графикам проверок, для отдельных стыковых пунктов железных дорог было выявлено, что кривая демонстрирует две отдельные области роста, что указывает на наличие двух мод (наиболее частых значений) в данных и возможности бимодального распределения.

Бимодальность распределения может быть подтверждена следующими фактами:

1) на основании визуального анализа графиков Q-Q plot и «Огива-Гальтона», делаем вывод, что распределение отлично от нормального и соответствует конфигурации, характерной для бимодальных распределений, которые представляют собой S-образную кривую и пересекают теоретическую прямую;

2) по критерию Колмогорова, рассматриваемое распределение не является нормальным. А при анализе гистограммы также видно, что она состоит из двух отдельных частей: первой – от 64441 до 83435 вагонов в месяц и второй – после

90274 до 109450 вагонов в месяц;

3) результаты анализа диаграммы размаха (boxplot) также подтвердили несоответствие данных нормальному закону.

Бимодальное распределение указывает на необходимость учета двух различных непрерывных распределений вероятностей. Для понимания процессов, происходящих в этом временном интервале на данном стыковом пункте, следует детально рассмотреть поступающий вагонопоток и подобрать комбинацию из двух моделей распределения.

В случае комбинации двух моделей распределения общие данные о погрузке вагонов сегментируются на две части с общей величиной «погрузки» XL, представляющей границу между двумя функциями. При разработке модели смешанного распределения, в том числе для проведения дальнейших исследований, было решено выдвинуть гипотезу о наличии гамма-нормального распределения и на основании этого предложить алгоритм аппроксимации бимодальной функции плотности вероятности с учетом распределения вагонопотоков во времени. Блок-схема на рис. 12 демонстрирует предлагаемое бимодальное распределение с использованием данных о «погрузке» по стыковому пункту А. ДВЖД за период 5 лет (2018-2022 гг.).

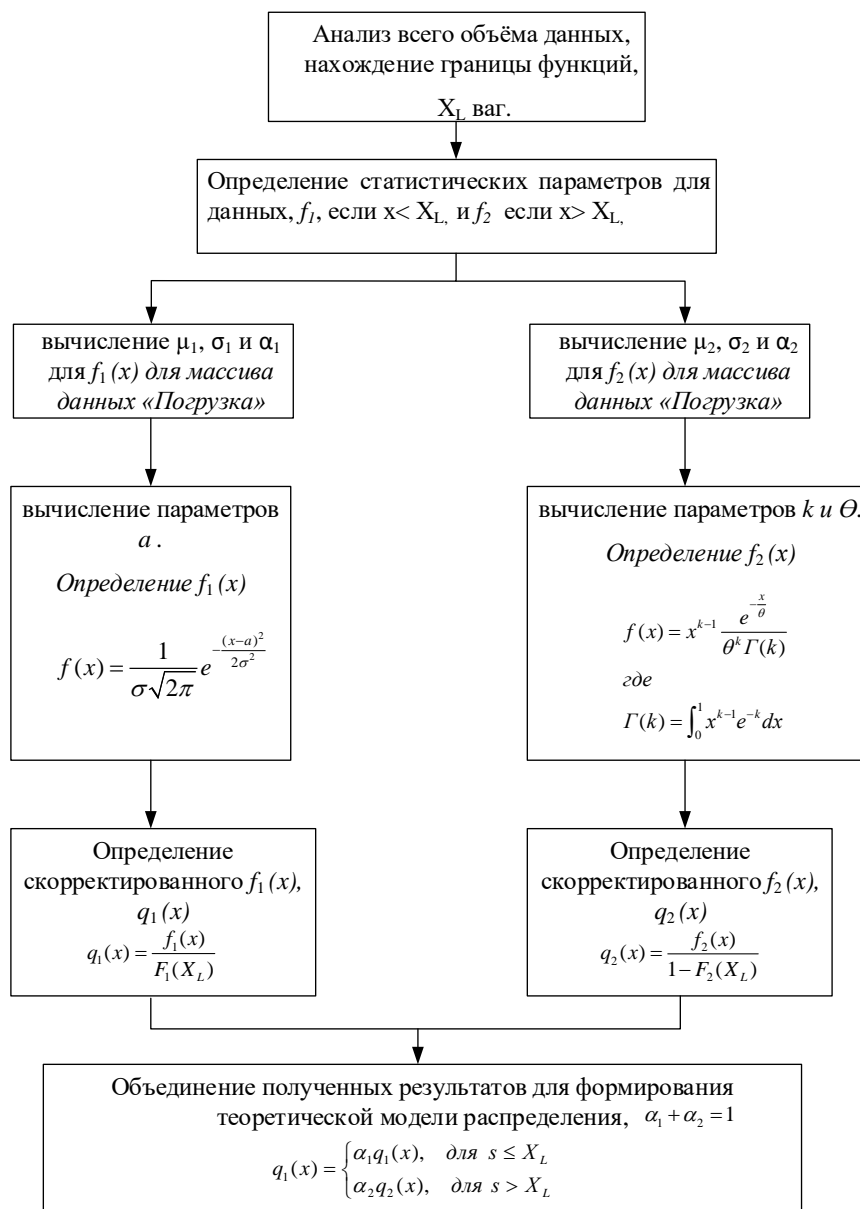


Рисунок 12 – Блок-схема предлагаемого бимодального распределения (μ – математическое ожидание, σ – стандартное отклонение, α – весовой коэффициент)

Figure 12 – Block diagram of the proposed bimodal distribution (μ – mathematical expectation, σ – standard deviation, α – weighting coefficient)

Заключение (Conclusion)

Результатом проводимого анализа является определение принадлежности распределения опытных данных соответствующему закону распределения. Исходя из анализа представленных данных и в соответствии с полученными коэффициентами вариации, можно сделать вывод о том, что для ряда опытных данных по виду работ «погрузка» и опытных данных по виду работ «выгрузка» характерно нормальное распределение. Для оставшихся исследуемых пунктов характер изменения исторических значений опытных данных характеризуется

значимым отклонением от нормального закона и требует более тщательного анализа.

В этом исследовании описаны статистические тесты на соответствие эмпирических данных с теоретической моделью распределения для вагонопотоков, сдаваемых по междорожным стыкам Восточного полигона. Для учета тенденций, наблюдаемых в данных, предлагается модель смешанного распределения для вагонопотоков, следующих по Восточному полигону назначением на морские порты Дальнего Востока. В частности, по предварительному анализу можно выдвинуть гипотезу о гамма-нормальной комбинации, что представляет собой адекватную модель смешанного распределения.

Дальнейшие исследования будут направлены на еще большее улучшение процесса анализа статистических данных, для этого внедрено использование теста Андерсона-Дарлинга в дополнение к традиционному тесту Колмогорова-Смирнова. В дальнейшем, при построении прогнозных моделей колебаний вагонопотоков с использованием ARIMA или GARCH моделей, установленный вид распределения позволит точно описать ошибки модели, а также планируется тестирование модели на данных 2023-2025 гг.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что выбранный инструментарий является пригодным для формирования долгосрочных прогнозов изменения вагонопотоков железнодорожного транспорта, что позволяет уточнить необходимость принятия управленческих решений по модернизации существующих объектов инфраструктуры. Выбор закона распределения статистических данных о вагонопотоках, несмотря на сильный разброс данных, произведен достаточно точно, что делает возможным формирование перспективных прогнозов их изменения.

Список литературы

- Бычков И. В.* Применение теории массового обслуживания для моделирования Улан-Баторской железной дороги / И. В. Бычков, М. Л. Жарков, А. Л. Казаков // Вычислительные технологии. 2023. Т. 28, №6. С. 17-36. DOI 10.25743/ICT.2023.28.6.003. EDN JKTSVJ.
- Гольц Г. А.* Исследование закономерностей развития перевозок в СССР // Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта. М.: Наука, 1982. С. 23-63.
- Горелик М. А.* Прогнозирование перспективных грузопотоков на морском транспорте // Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта. М.: Наука, 1982. С. 63-78.
- Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО «РЖД» и Российской академией наук / Н. А. Махутов, Б. М. Лapidус, М. М. Гаденин, Е. Ю. Титов // Железнодорожный транспорт. 2023. №7. С. 6-11.
- Кабанов А. Б.* Научный подход к планированию железнодорожных грузовых перевозок / А. Б. Кабанов, А. Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. 2022. №8. С. 12-16. EDN OZHUWT.
- Лapidус Б. М.* Задачи опережающего развития российских железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2023. №2. С. 4-14. EDN HYNHML.
- Маловецкая Е. В.* Возможности повышения эффективности перевозочного процесса на основе построения комплексных прогнозных моделей загрузки инфраструктуры / Е. В. Маловецкая,

А. К. Мозалевская // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17, №7. С. 38-46. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46. EDN IAEWSG.

Маловецкая Е. В. Оценка влияния неравномерностей на перевозочный процесс / Е. В. Маловецкая, А. К. Мозалевская // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2-х частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года. Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2022. С. 207-209. EDN BRTMRC.

Мамаев Э. А. Прогнозирование контейнерооборота морских портов мира / Э. А. Мамаев, Е. С. Вальчук // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. №2(62). С. 94-101. EDN WFENQZ.

Мозалевская А. К. Анализ распределения статистических данных о вагонопотоках. Часть I / А. К. Мозалевская, Е. В. Маловецкая, Р. С. Большаков // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2025. №3(46). С. 162-177. DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_162. EDN EFYEMG.

Отчетность компании: официальный сайт ОАО «РЖД» // [Электронный ресурс]. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9471> (дата обращения: 23.12.2025).

Правдин И. В. Прогнозирование пассажирских потоков / И. В. Правдин, В. Я. Негрей. М.: Транспорт, 1980. 224 с.

Правдин И. В. К вопросу построения теоретических моделей колебаний транспортных потоков / И. В. Правдин, В. Я. Негрей, А. И. Шелеляев // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Межвузовский сборник научных статей / Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта. Гомель: Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1980. С. 3-20. EDN YNHDQN.

Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: от 17 июня 2008 г. №877-р: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации. 2008 // [Электронный ресурс]. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (дата доступа: 30.04.2025).

Узрюмов А. К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт, 1968. 112 с.

Ghosh S. Importance of Normality Testing, Parametric and Non-Parametric Approach, Association, Correlation and Linear Regression (Multiple & Multivariate) of Data in Food & Bio-Process Engineering // In: Mathematical and Statistical Applications in Food Engineering. CRC Press; 2020. Pp. 112-126. DOI 10.1201/9780429436963-9.

Malovetskaya E. Prospects for Comprehensive Forecasts When Assessing the Load of Railway Transport Infrastructure / E. Malovetskaya, E. Voskresenskaya, A. Mozalevskaya // Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development (ESG 2023): Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Sustainable Development, St. Petersburg, 19–20 октября 2023 года. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2024. Pp. 217-225. EDN GLELMN.

Razali N. M. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests / N. M. Razali, Y. B. Wah // Journal of Statistical Modeling and Analytics. 2011. №2(1). Pp. 21-33.

Yap B. W. Comparisons of various types of normality tests / B. W. Yap, C. H. Sim // Journal of Statistical Computation and Simulation. 2011. №81(12). Pp. 2141-2155. DOI 10.1080/00949655.2010.520163.

Yazici B. A comparison of various tests of normality / B. Yazici, S. Yolacan // Journal of Statistical Computation and Simulation. 2007. №77(2). Pp. 175-183. DOI 10.1080/10629360600678310.

References

Bychkov I. V., Zharkov M. L., Kazakov A. L. (2023). Application of queuing theory for modeling the Ulaanbaatar railway. *Computational technologies*. 6(28): pp. 17-36. (In Russian)
Company reporting: official website of Russian Railways. Available at: <https://company.rzd.ru/ru/9471> (accessed 23 December 2025). (In Russian)

- Ghosh S, Mitra J. (2020). Importance of Normality Testing, Parametric and Non-Parametric Approach, Association, Correlation and Linear Regression (Multiple & Multivariate) of Data in Food & Bio-Process Engineering. *Mathematical and Statistical Applications in Food Engineering*. CRC Press. Pp. 112-126.
- Golts G. A. (1982). Studying the patterns of transport development in the USSR. *Problems of forecasting and optimization of transport operations*. Moscow: Nauka. Pp. 23-63. (In Russian)
- Gorelik M. A. (1982). Forecasting promising cargo flows in maritime transport. *Problems of forecasting and optimization of transport operations*. Moscow: Nauka. Pp. 63-78. (In Russian)
- Kabanov A. B., Osminin A.T. (2022). Scientific approach to planning rail freight transportation. *Railway transport*. 18: pp. 12-16. (In Russian)
- Lapidus B.M. (2023). Tasks of advanced development of Russian railways. *Railway transport*. 2: pp. 4–14. (In Russian)
- Makhutov N. A., Lapidus B. M., Gadenin M. M., Titov E. Yu. (2023). Tasks and Prospects for the Development of Scientific Research within the Framework of Cooperation between Russian Railways and the Russian Academy of Sciences. *Railway Transport*. 7: pp. 6-11. (In Russian)
- Malovetskaya E. V., Mozalevskaya A. K. (2022). Assessing the Impact of Irregularities on the Transportation Process. *Problems of Transport Safety: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 160th Anniversary of the Belarusian Railway*. In 2 parts, Gomel, November 24–25. Gomel: Belarusian State University of Transport. 2: pp. 207-209. (In Russian)
- Malovetskaya E. V., Mozalevskaya A. K. (2023). Possibilities of Improving the Efficiency of the Transportation Process Based on the Construction of Comprehensive Forecast Models of Infrastructure Loading. *T-Comm: Telecommunications and Transport*. 7(17): pp. 38–46. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46. (In Russian)
- Malovetskaya E. V., Voskresenskaya E. V., Mozalevskaya A. K. (2023). Prospects for comprehensive forecasts when assessing the load of railway transport infrastructure. *Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development (ESG 2023)*. Pp. 217-225.
- Mamaev E. A., Valchuk E. S. (2016). Forecasting container turnover of world seaports. *Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering*. 2 (62): pp. 94-101. (In Russian)
- Mozalevskaya, E. V. Malovetskaya, R. S. Bolshakov. (2025). Analysis of the distribution of statistical data on car traffic. Part I. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 3(46): pp. 162-177. DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_162. (In Russian)
- Pravdin I. V. Negrey V. Ya. (1980). Forecasting passenger flows. *Moscow: Transport*. 224 p. (In Russian)
- Pravdin N. V., Negrey V. Ya., Shelelyaev A. I. (1980). On the issue of constructing theoretical models of fluctuations in traffic flows. *Problems of perspective development of railway stations and junctions*. Gomel: Beliizht. Pp. 3-20. (In Russian)
- Razali N. M, Wah Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. 2(1): pp. 21-33.
- Strategy for the Development of Railway Transport in the Russian Federation until 2030: of June 17, 2008 №877-r: approved by the order of the Government of the Russian Federation. 2008. June 17. Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (accessed 30 April 2025). (In Russian)
- Ugryumov A. K. (1968). The unevenness of train movement. Moscow: *Transport*, 1968. 112 p. (in Russian)
- Yap B. W., Sim C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 81(12): pp. 2141-2155. DOI 10.1080/00949655.2010.520163.
- Yazici B, Yolacan S. (2007). A comparison of various tests of normality. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 77(2): pp. 175-183. DOI 10.1080/10629360600678310.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анна Константиновна Мозалевская – соискатель, старший преподаватель кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей», Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского, 15, Иркутск, 664074, Россия; orcid.org/0000-0002-0590-176X; e-mail: mozalevskay@mail.ru

Екатерина Викторовна Маловецкая – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского, 15, Иркутск, 664074, Россия; orcid.org/0000-0003-1549-5336; e-mail: Katerina8119@mail.ru

Роман Сергеевич Большаков – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского, 15, Иркутск, 664074, Россия; orcid.org/0000-0002-1187-5932; e-mail: bolshakov_rs@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna K. Mozalevskaya, Applicant for a Degree, Senior Lecturer at the Department of Construction of Railways, Bridges and Tunnels», Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevskogo St., Irkutsk, 664074, Russia; orcid.org/0000-0002-0590-176X; e-mail: mozalevskay@mail.ru

Ekaterina V. Malovetskaya, Cand. of Sci. (Technology), Associate Professor, Associate Professor at Department of Railway Operations Management, Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevskogo St., Irkutsk, 664074, Russia; orcid.org/0000-0003-1549-5336; e-mail: Katerina8119@mail.ru

Roman S. Bolshakov, Cand. of Sci. (Technology), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Railway Operations Management, Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevskogo St., Irkutsk, 664074, Russia; orcid.org/0000-0002-1187-5932; e-mail: bolshakov_rs@mail.ru

Поступила в редакцию
Принята в печать
Опубликована

14.11.2025
16.03.2026
16.06.2026

Received
Accepted for publication
Published

14 November 2025
16 March 2026
16 June 2026