

УДК 625.144.4

## Сокращение транспортных расходов на доставку рельсовых плетей за счет внедрения промежуточных складов

**Е. В. Пакулина, А. А. Мигров, А. М. Перепеченов, И. Ю. Новосельский**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Пакулина Е. В., Мигров А. А., Перепеченов А. М., Новосельский И. Ю. Сокращение транспортных расходов на доставку рельсовых плетей за счет внедрения промежуточных складов // Бюллетень результатов научных исследований. 2026. Вып. 2. С. 161–175. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-161-175

### Аннотация

Рельсовые плети являются важным ресурсом для строительства и ремонта пути, потребность в котором постоянно растет. Их доставка к местам работ должна осуществляться своевременно. Так как участки производства работ или строительства магистралей не располагают местами промежуточного хранения рельсовых плетей, логистическая цепь обеспечения ресурсами часто работает с задержками, прямо влияющими на сроки производства работ и транспортные расходы. **Цель исследования:** сокращение транспортных расходов за счет внедрения промежуточных складов рельсовых плетей. **Методы:** использованы методы теории графов. Решена задача поиска  $p$ -медиан на взвешенном графе, представляющем транспортную сеть. Для поиска оптимальных мест расположения складов применен алгоритм Флойда — Уоршелла. **Результаты:** выполнен анализ логистической цепи поставки рельсовых плетей для путевых работ, выявлены и проанализированы основные недостатки существующей системы. Предложен и обоснован способ оптимизации логистической цепи за счет внедрения в цепь промежуточных складов рельсовых плетей. **Практическая значимость:** применение промежуточных складов позволит сократить транспортные издержки, уменьшить продолжительность доставки плетей к местам путевых работ и повысить равномерность загрузки рельсосварочных предприятий.

**Ключевые слова:** логистика, путевые работы, рельсовые плети, обеспечение ресурсами путевых работ, логистическая цепь поставки рельсовых плетей, теория графов, промежуточный склад рельсовых плетей

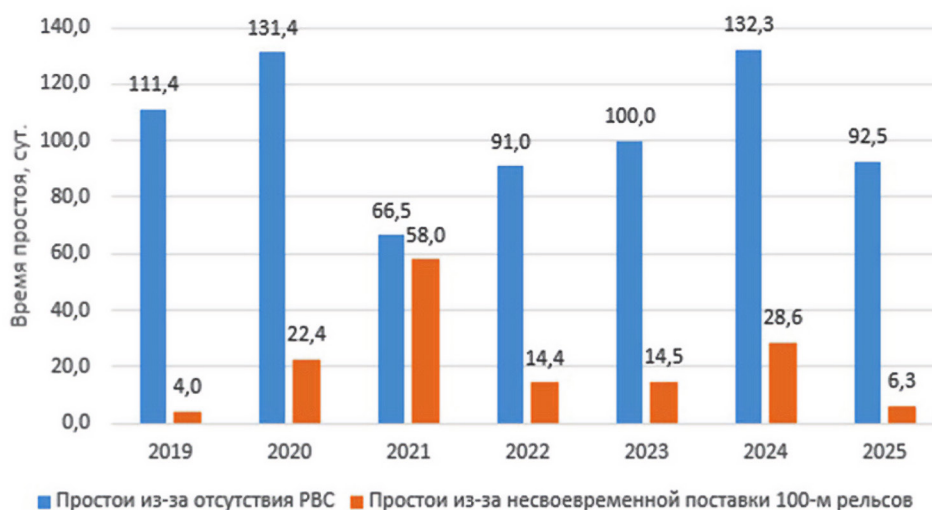
### Введение

Железнодорожный путь как ключевой элемент инфраструктуры подвергается значительным и непрерывным нагрузкам, что обуславливает необходимость его регулярного обновления и ремонта. В современных условиях для путевых работ используют рельсовые плети длиной 800 м, что обусловлено их улучшенными техническими характеристиками и меньшими эксплуатационными затратами по сравнению с 25-метровыми рельсами. Помимо ремонтных работ, строительство высокоскоростных магистралей ставит задачу поставки больших объемов рельсовых плетей, которые должны доставляться к местам работ своевременно и в требуемом объеме.

## Текущая схема логистики рельсовых плетей

Рельсовые плети являются уникальным грузом, его доставка к местам путевых работ представляет собой логистический процесс, в котором участвует значительное число структурных подразделений ОАО «РЖД». Осуществление этой доставки сопряжено с рядом сложностей.

1. *Дефицит специализированного подвижного состава.* Ввиду значительной длины перевозка рельсовых плетей возможна только специализированными рельсовозными составами (далее — РВС), которые имеют строгие ограничения по маршрутам движения. Часто эти составы простаивают из-за дефицита локомотивов, что, в свою очередь, приводит к простоям рельсосварочных предприятий (далее — РСП). Например, на ведущем предприятии Октябрьской железной дороги, РСП-1, основными причинами задержек поставки рельсовых плетей потребителям и простоев предприятия за последние несколько лет являлись нехватка РВС и несвоевременная поставка 100-метровых рельсов с металлургического комбината (далее — МК) (рис. 1).



**Рис. 1.** Распределение простоев предприятия РСП-1 по годам и причинам, сут.  
(по данным РСП-1 за 2019–2025 годы)

2. *Доставка рельсовых плетей привязана к технологии укладки и к «окнам» в движении поездов, выделяемым для производства путевых работ.* Задержка напрямую влияет на выполнение всего объема работ и приводит к недоиспользованию времени «окна». Своевременность выполнения путевых работ зависит от множества факторов. К ним относятся: надежность составляющих технологического процесса, эффективность использования «окон» в поездном движении, соблюдение плановой продолжительности работ и т. д. В исследовании [1] на основе отчетных данных ОАО «РЖД» по проведению путевых работ выявлены и классифицированы факторы, влияющие на соблюдение плановой продолжительности путевых работ (рис. 2)



Рис. 2. Схема факторов, влияющих на своевременность выполнения путевых работ

Влияние этих факторов на своевременность выполнения путевых работ неодинаково. Хотя проблемы с несвоевременной доставкой рельсовых плетей возникают относительно редко, но они нарушают установленные цепи поставок, влияют на перевозочный процесс и соблюдение плановой продолжительности путевых работ.

3. *Из-за специфики крепления и риска бокового смещения плетей, рельсовозные составы движутся со значительными ограничениями скорости (40–80 км/ч), что создает сложности с выделением «ниток» для проезда таких составов при планировании графика движения поездов.*

4. *Необходимость соблюдения температурного режима при выгрузке рельсовых плетей на участке путевых работ.* Выгрузка плетей на участке путевых работ разрешена в определенном температурном диапазоне (от –10 до +30 °С). В случае отклонения температуры работы приостанавливаются, что приводит к вынужденным простоям РВС и нарушению производственных планов исполнителей работ.

5. *Проблемы, связанные с хранением рельсовых плетей.* Доставленные рельсовые плети выгружают внутрь колеи или на обочину пути. При этом количество временно хранящихся плетей строго ограничено. При таком хранении рельсовые плети подвергаются воздействию атмосферных осадков, изменений температуры и механическим воздействиям, что ухудшает эксплуатационные характеристики плетей.

6. *Неравномерность изготовления и потребления рельсовых плетей.* В настоящее время готовые рельсовые плети доставляются напрямую от РСП к исполнителям путевых работ (путевые машинные станции, далее — ПМС) в соответствии с предварительными заявками. Логистическая цепь изготовления и поставки

рельсовых плетей к местам путевых работ состоит из следующих этапов (рис. 3): производство 100-метровых рельсов на МК; отгрузка и доставка рельсов на РСП; прием и разгрузка рельсов на предприятии; производство рельсовых плетей; отгрузка и доставка готовой продукции ПМС. Поставка рельсовых плетей производится в объемах, установленных титулами ремонта пути на текущий год.

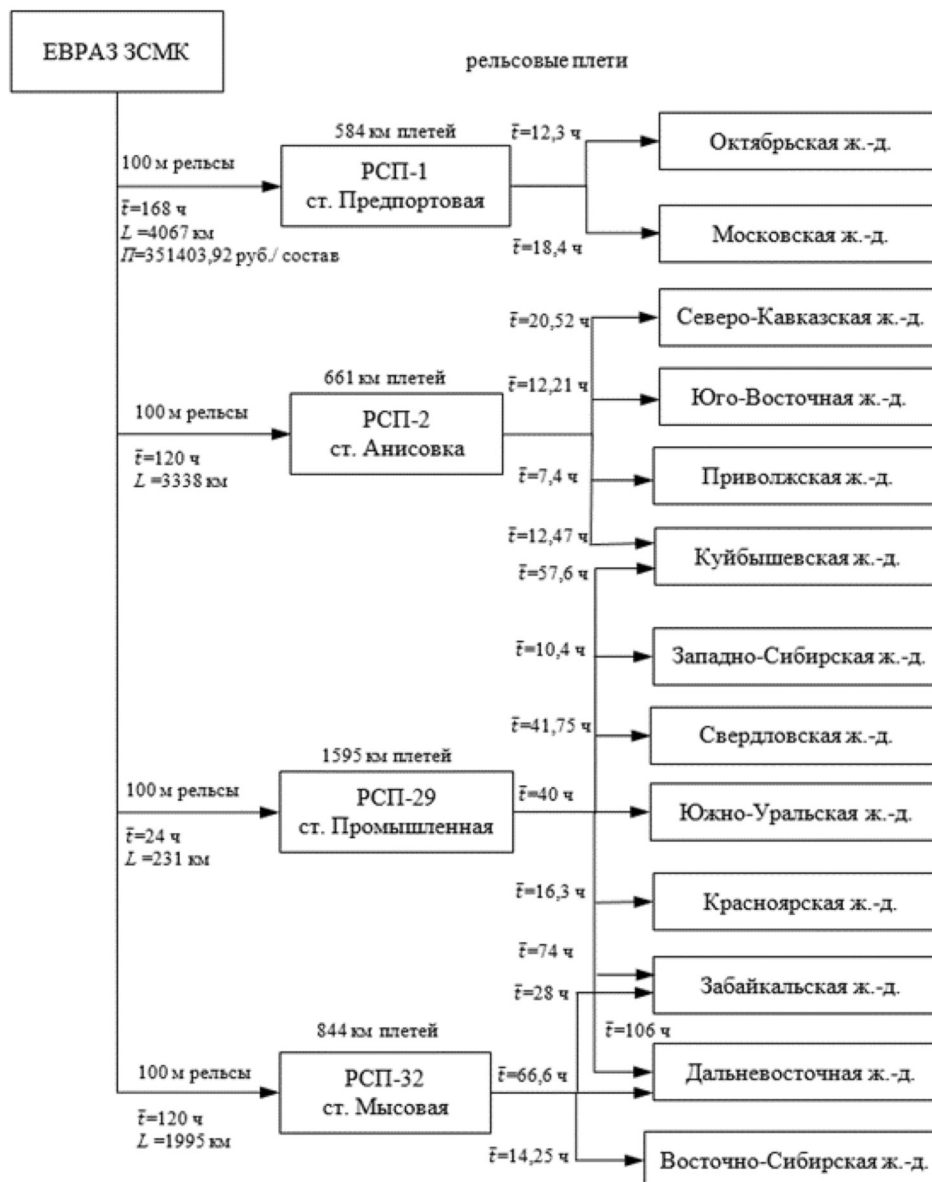


Рис. 3. Схема организации поставки рельсовых плетей для путевых работ

Предприятиями по производству рельсовых плетей из 100-метровых рельсов являются: РСП-1 (ст. Предпортовая, Октябрьская ж.-д.), РСП-2 (ст. Анисовка, Приволжская ж.-д.), РСП-29 (ст. Промышленная, Западно-Сибирская ж.-д.) и РСП-32 (ст. Мысовая, Восточно-Сибирская ж.-д.). Согласно отчетным данным ОАО «РЖД», общий объем поставки рельсовых плетей для путевых работ в 2025 году составил 3684 км (табл. 1).

**ТАБЛИЦА 1. Потребности и объемы поставки рельсовых плетей из 100-метровых рельсов для путевых работ в 2025 году**

Предприятие	Загрузка производства, %	Объем поставки, км	Среднее плечо доставки, км	Средняя стоимость доставки, руб. за состав	Среднее время доставки, ч
РСП-1	61	584	323	4 393 543	15,3
РСП-2	46	661	598	6 293 852	18,3
РСП-29	90	1595	1671	10 744 050	31,4
РСП-32	59	844	2528	20 128 000	40,1

Однако объемы отгрузки плетей рельсосварочными предприятиями распределены неравномерно. Наиболее загруженными являются РСП-29 (1595 км) и РСП-32 (844 км), обслуживающие Восточный полигон железных дорог, что связано с большими объемами путевых работ на участках, а также со значительной площадью территории, на которой они выполняются. Таким образом, два предприятия — РСП-29 и РСП-32 — являются основными поставщиками рельсовых плетей для нескольких железных дорог.

Отмечается и существенная разница в загрузке рельсосварочных предприятий. Так, годовая загрузка производственных мощностей РСП-1, обеспечивающего нужды двух железных дорог, составляет всего 61 %, в то же время РСП-29, обслуживающее семь железных дорог, функционирует на полную мощность, достигая 90 % загрузки производства. Возникающая неравномерность загрузки РСП обусловлена не столько разницей в производственных мощностях рельсосварочных предприятий, сколько географией путевых работ.

Географическое расположение объектов путевых работ приводит к существенным различиям и в плечах доставки. Среднее плечо доставки РСП-1 и РСП-2 находится в диапазоне 323–598 км, тогда как для РСП-29 и РСП-32 эти показатели достигают 1671 и 2528 км соответственно (рис. 4). Значительная дальность приводит к большим транспортным затратам на перевозку рельсовых плетей.

Анализ текущей системы логистики рельсовых плетей для путевых работ позволил выявить ряд существенных проблем:

- неравномерность распределения объемов отгрузки между рельсосварочными предприятиями;
- неравномерность среднего плеча доставки;
- высокие транспортные расходы на перевозку рельсовых плетей.

Для повышения равномерности загрузки рельсосварочных предприятий, обеспечения стабильности поставки рельсовых плетей, уменьшения транспортных расходов и сохранения качества плетей предлагается разместить на сети



Рис. 4. Схема поставки рельсовых плетей на сети железных дорог РФ

железных дорог РФ промежуточные склады рельсовых плетей. При этом возникает несколько научных задач (рис. 5): необходимо определить количество промежуточных складов, вместимость каждого из них и решить вопрос об оптимальном месте расположения складов. Часть задач уже решалась различными исследователями ранее. Например, определению вместимости склада ресурсов для путевых работ были посвящены работы [2, 3]. Количество промежуточных складов для каждого рельсосварочного предприятия зависит от максимальной вместимости одного склада и оптимального расстояния от склада до участков работ. Можно предположить, что для каждого рельсосварочного предприятия потребуется не менее двух-трех промежуточных складов. Данное исследование посвящено задаче определения оптимальных мест расположения промежуточных складов рельсовых плетей.

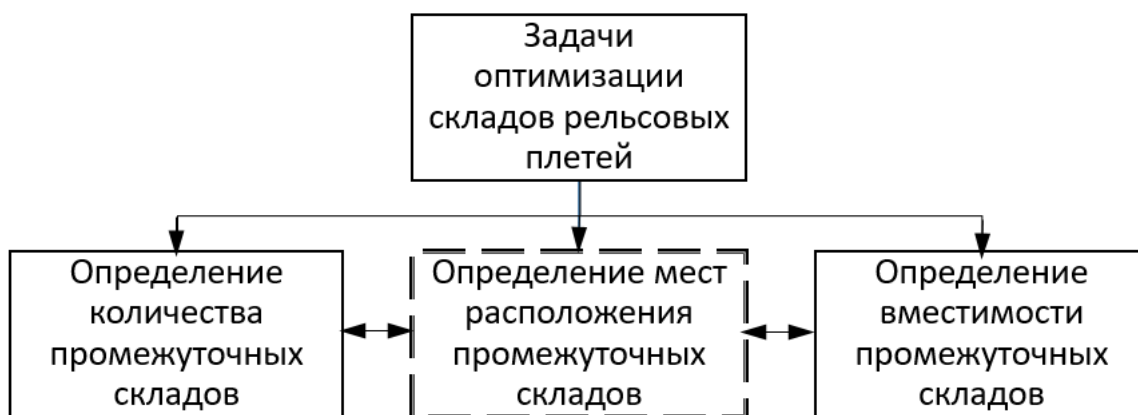


Рис. 5. Классификация задач, связанных с размещением складов рельсовых плетей на сети железных дорог

Научная гипотеза исследования заключается в том, что внедрение в логистическую цепь поставки рельсовых плетей для путевых работ промежуточных складов приведет к снижению транспортных расходов.

## Материалы и методы

Задача определения оптимального расположения промежуточных складов рельсовых плетей обычно решается применением комбинаторных [4, 5] или эвристических [6, 7] алгоритмов. Основная идея комбинаторных алгоритмов состоит в использовании конечности множества допустимых решений и замене полного их перебора сокращенным (направленным перебором). Комбинаторные алгоритмы основаны на последовательном разбиении множества на подмножества и оценке получаемых подмножеств. Эвристический алгоритм — это алгоритм, правильность которого для всех возможных случаев не доказана, но про который известно, что он дает достаточно хорошее решение в большинстве случаев [6].

Задача определения мест размещения складов изучалась в работах [8–12]. В основе решения задачи лежит теория графов. Граф описывается с помощью конечного множества вершин  $V$  и множества ребер  $R$ , соединяющих пары вершин —  $G = (V, R)$  [13, 14, 15]. Сеть железных дорог представляется в виде взвешенного графа, узлы которого — места проведения путевых работ, ребра — кратчайшие расстояния между участками. Для определения оптимального места расположения промежуточного склада требуется найти такую вершину, для которой сумма кратчайших расстояний до всех остальных вершин графа была бы минимальной. Оптимальное место расположения склада называется  $p$ -медианой графа.

Формализовать целевую функцию решения задачи можно в следующем виде:

$$F = \sum_{i=1}^n d_i \cdot v_i \rightarrow \min$$

при ограничении  $V \geq \sum_{i=1}^n v_i$  и граничных условиях:  $d_i \geq 0, v_i \geq 0$ ;

где  $i = 1, \dots, n$  — количество узлов в графе;

$d_i$  — кратчайшее расстояние до  $i$ -го узла;

$v_i$  — потребность в  $i$ -м узле, км пути;

$V$  — суммарная потребность в плетях, км в год.

Оптимизация поиска мест расположения промежуточных складов предполагает наличие данных о расстояниях между участками работ и их последующее представление в виде матрицы кратчайших расстояний. Для этого был создан специальный программный модуль, который выполняет расчеты согласно Тарифному руководству № 4 [16], используемому для определения тарифных расстояний при железнодорожных перевозках грузов, пассажиров и грузобагажа между станциями (рис. 6).



В настоящее время определение транспортных затрат на перевозку рельсовых плетей в места путевых работ производится по Тарифному руководству № 1 [17]. Провозная плата формируется на основе типа груза, вида подвижного состава, способа отправки, а также дополнительных коэффициентов, учитывающих особенности конкретной перевозки.

Для расчета провозной платы на перевозку рельсовых плетей используют следующую зависимость:

$$\Pi = T \cdot K_{\text{кл}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{о}} \cdot K_{\text{и}},$$

где  $T$  — тариф, который определяется согласно расстоянию перевозки, руб.;

$K_{\text{кл}}$  — коэффициент, учитывающий класс груза;

$K_{\text{гр}}$  — коэффициент, учитывающий род груза;

$K_{\text{о}}$  — коэффициент, учитывающий вид отправки (повагонная/групповая/маршрутная);

$K_{\text{и}}$  — процент индексации тарифов на грузовые перевозки в текущий период.

Например, при перевозке рельсовых плетей на расстояние 263 км транспортные расходы будут составлять  $\Pi = 37580 \cdot 1,74 \cdot 1,05 \cdot 0,85 \cdot 1,1 = 64195,8$  руб. за один вагон.

## Результаты и обсуждение

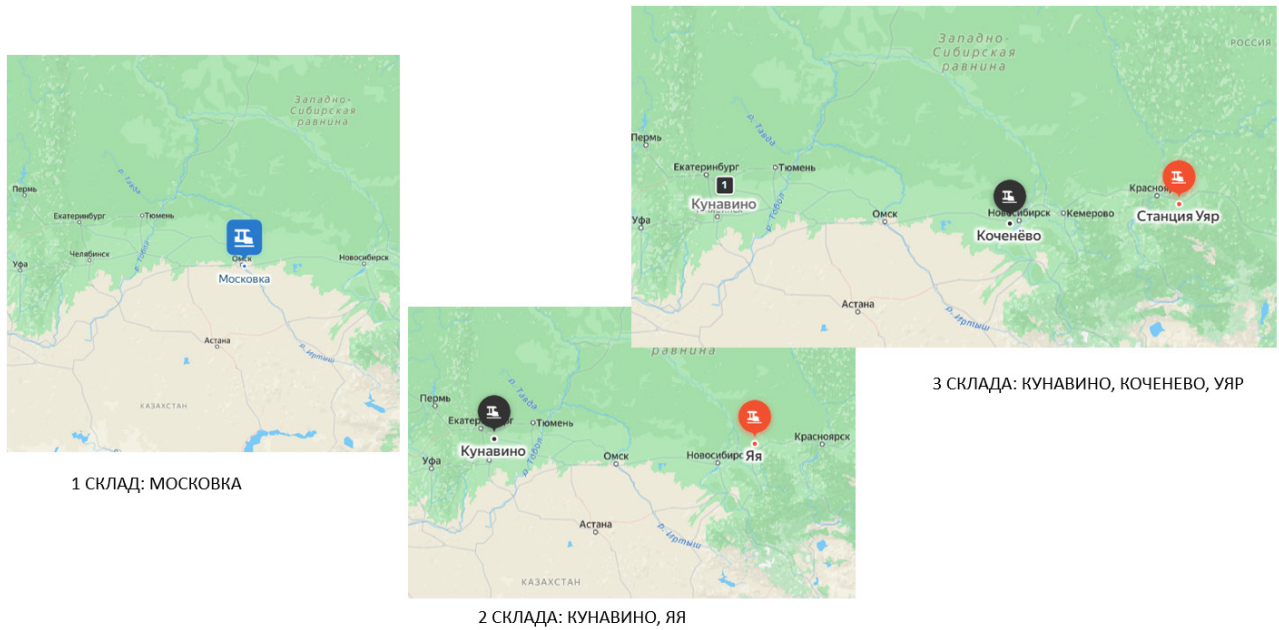
Согласно данным по распределению участков работ и потребности в рельсовых плетях за 2025–2027 годы, полученным от ОАО «РЖД», были определены места оптимального расположения промежуточных складов рельсовых плетей.

Результаты расчета для наиболее загруженного РСП-29, поставляющего рельсовые плети для Восточного полигона, представлены на рис. 8.

На основе данных о местоположении промежуточных складов рельсовых плетей были рассчитаны годовой пробег РВС и суммарные затраты на доставку в течение года (табл. 2).

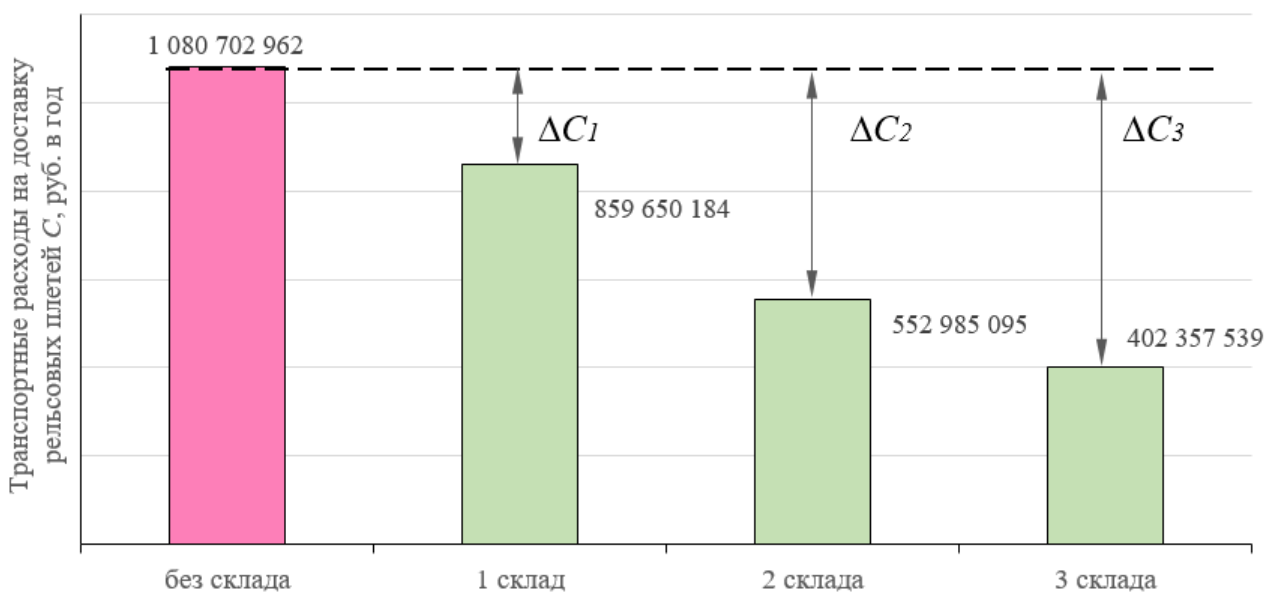
**ТАБЛИЦА 2. Параметры доставки рельсовых плетей с учетом промежуточных складов по РСП-29 за 2025 год**

Количество промежуточных складов	Место расположения промежуточных складов	Суммарный пробег РВС, рейсо-км	Суммарная стоимость доставки плетей, руб.
1	Московка	87 112,8	859 650 184,4
2	Кунавино, Яя	45 218,7	552 985 094,5
3	Кочнево, Уяр, Кунавино	36 801,3	402 357 539



**Рис. 8.** Оптимальные места расположения промежуточных складов рельсовых плетей для РСП-29

На рис. 9 показаны величины транспортных расходов на доставку рельсовых плетей без промежуточных складов и при предлагаемом количестве складов. Согласно выполненным расчетам, сокращение транспортных расходов при одном складе составит  $\Delta C_1 = 221\,052\,778$  руб., при двух складах  $\Delta C_2 = 527\,717\,868$  руб., а при трех складах  $\Delta C_3 = 678\,345\,423$  руб. за год.



**Рис. 9.** Сравнительная диаграмма транспортных расходов на доставку рельсовых плетей из РСП-29.  $\Delta C_1, \Delta C_2, \Delta C_3$  — сокращение транспортных расходов при одном, двух и трех промежуточных складах, руб. в год

Анализ основных параметров логистического процесса доставки рельсовых плетей по Восточному полигону железных дорог показал:

1. Принятая научная гипотеза о сокращении транспортных расходов на перевозку рельсовых плетей за счет внедрения промежуточных складов подтверждается. Внедрение складов рельсовых плетей для Восточного полигона позволит сократить транспортные расходы на 20% — с 1 080 702 962 руб. до 859 650 184 руб. за год. Также в среднем на 50% уменьшится и суммарный пробег рельсовозных составов.

2. Для решения задачи о выборе мест оптимального расположения промежуточных складов рельсовых плетей может быть применен метод поиска  $p$ -медиан графа участков путевых работ.

3. При увеличении количества промежуточных складов в логистической цепи сокращение транспортных расходов может достигать 62%. Например, использование трех промежуточных складов в цепи поставки рельсовых плетей для Восточного полигона снижает транспортные расходы на 678 345 423 руб. в год.

*Исследования, выполняемые по данной тематике, проводились в рамках реализации Федеральной программы поддержки университетов «Приоритет-2030».*

## Список источников

1. Пакулина Е. В., Мигров А. А. Анализ факторов, влияющих на соблюдение плановой продолжительности путевых работ // VI Бетанкуровский международный инженерный форум (Санкт-Петербург, 25 ноября — 2 декабря 2024 года): сборник трудов: в 2 т. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. С. 68–74. EDN IYJIWG
2. Пакулина Е. В., Мигров А. А. Математическая модель определения оптимальной емкости склада рельсовых плетей для путевых работ // Транспорт и логистика: развитие в условиях цифровизации экономики: сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, 6–7 февраля 2025 года). Ростов н/Д.: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2025. С. 192–195. EDN GURUCT
3. Адволотикин Д. И. Моделирование складов для хранения материалов верхнего строения железнодорожного пути // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 10(148). DOI: 10.60797/IRJ.2024.148.133. EDN AVWEFW
4. Филиппова А. С., Поречный С. С., Рамазанова Р. Р. Основы комбинаторных алгоритмов: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2018. 131 с.
5. Ху Т. Ч., Шинг М. Т. Комбинаторные алгоритмы / пер. с англ. Н. Новгород: Изд-во ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2004. 330 с.
6. Игошин В. И. Теория алгоритмов: учебное пособие. М.: Инфра-М, 2013. 318 с.
7. Мицель А. А. Эвристические методы оптимизации: учебное пособие. Томск: ТУСУР, 2023. 82 с.

8. Маликов О.Б. Определение запасов и емкости складов в цепях поставок // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 14, № 1. С. 149–156. EDN YNBXYJ
9. Дыбская В.В. Определение количества и рационального размещения складов в логистической сети // Интегрированная логистика. 2011. № 1. С. 19–22. EDN NDADPP
10. Geoffrion A., Graves G. Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition. 2010. DOI: 10.1007/978-1-4419-6810-4\_4
11. Simulation-Optimization Approach for the Multi-Objective Production And Distribution Planning Problem in the Supply Chain Using NSGA-II And Monte Carlo Simulation / N. Nadimkabiri [et al.] // Soft Computing. 2022. DOI: 10.1007/s00500-022-07152-2
12. Шиловский В.Н. Математическая модель оптимизации объемов поставок и распределения запасных частей между территориально разобщенными потребителями // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2003. №4. С. 42–48. EDN ICGQDJ
13. Алексеев В. Е., Захарова Д. В. Теория графов: учебное пособие. Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. 119 с.
14. Левитин А. Б. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / пер. с англ., ред. С. Г. Тригуб, И. В. Красикова; Университет Вилланова. М.: Вильямс, 2006. 574 с.
15. Кувайскова Ю.Е. Алгоритмы дискретной математики: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2017. 99 с.
16. Тарифное руководство №4 (ред. от 25.01.2016). Кн. 1. Тарифные расстояния между станциями на участках железных дорог (утв. Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества).
17. Об утверждении Порядка расчета тарифов на перевозки грузов железнодорожным транспортом общего пользования и услуги по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, выполняемые ОАО «РЖД», а также сборов на дополнительные работы (услуги), связанные с перевозкой грузов железнодорожным транспортом общего пользования, и тарифов на перевозки грузов железнодорожным транспортом общего пользования и услуги по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, выполняемые ОАО «РЖД», сборов на дополнительные работы (услуги), связанные с перевозкой грузов железнодорожным транспортом общего пользования (Тарифное руководство № 1): приказ ФАС России от 06.11.2025 № 894/25 (с изм. от 13.02.2026).

Дата поступления: 08.05.2026

Решение о публикации: 29.05.2026

#### **Информация об авторах:**

ПАКУЛИНА Елена Вячеславовна — старший преподаватель кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; elena\_pakulina29@mail.ru

МИГРОВ Александр Алексеевич — кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; amigrov@gmail.com

ПЕРЕПЕЧЕНОВ Александр Маркович — кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; [ddamper@yandex.ru](mailto:ddamper@yandex.ru)

НОВОСЕЛЬСКИЙ Игорь Юрьевич — кандидат техн. наук, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; [nttr@pgups.ru](mailto:nttr@pgups.ru)

## Reduction of Transportation Costs for Delivering of Welded Rail Segments by Intermediate Storages

**E. V. Pakulina, A. A. Migrov, A. M. Perepechenov, I. Yu. Novosel'sky**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** *Pakulina E. V., Migrov A. A., Perepechenov A. M., Novosel'sky I. Yu.* Reduction of Transportation Costs for Delivering of Welded Rail Segments by Intermediate Storages // Bulletin of Scientific Research Results, 2026, iss. 2, pp. 161–175. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-161-175 (In Russian)

### Abstract

Rail lashes are an important resource for the construction and repair of the track, the need for which is constantly growing. The rail lashes must be delivered to the work sites in a timely manner. Since work sites or highway construction sites do not have intermediate storage facilities for rail weaves, the logistics chain for providing track work resources often runs with delays that directly affect the timing of work and transportation costs. **Objective:** to reduce transportation costs by introducing intermediate warehouses of rail weaves. **Methods:** methods of graph theory are used. The problem of searching for p-medians on a weighted graph representing a transport network is solved. The Floyd — Warshall algorithm was used to find optimal locations for warehouses. **Results:** the analysis of the logistic supply chain of rail weaves for track work was performed, the main non-deliveries of the existing system were identified and analyzed. A method for optimizing the logistics chain is proposed and justified by introducing rail weaves into the chain of intermediate warehouses. **Practical significance:** the use of intermediate warehouses will reduce transportation costs, reduce the duration of the delivery of lashes to the places of track work and increase the uniformity of loading of rail welding enterprises.

**Keywords:** logistics, track works, welded rail segments, resource shipping for track works, logistics supply chain of welded rail segments, graph theory, intermediate storage of welded rail segments

### References

1. Pakulina E. V., Migrov A. A. Analiz faktorov, vliyayushchikh na soblyudenie planovoj prodolzhitel'nosti putevykh rabot [Analysis of the Factors Influencing Compliance with the Planned Duration of Travel Work], *VI Betankurovskij mezhdunarodnyj inzhenernyj forum: sbornik trudov. V 2-kh t. [Betancourt International Engineering Forum, collection of works in 2 volumes]*, Saint Petersburg, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 2024, pp. 68–74. EDN IYJIWG (In Russian)

2. Pakulina E. V., Migrov A. A. Matematicheskaya model' opredeleniya optimal'noj emkosti sklada rel'sovykh pletej dlya putevykh rabot [A Mathematical Model for Determining the Optimal

Storage Capacity of Rail Weaves for Track Work], *Transport i logistika: razvitie v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki: sbornik nauchnykh trudov IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Transport and Logistics: Development in the Context of the Digitalization of the Economy: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference]*, Rostov-on-Don, Rostov State University of Railway Transport, 2025, pp. 192–195. EDN GURUCT (In Russian)

3. Advolotikin D.I. Modelirovanie skladov dlya khraneniya materialov verkhnego stroeniya zheleznodorozhnogo puti [Modeling of Warehouses for Storing Materials of the Upper Structure of the Railway Track], *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Scientific Research Journal]*, 2024, no. 10 (148). DOI: 10.60797/IRJ.2024.148.133. EDN AVWEFW (In Russian)

4. Filippova A.S., Porechnyj S.S., Ramazanova R.R. Osnovy kombinatornykh algoritmov: uchebnoe posobie [Fundamentals of Combinatorial Algorithms: A Textbook], Ufa, Izd-vo BGPU [Bashkir State Pedagogical University Publishing House], 2018, 131 p. (In Russian)

5. Khu T. Ch., Shing M.T. Kombinatornye algoritmy [Combinatorial Algorithms], Nizhnij Novgorod, Izd-vo NNGU im. N. I. Lobachevskogo [Publishing House of N. I. Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University], 2004, 330 p. (In Russian)

6. Igoshin V.I. Teoriya algoritmov: uchebnoe posobie [Theory of Algorithms: A Textbook], Moscow, Infra-M, 2013, 318 p. (In Russian)

7. Mitsel' A.A. Evristicheskie metody optimizatsii: uchebnoe posobie [Heuristic Optimization Methods: A Textbook], Tomsk, TUSUR [Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics], 2023, 82 p. (In Russian)

8. Malikov O.B. Opredelenie zapasov i emkosti skladov v tsepyakh postavok [Determining Stocks and Warehouse Capacity in Supply Chains], *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2017, vol. 14, no. 1, pp. 149–156. EDN YNBXYJ (In Russian)

9. Dybskaya V.V. Opredelenie kolichestva i ratsional'nogo razmeshcheniya skladov v logisticheskoy seti [Determination of the Number and Rational Placement of Warehouses in the Logistics Network], *Integrirrovannaya logistika [Integrated Logistics]*, 2011, no. 1, pp. 19–22. EDN NDADPP (In Russian)

10. Geoffrion, Arthur & Graves, Glenn. Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition, 2010. DOI:10.1007/978-1-4419-6810-4\_4

11. Nadimkabiri N., et al. Simulation-Optimization Approach for the Multi-Objective Production and Distribution Planning Problem in the Supply Chain Using NSGA-II And Monte Carlo Simulation, *Soft Computing*, 2022. DOI:10.1007/s00500-022-07152-2

12. Shilovskij V.N. Matematicheskaya model' optimizatsii ob'emov postavok i raspredeleniya zapasnykh chastej mezhdru territorial'no razobshchennymi potrebitelyami [Mathematical Model for Optimizing Supply Volumes and Distribution of Spare Parts Between Geographically Separated Consumers], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Forestry Journal]*, 2003, no. 4, pp. 42–48. EDN ICGQDJ (In Russian)

13. Alekseev V.E, Zakharova D.V. Teoriya grafov: Uchebnoe posobie [Graph Theory: A Textbook], Nizhnij Novgorod, Nizhny Novgorod State University, 2017, 119 p. (In Russian)

14. Levitin A. B. Algoritmy: vvedenie v razrabotku i analiz [Algorithms: An Introduction to Development and Analysis], edited by S. G. Trigub, I. V. Krasikova, Villanova University, Moscow, Williams Publishing, 574 p. (In Russian)

15. Kuvajskova Yu. E. Algoritmy diskretnoj matematiki: uchebnoe posobie [Algorithms of Discrete Mathematics: A Textbook], Ulyanovsk State Technical University, 2017, 99 p. (In Russian)

16. Tarifnye rasstoyaniya mezhdu stantsiyami na uchastkakh zheleznnykh dorog [Tariff Distances Between Stations on Railway Sections], Tariff Guide no. 4 (edit. dated January 25, 2016), book 1. (In Russian)

17. Ob utverzhdenii Poryadka rascheta tarifov na perevozki gruzov zheleznodorozhnym transportom obshchego pol'zovaniya i uslugi po ispol'zovaniyu infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta obshchego pol'zovaniya, vypolnyaemye OAO "RZhD" [On Approval of the Procedure for Calculating Tariffs for the Transportation of Goods by Public Railway Transport and Services for the Use of Public Railway Infrastructure Performed by JSC Russian Railways], Order of the Federal Antimonopoly Service of Russia, dated November 06, 2025, no. 894/25.

Received: May 08, 2026

Accepted: May 29, 2026

**Author's information:**

Elena V. PAKULINA — Senior Lecturer of the Department "Land transport and technological complexes"; elena\_pakulina29@mail.ru

Alexander A. MIGROV — PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Land transport and technological complexes"; amigrov@gmail.com

Alexander A. PEREPECHENOV — PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Land transport and technological complexes"; ddamper@yandex.ru

Igor. Yu. NOVOSEL'SKY — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department "Land transport and technological complexes"; nttr@pgups.ru