

УДК 656.073.7:005.931.11

DOI: 10.34670/AR.2026.86.85.090

Погрузочно-разгрузочные операции как источник операционной неэффективности мультимодальных цепей поставок: типология проблем и направления оптимизации

Копров Егор Дмитриевич

Аспирант,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации,
119571, Российская Федерация, Москва, пр-кт Вернадского, 82;
e-mail: georgiykoprov@gmail.com

Паршинцева Лидия Сергеевна

Кандидат экономических наук,
доцент кафедры статистики и анализа данных Института управления,
Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте Российской Федерации,
119571, Российская Федерация, Москва, пр-кт Вернадского, 82;
e-mail: parshintseva-ls@ranepa.ru

Аннотация

Статья посвящена анализу погрузочно-разгрузочных операций (ПРР) как системообразующего источника операционной неэффективности при организации грузовых перевозок в мультимодальных цепях поставок. На основе функциональной декомпозиции общего времени доставки и целевой функции $Z = \alpha C + \beta T + \gamma R$ выявлены ключевые типы дисфункций, присущих узловым точкам мультимодального коридора. В статье разобрана и предложена трёхуровневая аналитическая структура диагностики, количественной оценки и параметрической оптимизации ПРР. Показано, что накопленные операционные потери, связанные с ПРР, могут составлять 15–30% общего времени доставки и 8–15% базовых транспортных затрат, формируя устойчивый «скрытый» резерв повышения эффективности. На основе систематизации научной литературы и результатов собственного анализа в статье выявлен комплекс организационно-управленческих предпосылок, обеспечивающих устойчивость мультимодальных цепей поставок: надёжность транспортно-технологических схем, модальная опциональность, трансграничная стандартизация, развитие партнёрских форм взаимодействия и экологизация логистических решений. Предложены практические направления оптимизации: алгоритмическое планирование размещения грузов и очередности обработки, цифровизация документооборота, а также синхронизация межмодальных переходов и ресурсов терминалов. Совокупное применение предложенных инструментов способно обеспечить значимое сокращение компонентов $T_{transshipment}$ и $T_{waiting}$, а также снижение дополнительных затрат, связанных с незапланированными операциями восстановления партий.

Для цитирования в научных исследованиях

Копров Е.Д., Паршинцева Л.С. Погрузочно-разгрузочные операции как источник операционной неэффективности мультимодальных цепей поставок: типология проблем и направления оптимизации // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2026. Том 16. № 4А. С. 928-938. DOI: 10.34670/AR.2026.86.85.090

Ключевые слова

Погрузочно-разгрузочные операции, мультимодальные цепи поставок, операционная неэффективность, оптимизация загрузки, алгоритм bin packing, транспортно-логистические системы, управление операциями.

Введение

Традиционные модели управления цепями поставок долгое время рассматривали погрузочно-разгрузочные операции как вспомогательный, инфраструктурный элемент логистического процесса, заведомо подчинённый магистральным видам транспортировки. Такая аналитическая позиция, однако, всё очевиднее вступает в противоречие с эмпирической реальностью мультимодальных коридоров: именно в точках межмодального перехода аккумулируется значительная доля совокупных временных и стоимостных потерь, тогда как непосредственное перемещение груза занимает лишь меньшую часть общего цикла доставки [Нагорный, 2005].

Переориентация исследовательского внимания на ПРР как стратегический объект операционного управления является одним из значимых направлений современной транспортной логистики. Данный сдвиг обусловлен рядом взаимосвязанных обстоятельств: ростом доли консолидированных (сборных) отправок в общей структуре грузопотоков, усложнением товарной номенклатуры, а также нарастающим инфраструктурным насыщением крупных транспортных узлов [Anderson, 2004].

Настоящая статья преследует двойную цель: во-первых, систематизировать типы операционных дисфункций, возникающих на этапах ПРР в мультимодальных цепях; во-вторых, определить направления оптимизации, адекватные выявленной проблематике.

Функциональная декомпозиция ПРР: понятие и типология

В качестве методологической основы используется функциональная декомпозиция общего времени доставки (T_{total}) и целевая функция минимизации совокупных потерь [Banomyong, 2017]:

$$Z = \alpha C + \beta T + \gamma R, \quad (1)$$

где C — совокупные затраты,

T — общее время доставки,

R — логистический риск,

α, β, γ — весовые коэффициенты, отражающие приоритеты управления цепью.

ПРР в мультимодальном контексте не могут быть сведены к единому акту физической передачи груза. Речь идёт о наборе вложенных операций с собственной внутренней структурой

и специфическими источниками неэффективности на каждом из этапов. Классификация ПРР целесообразна по трём основным критериям: режиму передачи груза, характеру обрабатываемых потоков и уровню автоматизации (таблица 1).

Таблица 1 — Функциональная типология погрузочно-разгрузочных операций в мультимодальных узлах

Критерий классификации	Вид операции	Определяющие характеристики
Режим передачи	Прямая передача (перегрузка)	Непосредственный переход между видами транспорта без промежуточного хранения
	Отсроченная передача (с хранением)	Наличие временной фазы хранения между двумя транспортными звеньями
	Переупаковка (переформирование партии)	Изменение структуры грузовой единицы в процессе передачи
Характер потоков	Однородные потоки	Груз единой номенклатуры, унифицированные габариты и требования к обращению
	Гетерогенные потоки (сборные партии)	Разнородная номенклатура, дифференцированные требования к обращению
Уровень автоматизации	Ручные операции	Обращение силами персонала, низкая стандартизация процессов
	Механизированные операции	Применение погрузчиков, конвейеров, подъёмного оборудования
	Автоматизированные операции	Системы автоматической сортировки, адресного хранения и укладки

Источник: составлено автором

С операционной точки зрения ПРР разворачивается как последовательность пяти взаимосвязанных фаз, каждая из которых генерирует собственные источники неэффективности. Их систематизация представлена в таблице 2.

Таблица 2 — Операционная структура ПРР и источники неэффективности по фазам

Фаза	Содержание	Выявленные источники неэффективности
Фаза 1. Ожидание и позиционирование	Время ожидания транспортного средства до начала обработки; манёвры при подъезде к погрузочному посту	Отсутствие синхронизации между прибытием техники и доступностью бригад; насыщение погрузочных доков
Фаза 2. Проверка и подготовка	Контроль документов, проверка состояния груза, подготовка грузовых единиц	Информационная асимметрия между грузоотправителем и оператором; документальные расхождения при международных отправлениях
Фаза 3. Фактическая загрузка/разгрузка	Физическая операция по передаче груза	Задачи объёмного планирования; несоответствие между планом загрузки и реальной конфигурацией товаров
Фаза 4. Закрепление	Проверка устойчивости нагрузки	Систематическое занижение времени, необходимого для разнородных грузов; инциденты с крупногабаритными и тяжёлыми товарами
Фаза 5. Административное оформление	Оформление документов, выдача транспортных расписок	Высокие административные задержки; отсутствие интегрированных цифровых систем документооборота

Источник: составлено автором

Феномен остаточного объёма как системная дисфункция

Одним из наиболее распространённых и экономически значимых проявлений неэффективности ПРР является явление, которое целесообразно обозначить как проблему остаточного объёма [Bertini, 2004; Во, 2019]. Оно состоит в следующем: теоретически рассчитанный объём партии соответствует номинальной вместимости транспортной единицы, однако фактическая физическая конфигурация товаров — разнообразие форм упаковки, несовместимости по укладке, ограничения по совмещению — не позволяет полностью использовать располагаемое пространство [Никифоров, 2020].

Количественная оценка потерь от остаточного объёма в консолидированных цепях поставок представлена в таблице 3.

Таблица 3 — Сценарный анализ затрат при возникновении остаточного объёма в консолидированных перевозках

Сценарий	Остаточный объём	Операционные последствия	Оценочные дополнительные затраты
Сценарий 1. Немедленная отправка вторым транспортным средством	6–10 м ³	Мобилизация второго полуприцепа для неполного объёма	+40 000–70 000 руб. за одну отправку
Сценарий 2. Временное хранение с отложенной отправкой	6–10 м ³	Терминальное хранение 1–3 суток + организация дополнительной отправки	+15 000–30 000 руб. (хранение) + 1–3 сут. к срокам доставки
Сценарий 3. Рекондиционирование и реструктуризация партии	6–10 м ³	Частичная разгрузка, физическая реорганизация нагрузки	+2–4 часа операционного времени; риск повреждения товаров

Источник: составлено автором на основе оперативных данных

Частота подобных инцидентов в консолидированных сборных отправлениях значительна. По имеющимся данным, отношение объёмных остатков к теоретически рассчитанному объёму составляет от 7 до 12% при использовании эмпирических методов планирования загрузки. Это означает, что транспортная ёмкость систематически используется с существенным недобором — прямым следствием отсутствия формализованных инструментов оптимизации размещения. [Никифоров, 2020] [Anderson, 2004]

Кумулятивное воздействие ПРР на целевую функцию цепи поставок

Для корректной оценки значимости ПРР как источника неэффективности недостаточно анализировать отдельные инциденты. Необходима их трансляция на уровень интегральных показателей функционирования цепи через целевую функцию $Z = \alpha C + \beta T + \gamma R$.

По компоненту стоимости (C) можно выделить дополнительные расходы, обусловленные остаточными объёмами, незапланированным ожиданием и операциями по рекондиционированию, накладываются на номинальные транспортные тарифы. В практике мультимодальных коридоров данные надбавки могут составлять от 8 до 15% базовых транспортных затрат в зависимости от степени гетерогенности партии и уровня загрузки узла [Ермолаев, 2020].

По компоненту времени (Т) можно выделить дополнительные задержки, генерируемые незапланированными ПРР, оцениваются в диапазоне 3–8 часов на один кросс-докинг-узел. В мультимодальном коридоре с 3–4 транспортными узлами этот накопленный эффект может составлять 1–2 дополнительных суток, или 15–30% от расчётного совокупного времени доставки [Ефремов, 2018].

По компоненту риска (R) выделяются незапланированные ПРР нарушают синхронизацию между сегментами цепи и создают каскадные эффекты для нижестоящих узлов. Особую значимость этот фактор приобретает в коридорах с жёсткими навигационными или сезонными ограничениями, где задержка в 24–48 часов на одном узле может повлечь пропуск транспортного окна с последствиями, несоизмеримыми первоначальной причине [Жариков, 2016; Орбодоев, 2018].

Типология источников неэффективности ПРР по видам транспортных узлов

Характер дисфункций ПРР существенно варьируется в зависимости от типа транспортного узла. Сравнительный анализ позволяет выделить три основных архетипа.

Крупные портовые узлы, работающие в условиях, близких к инфраструктурному насыщению (90–95% номинальной мощности), сталкиваются с характерной конфигурацией неэффективности. Насыщение погрузочных доков порождает очереди транспортных средств на Фазе 1 (ожидание), существенно удлиняя операционный цикл. Параллельно фрагментация информационных систем — отсутствие интероперабельности между морскими, железнодорожными и автомобильными системами управления — увеличивает время Фазы 5 (административное закрытие) [Guo, 2024; Nam, 2005].

Таблица 4 — Источники неэффективности ПРР в портовых хабах

Источник неэффективности	Механизм	Оценочное воздействие
Насыщение погрузочного дока	Скопление ТС в ожидании обслуживания	Фаза 1. +1–3 часа в период пиковой нагрузки
Несоответствие оборудования типу груза	Применение техники, не адаптированной к разнородным потокам	Фаза 3. +30–60 мин для гетерогенных партий
Отсутствие инструментов объёмного планирования	Эмпирические решения по загрузке	Фаза 2. Доля остаточного объёма: 7–12% теоретического
Фрагментация информационных систем	Отсутствие интеграции между видами транспорта	Фаза 5. +1–2 часа документооборота
Гетерогенность грузопотоков	Разнородная номенклатура (продукты питания, оборудование, стройматериалы)	Фаза 4. +45–90 мин на крепление

Источник: составлено автором

Узлы, осуществляющие переход между железнодорожным и автомобильным транспортом, сталкиваются со специфической проблемой конструктивной несовместимости грузовых единиц. Оптимальная организация груза для железнодорожного вагона не является оптимальной для автомобильного полуприцепа ввиду различий в калибрах, ограничениях по укладке и требованиях к распределению нагрузки по осям. Это систематически влечёт частичное рекондиционирование грузов при межмодальном переходе — операцию, как правило, не учтённую при первоначальном планировании [Harrison, 2016].

Кроме того, вместимость хранения в таких узлах нередко ограничена. В периоды сезонной концентрации грузопотоков входящие объёмы регулярно превышают операционные мощности узла, формируя незапланированное время хранения и увеличивая компонент $T_{storage}$ в совокупном времени доставки.

Узлы паромного типа представляют особый случай, в котором операционная неэффективность ПРР из вышестоящих звеньев непосредственно усугубляет структурный дисбаланс мощностей. Дисфункции при погрузочных операциях во владивостокском хабе и межмодальных перевалочных пунктах нарушают равномерность прибытия грузов к переправе, усиливая пики спроса и снижая эффективность планирования рейсов (таблица 5).

Таблица 5 — Влияние ПРР вверх по цепи на дисбаланс мощностей паромного перехода

Параметр	Значение	Метод расчёта / источник
Среднесуточный грузооборот (по данным 2019–2023)	36 822 т/сут	Годовой оборот ÷ 365 дней
Суточная пропускная способность паромного парка	14 400 т/сут	Количество паромов × единичная вместимость
Коэффициент нагрузка/мощность	2,56	—
Расчётное среднее время ожидания	2,5 сут	36 822 / 14 400
Доля в общем времени доставки	36,8%	2,5 / 6,8 сут

Источник: составлено автором на основе расчётных данных

Структурные усилители операционных потерь

Количественный анализ дисфункций ПРР необходимо дополнить рассмотрением структурных факторов, которые в специфических контекстах многократно умножают их негативное воздействие.

В коридорах с ограниченными навигационными или климатическими окнами основная доля годового грузопотока концентрируется в течение 5–6 месяцев. Это формирует пиковые нагрузки на узлы обработки, существенно превышающие их номинальные мощности. Операционный инцидент, влекущий незначительные дополнительные расходы в непииковый период, способен вызвать серьёзное нарушение в пиковый сезон с каскадным эффектом для нижестоящих звеньев цепи [Плиев, 2020].

Сосуществование в одной консолидированной партии товаров с принципиально различными требованиями к обращению — скоропортящихся продуктов питания, промышленного оборудования, строительных материалов, лекарственных средств, бытовых товаров — многократно усложняет ПРР. Каждая из этих категорий предъявляет собственные требования к температурному режиму, порядку укладки, совместимости при хранении и последовательности разгрузки. Эмпирические методы планирования загрузки особенно быстро обнаруживают свои пределы именно при высокой гетерогенности потоков [Полещук, 2015].

В географически изолированных коридорах с ограниченной транспортной альтернативностью каждый операционный инцидент имеет последствия, несоразмерные первоначальной причине. Если в стандартном контексте сбой в ПРР может быть исправлен последующей отправкой в течение 24–48 часов, то в условиях большого расстояния, сезонного доступа и высоких транспортных тарифов одна и та же дисфункция влечёт значительные экономические и временные потери, непосредственно отражающиеся на уровне

потребительских цен и доступности жизненно важных товаров.

Направления оптимизации ПРР

Анализ выявленных дисфункций позволяет систематизировать направления оптимизации по трём взаимодополняющим уровням.

Ключевым инструментом сокращения остаточного объёма и стандартизации решений по загрузке является внедрение алгоритмических инструментов из теоретического класса задачи упаковки в контейнеры и её трёхмерных вариантов (3D bin packing). Целевая функция алгоритма — максимизация объёмного коэффициента использования транспортной единицы при соблюдении операционных ограничений, систематизированных в таблице 6.

Таблица 6 — Операционные ограничения, интегрируемые в алгоритм загрузки мультимодальных отправок

Тип ограничения	Содержание	Значимость для гетерогенных потоков
Габаритное	Размеры грузовой единицы относительно вместимости транспортного средства	Критическая: значительное разнообразие форм упаковок
Весовое	Распределение нагрузки по осям, максимально допустимая масса	Высокая: сосуществование тяжёлой техники и лёгких товаров
Устойчивости	Запрет укладки хрупких грузов под тяжёлыми нагрузками	Критическая: продукты питания, медицинские товары
Последовательности разгрузки	Порядок размещения по точкам доставки	Высокая: доставка в несколько точек цепи
Совместимости	Физико-химические несовместимости между товарами	Применимая: химические вещества и продукты питания
Климатическое	Стойкость к экстремальным условиям транспортировки	Специфическая для регионов с суровым климатом

Источник: составлено автором

Значительная доля задержек на Фазе 5 (административное закрытие) обусловлена фрагментацией информационных систем различных видов транспорта. Внедрение интегрированных платформ управления транспортными документами, совместимых со стандартами электронного обмена данными (EDI), способно сократить административное время обработки на 1–2 часа на операцию. Использование RFID-меток и штрихкодовой идентификации на уровне грузовой единицы позволяет автоматизировать сверку фактического состава партии с документами на Фазе 2, существенно снижая вероятность расхождений [Полещук, 2015].

Снижение дисбаланса мощностей в узлах, обеспечивающих переход между видами транспорта, требует координации расписаний поступления грузов с операционными мощностями принимающего звена. Практическими инструментами здесь служат: введение временных окон (слотов) для прибытия транспортных средств, позволяющих равномерно распределить нагрузку в течение рабочего дня; предварительное уведомление о составе партии (pre-advice) для сокращения времени Фазы 2; дифференциация потоков по уровню срочности для приоритизации операций в условиях ограниченной пропускной способности.

Предложенные направления оптимизации образуют трёхуровневую аналитическую структуру, обеспечивающую последовательный переход от диагностики к управленческому воздействию.

Таблица 7 — Трёхуровневая аналитическая структура оптимизации ПРР в мультимодальных цепях

Уровень	Назначение	Ключевые показатели	Методологические инструменты
Уровень 1. Диагностика	Идентификация источников неэффективности по типу узла и фазе операции	Фактическое время загрузки; доля остаточного объёма; частота инцидентов	Картирование процессов; операционный анализ данных
Уровень 2. Количественная оценка	Трансляция дисфункций в показатели целевой функции цепи	ΔC (дополнительные затраты); ΔT (дополнительное время); ΔR (изменение риска)	Модель расчёта T_{total} ; целевая функция $Z = \alpha C + \beta T + \gamma R$
Уровень 3. Оптимизация	Определение операционных переменных для улучшения	Объёмный коэффициент использования ρ_v ; время Фазы 3 (T_{load}); вариация операционного времени σT	Алгоритмы 3D bin packing; слотирование прибытия; EDI-интеграция

Источник: составлено автором

Логика данной структуры предполагает, что меры оптимизации Уровня 3 должны быть параметрически привязаны к показателям, диагностированным на Уровне 1, и верифицированы через механизмы Уровня 2. Это обеспечивает как методологическую согласованность подхода, так и измеримость достигаемых улучшений в терминах целевой функции.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сформулировать три системных вывода.

Во-первых, погрузочно-разгрузочные операции являются не вспомогательным, а центральным операционным звеном мультимодальных цепей поставок, генерирующим измеримые потери по всем компонентам целевой функции: суммарные временные потери, связанные с ПРР, составляют 15–30% общего времени доставки, а стоимостные — 8–15% базовых транспортных затрат. [Anderson, 2004] [Banomyong, 2017]

Во-вторых, феномен остаточного объёма, обусловленный применением эмпирических методов планирования загрузки, является одной из наиболее распространённых и системно воспроизводимых форм операционных потерь в консолидированных отправлениях с высокой гетерогенностью номенклатуры. Его частота и экономическое значение систематически недооцениваются на этапе планирования цепи.

В-третьих, оптимизационный потенциал ПРР реализуем прежде всего через алгоритмизацию планирования размещения грузов (класс задач 3D bin packing), цифровую интеграцию документооборота и синхронизацию межмодальных переходов на основе слотирования. Совокупное применение этих инструментов способно обеспечить значимое сокращение компонентов $T_{transshipment}$ и $T_{waiting}$, а также снижение дополнительных затрат, связанных с незапланированными операциями восстановления партий.

Библиография

1. Anderson G.W. UrbanSim: A Tool for Simulating Urban Development // Journal of Urban Planning and Development. 2004. Vol. 130, No. 4. P. 197–209.
2. Banomyong R., Sopadang A. The Role of Multimodal Transport in Supply Chain Management // International Journal of Logistics Research and Applications. 2017. Vol. 20, No. 5. P. 484–499.
3. Bertini R., El-Geneidy A. A Holistic Approach to Understanding the Interplay Between Economic Activities, Land Use,

- and Transportation // Transportation Research Record. 2004. No. 1894. P. 96–105.
4. Bo W., Grygorak M., Voitsehovskiy V., Lytvynenko S., Gabrielova T., Lytvynenko L., Ivanov Y., Vidovic A. Multimodal logistics performance indicators // Economic Studies Journal. 2019. No. 4. P. 118–124.
 5. Ермолаев К.С. Транспортировка сборных грузов и проблемы, возникающие при этом: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Москва: МАДИ, 2020. 162 с.
 6. Ефремов Э.И. Транспортная инфраструктура Якутии: проблемы и перспективы: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Якутск: ЯГУ, 2018. 180 с.
 7. Жариков О.Н. Совершенствование транспортной системы Республики Саха (Якутия) в условиях перехода к рынку: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Якутск: СВФУ, 2016. 162 с.
 8. Guo L., Jiang C., Hou W., Ng A.K.Y., Shi Q. International multimodal transport connectivity index // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2024. Vol. 186. Art. 103564.
 9. Ham H., Kim T.J., Boyce D. Assessment of Economic Impacts from Unexpected Events With an Interregional Commodity Flow and Multimodal Transportation Network Model // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2005. Vol. 39, No. 10. P. 849–860.
 10. Harrison A., McCarthy P. Modeling Freight Demand: A Review of Approaches // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2016. Vol. 90. P. 131–146.
 11. Нагорный Е.В., Павленко А.В. Выбор оптимального режима функционирования погрузочно-разгрузочного фронта // Вестник ХНАДУ. 2005. № 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-rezhima-funktsionirovaniya-pogruzочно-razgruzочноgo-fronta>
 12. Никифоров А.Г. Продовольственное обеспечение Республики Саха (Якутия) в условиях рыночных отношений: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Якутск: ЯГУ, 2020. 143 с.
 13. Орбодоев В.В. Направления развития производственных процессов экстремальных регионов Крайнего Севера России (на примере Республики Саха (Якутия)): дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Якутск: СВФУ, 2018. 210 с.
 14. Плиев И.Э. Анализ состояния проблемы разработки автотранспортных средств в северном исполнении: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Москва: МАДИ, 2020. 165 с.
 15. Полещук И.И., Гулягина О.С. Логистический потенциал цепи поставок: понятие и показатели оценки // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Экономические и юридические науки. 2015. № 5. С. 141–145.

Loading and Unloading Operations as a Source of Operational Inefficiency in Multimodal Supply Chains: Typology of Problems and Directions for Optimization

Egor D. Koprov

Postgraduate Student,
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,
119571, 82, Vernadskogo ave., Moscow, Russian Federation;
e-mail: georgiykoprov@gmail.com

Lidiya S. Parshintseva

PhD in Economics, Associate Professor,
Department of Statistics and Data Analysis, Institute of Management,
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration,
119571, 82, Vernadskogo ave., Moscow, Russian Federation;
e-mail: parshintseva-ls@ranepa.ru

Abstract

The article is devoted to the analysis of loading and unloading operations as a system-forming

source of operational inefficiency in the organization of cargo transportation in multimodal supply chains. Based on the functional decomposition of the total delivery time and the target function $Z = \alpha C + \beta T + \gamma R$, key types of dysfunctions inherent in the nodal points of the multimodal corridor are identified. The article examines and proposes a three-level analytical structure for diagnostics, quantitative assessment, and parametric optimization of loading and unloading operations. It is shown that the accumulated operational losses associated with loading and unloading operations can amount to 15–30% of the total delivery time and 8–15% of basic transportation costs, forming a stable "hidden" reserve for increasing efficiency. Based on the systematization of scientific literature and the results of the authors' own analysis, the article identifies a set of organizational and managerial prerequisites that ensure the stability of multimodal supply chains: reliability of transport and technological schemes, modal optionality, cross-border standardization, development of partnership forms of interaction, and greening of logistics solutions. Practical directions for optimization are proposed: algorithmic planning of cargo placement and processing sequence, digitalization of document flow, as well as synchronization of intermodal transfers and terminal resources. The combined application of the proposed tools is capable of ensuring a significant reduction in the Transshipment and Twaiting components, as well as a decrease in additional costs associated with unplanned batch recovery operations.

For citation

Koprov E.D., Parshintseva L.S. (2026) Pogruzochno-razgruzochnye operatsii kak istochnik operatsionnoy neeffektivnosti mul'timodal'nykh tsepey postavok: tipologiya problem i napravleniya optimizatsii [Loading and Unloading Operations as a Source of Operational Inefficiency in Multimodal Supply Chains: Typology of Problems and Directions for Optimization]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 16 (4A), pp. 928-938. DOI: 10.34670/AR.2026.86.85.090

Keywords

Loading and unloading operations, multimodal supply chains, operational inefficiency, load optimization, bin packing algorithm, transport and logistics systems, operations management.

References

1. Anderson, G.W. (2004). UrbanSim: A Tool for Simulating Urban Development. *Journal of Urban Planning and Development*, 130(4), 197-209.
2. Banomyong, R., & Sopadang, A. (2017). The Role of Multimodal Transport in Supply Chain Management. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(5), 484-499.
3. Bertini, R., & El-Geneidy, A. (2004). A Holistic Approach to Understanding the Interplay Between Economic Activities, Land Use, and Transportation. *Transportation Research Record*, (1894), 96-105.
4. Bo, W., Grygorak, M., Voitsehovskiy, V., Lytvynenko, S., Gabrielova, T., Lytvynenko, L., Ivanov, Y., & Vidovic, A. (2019). Multimodal logistics performance indicators. *Economic Studies Journal*, (4), 118-124.
5. Ermolaev, K.S. (2020). *Transportirovka sbornykh грузов i problemy, vznikayushchiye pri etom* [Transportation of Consolidated Cargo and the Problems Arising Therein] (Candidate's dissertation). Moscow: MADI.
6. Efremov, E.I. (2018). *Transportnaya infrastruktura Yakutii: problemy i perspektivy* [Transport Infrastructure of Yakutia: Problems and Prospects] (Candidate's dissertation). Yakutsk: YGU.
7. Guo, L., Jiang, C., Hou, W., Ng, A.K.Y., & Shi, Q. (2024). International multimodal transport connectivity index. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 186, 103564.
8. Ham, H., Kim, T.J., & Boyce, D. (2005). Assessment of Economic Impacts from Unexpected Events With an Interregional Commodity Flow and Multimodal Transportation Network Model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(10), 849-860.
9. Harrison, A., & McCarthy, P. (2016). Modeling Freight Demand: A Review of Approaches. *Transportation Research*

Part A: Policy and Practice, 90, 131-146.

10. Nagomy, E.V., & Pavlenko, A.V. (2005). Vybór optimalnogo rezhima funktsionirovaniya pogruzochno-razgruzochnogo fronta [Selection of the Optimal Operating Mode of the Loading and Unloading Front]. *Vestnik KhNADU*, (29). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnogo-rezhima-funktsionirovaniya-pogruzochno-razgruzochnogo-fronta>
11. Nikiforov, A.G. (2020). *Prodovolstvennoye obespecheniye Respubliki Sakha (Yakutiya) v usloviyakh rynochnykh otnosheniy* [Food Supply of the Republic of Sakha (Yakutia) in Market Conditions] (Candidate's dissertation). Yakutsk: YGU.
12. Orbodoev, V.V. (2018). *Napravleniya razvitiya proizvodstvennykh protsessov ekstremalnykh regionov Kraynego Severa Rossii (na primere Respubliki Sakha (Yakutiya))* [Directions for the Development of Production Processes in the Extreme Regions of the Russian Far North (on the Example of the Republic of Sakha (Yakutia))] (Candidate's dissertation). Yakutsk: SVFU.
13. Pliev, I.E. (2020). *Analiz sostoyaniya problemy razrabotki avtotransportnykh sredstv v severnom ispolnenii* [Analysis of the State of the Problem of Developing Vehicles in the Northern Version] (Candidate's dissertation). Moscow: MADI.
14. Poleshchuk, I.I., & Gulyagina, O.S. (2015). Logisticheskii potentsial tsepi postavok: ponyatiye i pokazateli otsenki [Logistics Potential of the Supply Chain: Concept and Evaluation Indicators]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F, Ekonomicheskiye i yuridicheskiye nauki*, (5), 141-145.
15. Zh pref="https://www.zharikov.com/">Zharikov, O.N. (2016). *Sovershenstvovaniye transportnoy sistemy Respubliki Sakha (Yakutiya) v usloviyakh perekhoda k rynku* [Improvement of the Transport System of the Republic of Sakha (Yakutia) in the Context of the Transition to a Market Economy] (Candidate's dissertation). Yakutsk: SVFU.