

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 79–94
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>
UDC 656.2

DETERMINATION OF THE REGULARITIES OF GROUP ARRIVALS BY ASSIGNMENT AND ESTABLISHMENT OF THEIR ARRIVAL ORDER

Zh.Zh. Moldasheva

Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov.

E-mail: zhadira1985@mail.ru

Moldasheva Zhadra Zholamanovna — Information System. Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering
E-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

© Zh.Zh. Moldasheva

Abstract. This study addresses the patterns of wagon group arrivals on classification yard accumulation tracks and the determination of their arrival order. The relevance of the research is justified by the need to increase the efficiency of classification yards, reduce train formation time, and optimize the use of accumulation tracks. Research objective is to identify the distribution patterns of wagon group sizes and the intervals between their arrivals, and to develop methods for determining the order of wagon group arrivals on accumulation tracks. Research tasks include analyzing existing approaches and literature on train formation; collecting and processing statistical data on wagon group arrivals; verifying data for gross errors using the Smirnov criterion; determining the distribution law of group sizes and intervals; modeling the arrival order of wagon groups; and developing empirical formulas for predicting group sizes and intervals. Results indicate that wagon group sizes and intervals follow an exponential distribution. Formulas were developed to calculate the average wagon group size depending on the daily wagon flow and arrival intervals. Graphs of wagon group arrivals were constructed, and algorithms for accounting for size and interval constraints were developed. The identified patterns allow accurate prediction of wagon group arrivals and optimization of train accumulation processes. The proposed methods and models can be applied in automated dispatch and planning systems for railway freight flows.

Keywords: wagon group, arrival, distribution, interval, exponential law, modeling.

For citation: Zh.Zh. Moldasheva. Determination of the regularities of group arrivals by assignment and establishment of their arrival order//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 79–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ТАҒАЙЫНДАЛУЫНА ҚАРАЙ ТОПТАРДЫҢ КЕЛУ ЗАҢДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ КЕЛУ РЕТІН БЕЛГІЛЕУ

Ж.Ж. Молдашева

Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан.

E-mail: zhadira1985@mail.ru

Молдашева Жадра Жоламановна — Ақпараттық жүйе. Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Бағдарламалық инженерия кафедрасының PhD қауымдастырылған профессоры



E-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

© Ж.Ж. Молдашева

Аннотация. Мақалада сұрыптау станцияларының жинау жолдарындағы вагон топтарының келу заңдылықтары және олардың келу тәртібін анықтау мәселесі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі — сұрыптау станцияларының тиімділігін арттыру, пойыз құрамдарын жинау уақытын қысқарту және жинау жолдарын оңтайлы пайдалану қажеттілігімен анықталады. Зерттеудің мақсаты — вагон топтарының көлемі мен келу арасындағы интервалдардың таралу заңдылықтарын анықтау, сондай-ақ вагон топтарының келу тәртібін анықтау әдістерін әзірлеу. Зерттеу міндеттері: пойыз құрамын қалыптастыру бойынша қазіргі тәсілдер мен әдебиеттерді талдау; вагон топтарының келуі бойынша статистикалық деректерді жинау және өңдеу; Смирнов критерийі бойынша деректерді қатты қателіктерге тексеру; топтардың көлемі мен интервалдарының таралу заңын анықтау; вагон топтарының келу тәртібін модельдеу; топ көлемі мен интервалдарын болжау үшін эмпирикалық формулалар әзірлеу. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, вагон топтарының көлемі мен келу интервалдары экспоненциалды заңға бағынады. Күнделікті вагон ағынына байланысты топтың орташа көлемін және келу интервалдарын есептеу үшін формулалар әзірленді. Вагон топтарының келу графиктері құрылып, топ көлемі мен интервал шектеулерін есепке алатын алгоритмдер жасалды. Анықталған заңдылықтар вагон топтарының келуін дәл болжауға және сұрыптау станцияларында пойыздарды жинау процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған әдістер мен модельдер теміржол жүктерін жоспарлау және диспетчерлік басқару жүйелерінде қолданыла алады.

Түйін сөздер: вагон тобы, келу, таралу, интервал, экспоненциалды заң, модельдеу.

Дәйексөздер үшін: Ж.Ж. Молдашева. Тағайындалуына қарай топтардың келу заңдылығын анықтау және олардың келу ретін белгілеу//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 79–94 бет. (Орыс. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ГРУПП ПО НАЗНАЧЕНИЯМ И ПОЛУЧЕНИЕ ПОРЯДКА ИХ ПОСТУПЛЕНИЯ

Ж.Ж. Молдашева

Атырауский университет имени Х. Досмухамедова. Атырау, Казахстан.

E-mail: zhadira1985@mail.ru

Молдашева Жадра Жоламановна — Информационная система. Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, ассоциированный профессор (PhD) кафедры программной инженерии

E-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

© Ж.Ж. Молдашева

Аннотация. В статье рассматривается проблема закономерностей поступления групп вагонов на пути накопления сортировочных станций и определения порядка их поступления. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности работы сортировочных станций, сокращения времени формирования составов и оптимизации использования путей накопления. Цель исследования — выявление закономерностей распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением, а также разработка методов определения порядка поступления групп на пути накопления. Задачи исследования включают: анализ существующих подходов и



публикаций по составообразованию; сбор и обработку статистических данных по поступлению групп вагонов; проверку данных на грубые погрешности с использованием критерия Смирнова; определение закона распределения величины групп и интервалов между ними; моделирование порядка поступления групп вагонов; разработку эмпирических формул для прогнозирования величины групп и интервалов. Результаты исследования показывают, что величины групп вагонов и интервалы между ними подчиняются показательному закону распределения. Разработаны формулы для расчета средней величины группы вагонов в зависимости от суточного вагонопотока и интервалов между поступлениями. Построены графики поступления групп вагонов на пути накопления и алгоритмы учета ограничений по величине групп и интервалам. Выявленные закономерности позволяют с высокой точностью прогнозировать поступление групп вагонов и оптимизировать процессы накопления составов на сортировочных станциях. Предложенные методы и модели могут быть использованы в автоматизированных системах диспетчерского управления и планирования работы железнодорожных грузопотоков.

Ключевые слова: группа вагонов, поступление, распределение, интервал, показательный закон, моделирование.

Для цитирования: Ж.Ж. Молдашева. Определение закономерности поступления групп по назначениям и получение порядка их поступления//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 79–94. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Современные процессы обработки грузовых потоков на железнодорожном транспорте характеризуются высокой динамичностью и сложностью. Эффективное управление накоплением и распределением составов на сортировочных станциях требует точного понимания закономерностей поступления групп вагонов по назначениям. Несмотря на многолетние исследования в области составообразования, до сих пор сохраняется необходимость более точного моделирования процесса поступления групп вагонов, учитывающего как их величину, так и интервалы между поступлениями.

Обоснование выбора темы исследования связано с анализом предыдущих работ в данной области. Так, А.И. Платонов (1955) впервые отметил зависимость частоты поступления групп вагонов от их размера, установив, что меньшие группы прибывают чаще. Дальнейшие исследования Е.А. Сотникова (1968, 1979) и Н.М. Иванкова (1966) подтвердили эти закономерности и выявили связь частоты поступления групп с мощностью назначения. В.И. Бадах (1967) и А.В. Панасик (1969) показали, что распределение величины групп вагонов можно аппроксимировать показательным законом, а многие последующие исследователи (Жуков, 2000) подтвердили этот вывод. Однако существующие исследования не охватывают комплексное моделирование поступления групп вагонов на современном железнодорожном транспорте с учетом статистических проверок данных и формирования гибких графиков накопления.

Актуальность темы определяется практической необходимостью повышения эффективности сортировочных станций и сокращения времени формирования составов. Современные логистические и транспортные задачи требуют точного прогнозирования поступления групп вагонов, что влияет на планирование работы сортировочных парков, оптимизацию использования путей накопления и снижение простоев поездов.

Объектом исследования является процесс поступления групп вагонов на пути накопления сортировочных станций. Предметом исследования выступают закономерности распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением.

Цель исследования — определить закономерности поступления групп вагонов по назначениям и получить порядок их поступления для последующего моделирования процессов накопления на сортировочных станциях.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- Провести анализ существующих исследований и выявить недостатки в современных подходах к моделированию поступления групп вагонов.
- Определить числовые характеристики статистического распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением.
- Проверить согласованность фактического распределения величины групп вагонов с теоретическим показательным распределением с использованием критерия Романовского и критерия Смирнова.
- Разработать методы моделирования порядка поступления групп вагонов с учетом эмпирических зависимостей и ограничений по величине групп и интервалам.
- Предложить эмпирические формулы для определения средней величины группы вагонов в зависимости от суточного вагонопотока и интервалов между группами.

Методы исследования включают математическую статистику, обработку вариационных рядов, проверку гипотез о грубых погрешностях, аппроксимацию распределений показательными законами и моделирование поступления групп вагонов с использованием специализированных программных средств (Excel, Statistica for Windows, MINITAB).

Подходы исследования основаны на комбинировании эмпирических данных и теоретических моделей распределений для построения правдоподобного графика поступления групп вагонов на сортировочные станции.

Гипотеза исследования заключается в том, что величины групп вагонов и интервалы их поступления подчиняются показательному закону распределения, что позволяет прогнозировать порядок их поступления с достаточной точностью для целей моделирования процессов накопления составов.

Практическая значимость исследования определяется возможностью применения полученных закономерностей для оптимизации работы сортировочных станций, снижения времени накопления составов и повышения общей эффективности железнодорожной логистики. Теоретическая значимость заключается в подтверждении и уточнении ранее выявленных закономерностей поступления групп вагонов с использованием современных методов статистической обработки данных и моделирования.

Материалы и методы

Материалом исследования являются статистические данные о поступлении групп вагонов на пути накопления сортировочных станций Казахстана, собранные в течение 14–31 суток для разных направлений и назначений. Данные представлены в количественном виде: количество вагонов в группе ($m_{гр}$), число наблюдений за поступлениями (n), суточный вагонопоток ($U_{сут}$), интервалы времени между поступлением групп (I_i). В качественном отношении материал характеризуется разнообразием назначения вагонов, неравномерностью их поступления и колебаниями величины групп в зависимости от мощности назначения.

В качестве источников использованы:

- Архивные данные АО «НК «Қазақстан Темір Жолы» по движениям вагонов на сортировочных станциях Алматы 1 и Алматы 2.
- Публикации и диссертации по вопросам составаобразования и распределения групп вагонов (Платонов, 1955; Иванков, 1966; Бадах, 1967; Панасик, 1969; Жуков, 2000).
- Методические материалы по статистической обработке данных и проверке гипотез (Кудрявцев, 1977; Третьяк, 2004).

Новизна материала исследования заключается в использовании статистических данных по современным потокам вагонов с учётом показательных распределений величины

групп и интервалов между ними, а также в применении метода исключения грубых погрешностей по критерию Смирнова для уточнения эмпирических закономерностей.

В ходе исследования ставились следующие вопросы:

- Каковы закономерности распределения величины групп вагонов по назначениям и их частота поступления?

- Подчиняются ли интервалы времени между смежными группами вагонов показательному закону распределения?

- Как можно определить порядок поступления групп вагонов на пути накопления для моделирования процессов составообразования?

Гипотеза исследования заключается в том, что величины групп вагонов и интервалы их поступления подчиняются показательному закону распределения, что позволяет с высокой точностью прогнозировать порядок поступления групп и строить реалистичные графики накопления составов на сортировочных станциях.

Исследование проводилось в несколько этапов:

- Сбор и систематизация статистических данных по поступлению групп вагонов на пути накопления.

- Проведение первичной статистической обработки данных: определение средних величин групп, дисперсий и среднеквадратических отклонений.

- Проверка данных на наличие грубых погрешностей с использованием критерия Смирнова и исключение аномальных значений.

- Определение закона распределения величины групп и интервалов между их поступлением с применением методики аппроксимации показательным распределением.

- Разработка моделей и формул для прогнозирования порядка поступления групп вагонов на основе случайных чисел и эмпирических зависимостей.

Построение графиков поступления групп вагонов и анализ закономерностей составообразования при гибком и твердом графике накопления.

Для достижения целей исследования использовались следующие методы:

- Математическая статистика: анализ вариационных рядов, расчет средних величин, дисперсий, стандартных отклонений.

- Методы проверки гипотез: критерий Смирнова для выявления грубых погрешностей; критерий Романовского для проверки согласованности фактического и теоретического распределений.

- Аппроксимация распределений: показательное распределение для величины групп вагонов и интервалов между группами.

- Эмпирическое моделирование: генерация случайных чисел в Excel для определения порядка поступления групп и интервалов между ними, суммирование значений до получения нормированных составов.

- Анализ эмпирических зависимостей: построение зависимости средней величины группы от суточного вагонопотока, расчет коэффициента детерминации для оценки точности модели.

Применение комплексного подхода, включающего статистическую обработку данных, проверку гипотез и моделирование процессов, позволяет достоверно выявлять закономерности поступления групп вагонов и эффективно прогнозировать их распределение на сортировочных станциях.

Результаты и обсуждение

Впервые изучение закономерности колебания величины групп вагонов выполнено сравнительно давно в работе А.И. Платонова (Платонов, 1955: 79–109). В результате исследования поступления групп вагонов на четыре назначения в течение пяти дней, им было установлено, что чем меньше число вагонов в группе, тем чаще их прибытие. Далее изучение колеблемости величины групп вагонов выполнено Е.А. Сотниковым. Проведенное им исследование подтвердило наличие указанной закономерности. Кроме

того, им установлено, что чем меньше мощность назначения, тем чаще встречаются мелкие группы. Исследование выполнялось для целей моделирования процесса накопления составов поездов в сортировочном парке.

Исследование колеблемости величин групп вагонов для выявления заполнения путей накопления производилось Н.М. Иванковым (Иванков, 1966: 73–81). Обработка статистических данных позволила ему подтвердить существование ранее установленных закономерностей и наличие зависимости частоты поступления различных по величине групп от мощности назначений. Указанные закономерности представлены в виде таблиц и графиков.

В.И. Бадах установил, что распределение величины групп вагонов, поступающих на отдельное назначение, можно аппроксимировать согласно показательному закону (Бадах, 1967: 31–87).

А.В. Панасик, анализируя поступление вагонов отдельных назначений на четырех крупнейших сортировочных станциях, установил, что частота колебания величины групп вагонов может быть аппроксимирована показательным распределением (Панасик, 1969: 1–22). В результате его исследования установлено, что зависимости среднеквадратического отклонения колеблемости величины групп вагонов и параметра закона распределения от размера вагонопотока назначения может быть выражена степенной функцией. Далее многие ученые подтвердили, что частота колебания величины групп вагонов может быть аппроксимирована показательным распределением (Жуков, 2000: 141–147).

В статье для определения закона распределения величины групп вагонов используется метод математической статистики (Швечиков, 1997: 12–15). В результате обработки статистических данных установлено, что распределение величины групп вагонов подчиняется показательному закону распределения. Статистическая проверка согласованности теоретического показательного и фактического распределений произведена по критерию Романовского (Кудрявцев, 1977: 1–55) и дала положительные результаты. На Рис. 1. частота поступления величины групп вагонов показана в виде гистограммы, а сплошной линией – теоретическая кривая распределения. Из рисунка видно, что теоретическое и статистическое распределения близки.

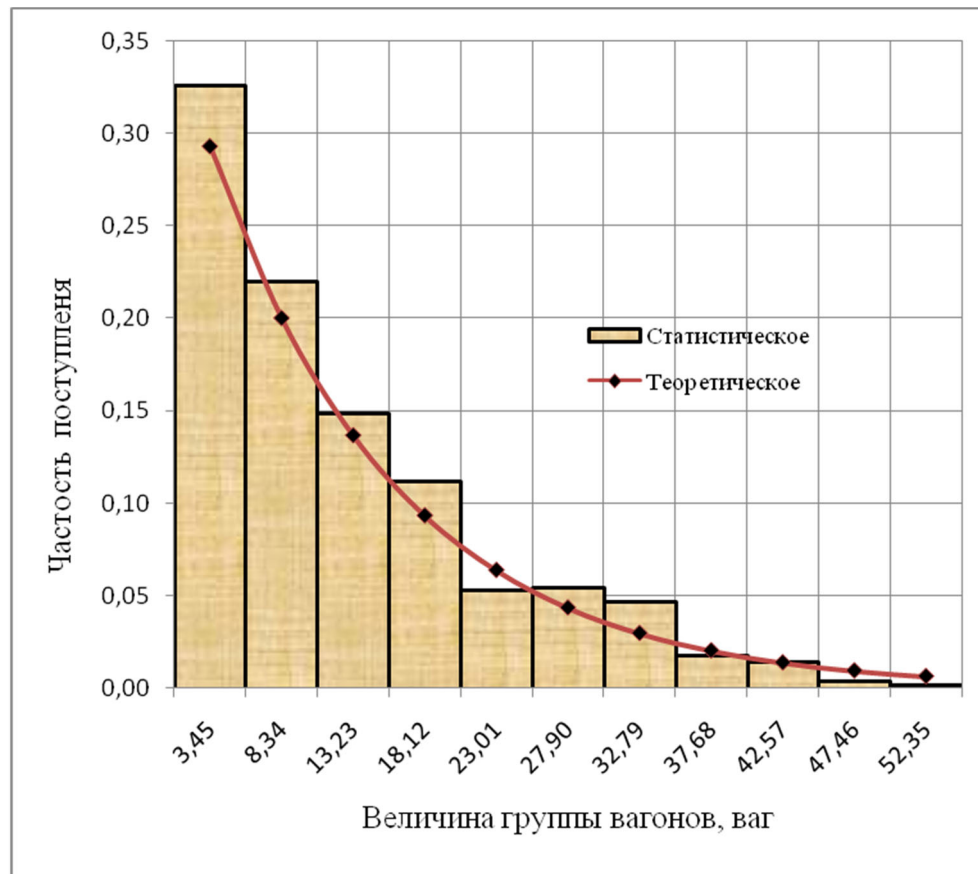


Рис. 1. Распределение величины групп вагонов при $U_{с\text{ут}}=440$ ваг, $m_{гр}=12,04$ ваг.

При показательном законе распределения функция распределения для величины прибывающей группы m_i примет следующий вид:

$$F(m_i) = 1 - e^{-\frac{m_i}{m_{гр}}} \quad (1)$$

где $m_{гр}$ – средняя величина группы данного назначения, ваг (значения $m_{гр}$ определены по статистическим данным для каждого назначения).

В процессе моделирования текущее значение величин групп, поступающих на назначение, определяется по формуле:

$$m_i = m_{гр} \ln z_i \quad (2)$$

где z_i – случайное число из совокупности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале $0 \leq z_i \leq 1$.

В (Сотников, 1968: 27–29) формула (2) реализуется при ограничении $0 \leq m_{гр} \leq 60$, а в (Сотников, 1979: 7–116) – $0 \leq m_{гр} \leq 30$. Поскольку верхняя граница ограничения $m_{гр}^{max}$ зависит от средней величины групп, то эту границу надо реализовать по-разному для соответствующих величин групп (а не строго давать для всех назначений). Поскольку на путь накопления может поступить минимум один вагон, то нижнюю

границу ограничиваем как один вагон. Для определения $m_{гр}^{max}$ для каждого назначения использован критерий проверки подозрительных (с точки зрения погрешностей)

результатов наблюдений Смирнова (Третьяк, 2004: 10–171). Согласно этому критерию, для установления принадлежности «подозрительного» результата данной группе измерений служит граница, отнесенная от центра распределения на величину $t \cdot S$, т. е. отсутствие принадлежности имеет место при выполнении условия:

$$|x_{\text{под}} - X_{\text{ц. р.}}| \geq t \cdot S, \quad (3)$$

где $x_{\text{под}}$ – результат наблюдения, проверяемый на наличие грубой погрешности (в нашем случае $m_{\text{гр}}^{\text{max}}$);

$X_{\text{ц. р.}}$ – статистическое среднее, вычисленное по всем значениям выборки (в нашем случае $m_{\text{гр}}$);

S – статистическое среднеквадратическое отклонение (СКО), вычисленное по всем значениям выборки (в нашем случае среднеквадратическое отклонение средней величины группы $\sigma_{\text{гр}}$);

t – коэффициент, зависящий от вида и закона распределения, объема выборки, уровня значимости.

Критерий Смирнова используется при объемах выборки $n \geq 25$ или при известных значениях генеральных среднего и СКО. Таким образом, границы погрешности зависят от вида распределения, объема выборки и выбранной доверительной вероятности. Для реализации этого критерия вычисляются действительные значения квантилей распределения (наблюдаемое значение критерия) по формуле:

$$\beta = \frac{\max |m_{\text{гр}}^{\text{max}} - m_{\text{гр}}|}{\sigma_{\text{гр}}} \quad (4)$$

Найденное значение сравнивается с критериальным β_k , приведенным в таблице 3.6 в (Третьяк, 2004: 10–171). В случае $\beta_k > \beta_k$, величина данной группы не является грубой погрешностью и не исключается из выборки.

Рассмотрим пример применения критерия Смирнова для исключения большей величины группы при определении закона их распределения. В таблице 2.1 приведен вариационный ряд распределения числа вагонов, поступивших на одно из назначений плана формирования сортировочной станции Алматы 1 за 14 суток. Число наблюдений n за это время составило 521.

Определение числовых характеристик статистического распределения ($m_{\text{гр}}$, $m_{\text{гр}}^{\text{max}}$ и $\sigma_{\text{гр}}$) производилось с помощью пакета программ по статистической обработке данных Statistica for Windows и MINITAB, и результаты зафиксированы в таблице 2.2. Требуется определить, не содержит ли результат наблюдения 53 ваг. грубую погрешность ($m_{\text{гр}}^{\text{max}} = 53$ ваг). По формуле (2.4) определяем:

$$\beta = \frac{|53 - 12,04|}{10,86} = 3,77$$

Таблица 1. Вариационный ряд поступления величин групп вагонов на путь назначения

Величина группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
Всего наблюдений	66	37	29	24	32	23	16	25	21	23	21	11	328
Величина группы	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	-
Всего наблюдений	16	14	11	13	6	13	8	15	9	3	3	7	118
Величина группы	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36	37	-
Всего наблюдений	4	6	3	7	5	6	8	2	8	5	1	2	57
Величина группы	38	39	40	41	42	44	45	47	49	50	52	53	-
Всего наблюдений	3	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	18
Всего													521

Таблица 2. Числовые характеристики статистического распределения для проверки погрешности $m_{gp}^{max} = 53$ ваг.

n	m_{gp}	m_{gp}^{max}	σгр
521	12,04	53,00	10,86

Из таблицы 3.6 в (Третьяк, 2004: 10–171) для уровня значимости $q=0,05$ и объема выборки $n=521$ находим $\beta_k = 3,703$. Так как не соблюдается условие $\beta_k > \beta$, то можно сделать вывод, что результат $m_{gp}^{max} = 53$ ваг содержит грубую погрешность и должен быть исключен при дальнейшей обработке результатов наблюдений.

Определяем числовые характеристики статистического распределения повторно с исключением $m_{gp}^{max} = 53$ ваг и записываем в таблице 3.

Таблица 3. Числовые характеристики статистического распределения для проверки погрешности $m_{gp}^{max} = 52$ ваг.

n	m_{gp}	m_{gp}^{max}	σгр
520	11,96	52,00	10,72

Требуется определить, не содержит ли результат наблюдения $m_{gp}^{max} = 52$ ваг грубую погрешность. По формуле (2.4) определяем:

$$\beta = \frac{|52 - 11,96|}{10,72} = 3,74$$

Также сравниваем с $\beta_k=3,703$. Так как не соблюдается условие $\beta_k > \beta$, то можно сделать вывод, что результат $m_{зр}^{max} = 52$ ваг содержит грубую погрешность, и должен быть исключен при дальнейшей обработке результатов наблюдений.

Определяем числовые характеристики статистического распределения повторно с исключением $m_{зр}^{max} = 52$ ваг и записываем в таблицу 4.

Таблица 4. Числовые характеристики статистического распределения для проверки погрешности $m_{зр}^{max} = 50$ ваг.

n	$m_{зр}$	$m_{зр}^{max}$	$\sigma_{гр}$
519	11,88	50,00	10,59

Требуется определить, не содержит ли результат наблюдения $m_{зр}^{max} = 50$ ваг грубую погрешность. По формуле (2.4) определяем:

$$\beta = \frac{|50 - 11,88|}{10,59} = 3,60$$

Также сравниваем с $\beta_k=3,703$. Так как соблюдается условие $\beta_k > \beta$, то можно сделать вывод, что результат $m_{зр}^{max} = 50$ ваг не содержит грубую погрешность, и не должен быть исключен при дальнейшей обработке результатов наблюдений. Следовательно, для данного назначения формула (2.2) реализована при ограничении $1 \leq m_{гр} \leq 50$.

В таблице 5 приведены значения $m_{зр}^{max}$, подсчитанные аналогичным образом и для других назначений при $m_{гр}=4-15$ ваг при различных значениях суточных вагонопотоков.

Таблица 5. Результаты определение погрешности $m_{зр}^{max}$ ваг.

$m_{гр}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$m_{зр}^{max}$	30-35	32-38	35-43	40-45	40-46	42-48	44-52	47-54	49-55	50-55	52-56	54-60

Таким образом, в диссертации формула (2) реализована при ограничении $1 \leq m_{гр} \leq m_{зр}^{max}$. Подставляя в (2) величину $m_{гр}$, а z_i - из специальной стандартной программы Excel, определен порядок поступления групп m_i на назначение. В результате для определения средней величины группы вагонов, поступающих на путь накопления в зависимости суточного вагонопотока, предлагается следующая эмпирическая формула:

$$m_{гр} = 0,02U_{сут} + 4,03, \text{ ваг} \quad (5)$$

Эта зависимость получена с помощью статистической обработки данных и подтверждает результаты, полученные В.М. Акулиничевым в работе (Кудрявцев, 2002: 86–96). Ранжирование по тесноте связи полученных данных показало высокую точность сходимости, характеризующуюся коэффициентом детерминации $R^2=0,902$ (Рис. 2).

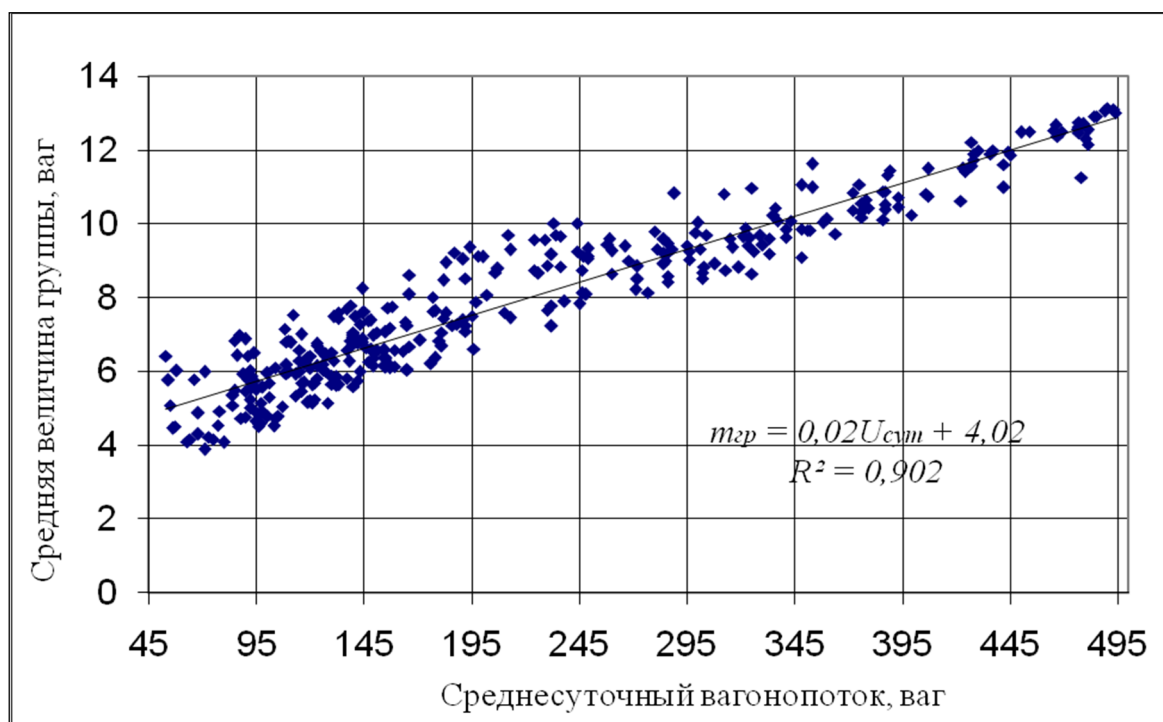


Рис. 2. Зависимость средней величины группы вагонов, поступающих на путь накопления от размера среднесуточного вагонопотока

Поскольку для каждого назначения плана формирования группы вагонов поступают неравномерно как по времени, так и по количеству вагонов в группе, то для моделирования моментов поступления групп вагонов необходимо определить закон распределения интервалов времени между поступлением смежных групп.

В (Быкадоров, 1995: 10–168) показан пример правдоподобности показательного распределения интервалов между поступающими на грузовой двор группами вагонов. Для определения этих закономерностей используется теория восстановления. В исследовании А.В. Панасик (Панасик, 1969: 1–22) с использованием математической статистики установил, что закон распределения интервалов между смежными группами можно рассматривать как распределение величины групп вагонов.

В статье для определения закона распределения интервалов времени между смежными группами вагонов используется метод математической статистики (Кудрявцев, 1977: 1–55). Установлено, что распределение интервалов времени между смежными группами вагонов подчиняется показательному закону распределения. Статистическая проверка согласованности теоретического показательного и фактического распределений произведена по критерию Романовского (Кудрявцев, 1977: 1–55) и в большинстве случаев дала положительные результаты. На рисунках 3–4 частота статистической величины интервалов времени между смежными группами вагонов показана в виде гистограммы, а сплошной линией – теоретическая кривая распределения. Из рисунков видно, что теоретическое и статистическое распределения близки.

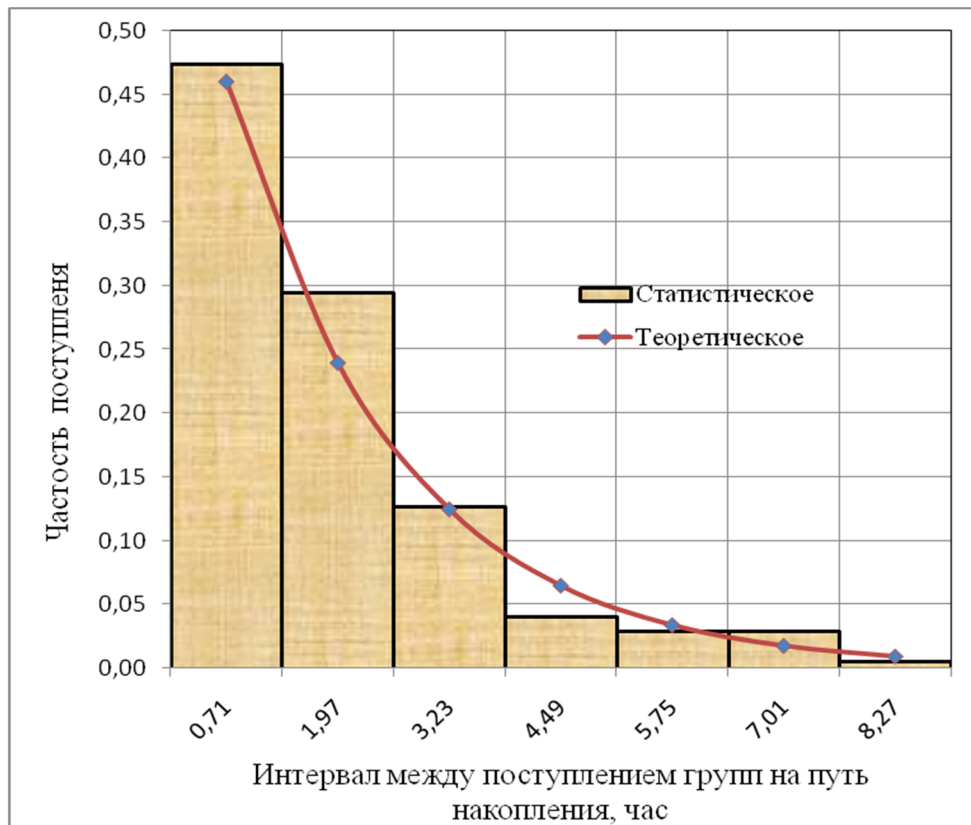


Рис. 3. Распределение величины интервалов времени между смежными группами вагонов при $U_{сут}=87$ ваг, $m_{гр}=6,96$ ваг и $t_{ср}=1,92$ час.

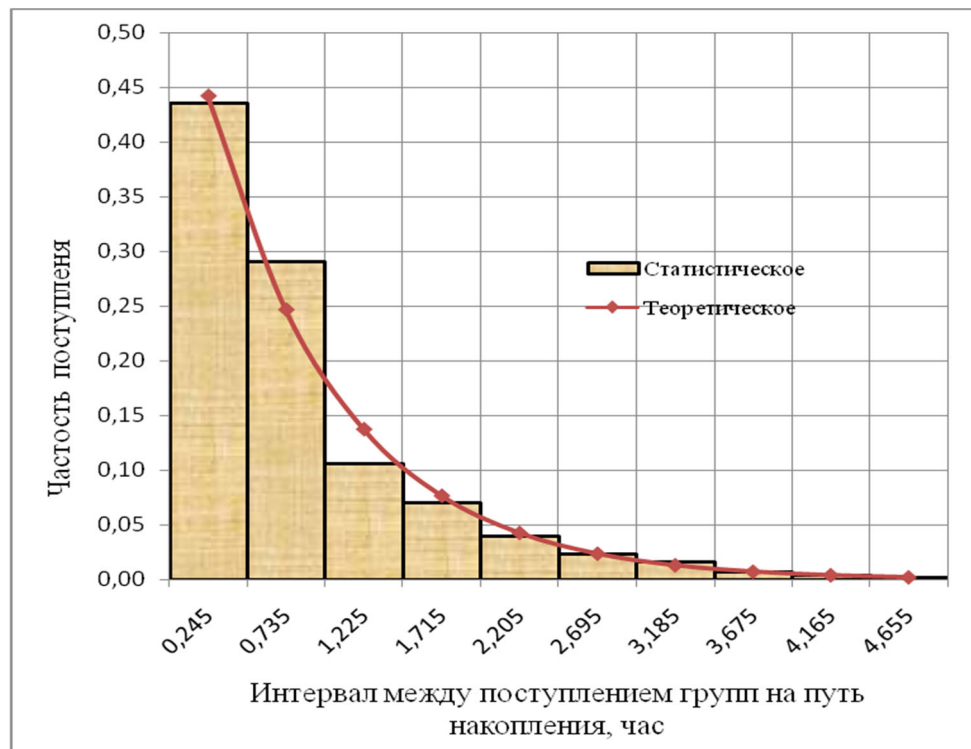


Рис. 4. Распределение величины интервалов времени между смежными группами вагонов $U_{сут}=383$ ваг, $m_{гр}=12,75$ ваг и $t_{ср}=0,80$ час.

При показательном законе текущая величина интервала определяется по формуле (Сотников, 1968: 27–29):

$$I_i = I_{cp} |\ln z_i| \quad (6)$$

где I_{cp} – средний интервал между группами, час (значение I_{cp} определен по статистическим данным для каждого назначения).

В диссертации формула (2.6) реализуется при ограничении $0,2I_{cp} \leq I_i \leq 3I_{cp}$. Моделирование интервалов между поступлением групп вагонов на сортировочную станцию в течение 17 суток и на их основе разработку графика поступления групп вагонов на путь назначения производим следующим образом.

Прибытие первой группы на назначение принимаем - в 00:00.

Из таблицы случайных чисел произвольно выберем число, затем возьмём натуральный логарифм произведения и умножим на величину I_{cp} для данного назначения. Полученный результат преобразуем в минуты и прибавляем к предыдущему времени прибытия группы. Например, для $I_{cp}=0,61$ час:

$$I_1 = 0,61 / \ln 0,7956 = 0,38 \text{ час} = 23 \text{ мин.}$$

Вторая группа поступает в 00:23.

$$I_2 = 0,61 / \ln 0,8643 = 0,24 \text{ час} = 14 \text{ мин.}$$

Третья группа поступит на сортировочную станцию в 00:37 и т. д. до конца расчётных 17 суток. Все расчеты сделаны с помощью специальных стандартных программ Excel.

В полученный таким образом график поступления групп на путь назначения ставим соответствующую величину групп вагонов (полученную из формулы (2)) и получаем поступление вагонов на назначение за 31 сутки непрерывно.

При гибком графике состав считается накопленным, если его вес или длина соответствует норме. Поэтому для моделирования процесса накопления значения m_i , полученные из формулы (2), суммируются до тех пор, пока не будет выполнено условие $\sum m_i \geq m_{om}$, т.е. до получения значения нормы отправляемого состава. Затем суммируются соответствующие значения $\sum I_i$, полученные из формулы (6), в результате чего получают величину периода накопления i -го поезда. Повторяют данный цикл много раз и записывают значения T_i для установления закономерностей составаобразования в сортировочных парках.

Поскольку в твердом графике накопление составов завершается в зависимости от расписания отправления поездов, то для моделирования процесса накопления значения m_i , полученные из формулы (2), суммируются до времени прибытия последней группы соответствующих ниток. Поэтому при твердом графике для установления закономерностей составаобразования требуется исследовать величину поступления вагонов на расчетные периоды (между нитками графика).

Заключение

В данной диссертационной работе проведено комплексное исследование закономерностей поступления групп вагонов по назначениям и определение порядка их поступления на пути накопления сортировочных станций. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности работы сортировочных станций, сокращения времени формирования составов и оптимизации использования путей

накопления, что имеет большое практическое значение для железнодорожной логистики и управления грузопотоками.

Реализация целей и методов исследования. Цель исследования — выявление закономерностей распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением, а также разработка методов прогнозирования порядка поступления групп на пути накопления — была достигнута посредством комплексного применения современных методов математической статистики, проверки гипотез, моделирования и анализа эмпирических данных. Для обработки статистических данных использовались вариационные ряды, расчет средних величин, дисперсий и среднеквадратических отклонений. Проверка данных на наличие грубых погрешностей проводилась с использованием критерия Смирнова, что позволило исключить аномальные значения и обеспечить точность расчетов. Для определения законов распределения величины групп и интервалов между ними применялся показательный закон распределения, аппроксимированный с учетом статистических наблюдений. Моделирование порядка поступления групп вагонов осуществлялось с использованием случайных чисел и эмпирических зависимостей средней величины группы от суточного вагонопотока, что позволило построить реалистичные графики поступления вагонов на пути накопления.

Установлено, что величины групп вагонов и интервалы времени между смежными группами подчиняются показательному закону распределения. Это подтверждает гипотезу о предсказуемости поступления вагонов на основе статистических закономерностей.

Разработаны эмпирические формулы для расчета средней величины группы вагонов в зависимости от суточного вагонопотока, а также формулы для определения интервалов между поступающими группами.

Построены графики поступления групп вагонов на пути накопления на период до 31 суток, что позволило визуализировать закономерности составаобразования и динамику поступления вагонов.

Разработан алгоритм учета ограничений по величине групп и интервалам между ними, что обеспечивает реалистичность моделирования процессов накопления составов.

Проведена проверка статистических данных на наличие грубых погрешностей с применением критерия Смирнова, что повысило достоверность результатов исследования и исключило аномальные значения из дальнейшей обработки.

Цель исследования подтверждена: выявлены закономерности поступления групп вагонов по назначениям и разработаны методы определения их порядка поступления на пути накопления.

Полученные результаты позволяют прогнозировать поступление групп вагонов с высокой точностью, что является важным условием оптимизации работы сортировочных станций.

Разработанные формулы и алгоритмы могут использоваться для моделирования процессов составаобразования, планирования работы путей накопления и автоматизации диспетчерского управления.

Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации работы сортировочных станций, планирования графиков накопления составов и повышения эффективности управления вагонопотоками.

Разработанные методики прогнозирования поступления групп вагонов позволяют сократить время формирования составов и уменьшить простой вагонов на путях накопления.

Модели и алгоритмы, предложенные в работе, могут быть интегрированы в автоматизированные системы диспетчерского управления железнодорожным движением, что открывает перспективы дальнейшего совершенствования железнодорожной логистики.

Перспективой дальнейших исследований является расширение моделей с учетом сезонных колебаний вагонопотоков, изменения структуры грузов, внедрение адаптивного моделирования в реальном времени и использование искусственного интеллекта для прогнозирования и оптимизации потоков вагонов.

Проведенное исследование подтверждает выдвинутый автором тезис о подчинении величин групп вагонов и интервалов между их поступлением показательному закону распределения. Выявленные закономерности, разработанные методы и эмпирические формулы вносят вклад в развитие научного знания в области железнодорожного составообразования и управления грузопотоками, а также имеют прямое практическое применение для оптимизации работы сортировочных станций и повышения эффективности перевозочного процесса.

Таким образом, проведенная работа не только подтверждает теоретическую значимость показательных закономерностей распределения вагонов, но и обеспечивает возможность их внедрения в практику планирования и управления железнодорожными грузопотоками, открывая перспективы для дальнейших исследований и совершенствования систем логистики на железной дороге.

ЛИТЕРАТУРА

- Бадах, 1967 — Бадах В.И. Специализация сортировочных путей на горочных станциях большой мощности. Дисс. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛИИЖТ — 1967. — 249 с. [Russ.]
- Быкадоров, 1995 — Быкадоров А.В., Пешков А.М. Применение математических методов в управлении процессами перевозок: Учебное пособие. — СГАПС. — 1995. — 68 с. [Russ.]
- Быкадоров, 1995 — Быкадоров А.В., Пешков А.М. Применение математических методов в управлении процессами перевозок: Учебное пособие. — СГАПС. — 1995. — 68 с. [Russ.]
- Иванков, 1966 — Иванков Н.М. К вопросу о влиянии структура перерабатываемого вагонопотока на использование сортировочных путей // Труды ДИИТ. — 1966. — Вып. 61. — С. 73–81 [Russ.]
- Жуков, 2000 — Жуков В.И., Уланов А.А. Анализ простоя местных вагонов в процессе накопления // Сб. науч. трудов «Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог». — Новосибирск: СГУПС. — 2000. — С. 141–147. [Russ.]
- Кудрявцев, 1977 — Применение математических методов в эксплуатационных расчетах на железнодорожном транспорте. Методические указания. Часть II. // Под общей ред. В.А.Кудрявцева. — Ленинград. — 1977. — 55 с. [Russ.]
- Кудрявцев, 2002 — Кудрявцев В.А., Волчанинов В.А., Бураченко В.Н. Условия применения твердого графика движения поездов / Сб. науч. трудов РАТ «Актуальные проблемы транспорта». — Спб. — 2002. — Том 3. — С. 86–96. [Russ.]
- Кудрявцев, 1977 — Применение математических методов в эксплуатационных расчетах на железнодорожном транспорте. Методические указания. Часть II. / Под общей ред. В.А.Кудрявцева. — Ленинград. — 1977. — 55 с. [Russ.]
- Лебедева, 1963 — Лебедева Т.П., Страковский И.И., Тишков Л.Б. и др. Основные требования к техническому оснащению сортировочных станций // Труды ВНИИЖТ — 1963. — Вып. 270. — 220 с. [Russ.]
- Платонов, 1955 — Платонов А.И. Взаимодействие процессов на сортировочных станциях (теория, практика и расчеты). — М.: Трансжелдориздат — 1955. — 224 с. [Russ.]
- Панасик, 1969 — Панасик А.В. Исследование неравномерности поступления вагонопотока на сортировочную станцию и влияние этого фактора на накопление и простой составов передаточных поездов: Автореф. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛИИЖТ. — 1969. — 22 с. [Russ.]
- Третьяк, 2004 — Третьяк Л.Н. Обработка результатов наблюдений. Учебное пособие. — Оренбург: ГОУ ОГУ. — 2004. — 171 с. [Russ.]
- Сотников, 1968 — Сотников Е.А. Закономерности составообразования на сортировочных станциях / Вестник ВНИИЖТ. — 1968. — №6. — С. 27–29. [Russ.]
- Сотников, 1979 — Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. — М.: Транспорт. — 1979. — 239 с. [Russ.]
- Хованский, 1967 — Хованский Н.И. Сокращение времени накопления вагонов на станцию // Железнодорожный транспорт. — 1967. — №4. — С. 48–50. [Russ.]
- Швечиков, 1997 — Швечиков И.П., Истомин И.С., Бородин А.Ф. Твердый график в грузовом движении // Железнодорожный транспорт. — 1997. — № 1. — С. 12–15. [Russ.]

REFERENCES

- Badakh, 1967 — Badakh, V.I. (1967). Spetsializatsiya sortirovochnykh putei na gorochnykh stantsiiakh bol'shoi moshchnosti [Specialization of marshalling tracks at high-capacity hump yards]. — Diss. ... kand. tekhn. nauk. — L.: LIIZhT. — 1967. — 249 p. [in Russ.]
- Bykadorov, 1995 — Bykadorov, A.V., Peshkov, A.M. (1995). Primenenie matematicheskikh metodov v upravlenii protsessami perevozok [Application of mathematical methods in transportation management]. — SGAPS. — 1995. — 68 p. [in Russ.]

Ivankov, 1966 — Ivankov, N.M. (1966). K voprosu o vliianii struktury pererabatyvaemogo vagonopotoka na ispol'zovanie sortirovochnykh putei [On the influence of the structure of the handled wagon flow on the use of marshalling tracks] // Trudy DIIT. — 1966. — Issue 61. — Pp. 73–81 [in Russ.]

Khovanskii, 1967 — Khovanskii, N.I. (1967). Sokraschenie vremeni nakopleniia vagonov na stantsiiu [Reducing wagon accumulation time at the station] // Zheleznodorozhnyi transport. — 1967. — No. 4. — Pp. 48–50 [in Russ.]

Kudriavtsev, 1977 — Kudriavtsev, V.A. (1977). Primenenie matematicheskikh metodov v ekspluatatsionnykh raschetakh na zheleznoi doroge. Metodicheskie ukazaniya. Chast' II [Application of mathematical methods in operational calculations on railways. Methodical guidelines. Part II]. — Leningrad. — 1977. — 55 p. [in Russ.]

Kudriavtsev, 2002 — Kudriavtsev, V.A., Volchaninov, V.A., Burachenko, V.N. (2002). Usloviia primeneniia tverdogo grafika dvizheniia poezdov [Conditions for applying a fixed train schedule] // Sb. nauch. trudov RAT “Aktual'nye problemy transporta”. — SPb. — 2002. — Vol. 3. — Pp. 86–96 [in Russ.]

Lebedeva, 1963 — Lebedeva, T.P., Strakovskii, I.I., Tishkov, L.B. (1963). Osnovnye trebovaniia k tekhnicheskomu osnashcheniiu sortirovochnykh stantsii [Main requirements for technical equipment of marshalling yards] // Trudy VNIIZhT. — 1963. — Issue 270. — 220 p. [in Russ.]

Platonov, 1955 — Platonov, A.I. (1955). Vzaimodeistvie protsessov na sortirovochnykh stantsiiakh (teoriya, praktika i raschety) [Interaction of processes at marshalling yards (theory, practice, and calculations)]. — M.: Transzheldorizdat. — 1955. — 224 p. [in Russ.]

Panasik, 1969 — Panasik, A.V. (1969). Issledovanie ne ravnomernosti postupleniia vagonopotoka na sortirovochnuiu stantsiiu i vliianie etogo faktora na nakoplenie i prostoi sostavov peredatochnykh poezdov [Study of the irregularity of wagon flow arrival at a marshalling yard and its influence on accumulation and idle time of transfer trains]. — Avtoref. ... kand. tekhn. nauk. — L.: LIIZhT. — 1969. — 22 p. [in Russ.]

Tret'iak, 2004 — Tret'iak, L.N. (2004). Obrabotka rezul'tatov nablyudenii [Processing observation results]. — Orenburg: GOU OGU. — 2004. — 171 p. [in Russ.]

Shvechikov, 1997 — Shvechikov, I.P., Istomin, I.S., Borodin, A.F. (1997). Tverdyi grafik v gruzovom dvizhenii [Fixed schedule in freight traffic] // Zheleznodorozhnyi transport. — 1997. — No. 1. — Pp. 12–15 [in Russ.]

Sotnikov, 1968 — Sotnikov, E.A. (1968). Zakonomernosti sostavooobrazovaniia na sortirovochnykh stantsiiakh [Patterns of train formation at marshalling yards] // Vestnik VNIIZhT. — 1968. — No. 6. — Pp. 27–29 [in Russ.]

Sotnikov, 1979 — Sotnikov, E.A. Intensifikatsiia raboty sortirovochnykh stantsii [Intensification of marshalling yard operations]. — M.: Transport. — 1979. — 239 p. [in Russ.]

Zhukov, 2000 — Zhukov, V.I., Ulanov, A.A. (2000). Analiz prostoya mestnykh vagonov v protsesse nakopleniia [Analysis of idle time of local wagons during accumulation] // Sb. nauch. trudov “Sovershenstvovanie ekspluatatsionnoi raboty zheleznykh dorog”. — Novosibirsk: SGUPS. — 2000. — Pp. 141–147 [in Russ.]