

На правах рукописи



Безруков Дмитрий Дмитриевич

**ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ СМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ГРУЗОВ В
ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ГРУЗОВОМ ПОЕЗДЕ**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ).

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Резер Семён Моисеевич

Официальные оппоненты:

Миротин Леонид Борисович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный технический университет (МАДИ)», старший научный сотрудник кафедры «Менеджмент».

Коровяковский Евгений Константинович – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», и.о. заведующего кафедрой «Логистика и коммерческая работа».

Ведущая организация: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»).

Защита состоится 10 февраля 2021 г., в 13.00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.09 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 1235.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ),
www.miit.ru.

Автореферат разослан «___» декабря 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Кузьмин Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования определяется потребностью в обеспечении безопасности движения поездов, перевозок растущих объёмов товаров электронной торговли, увеличении скорости доставки грузов железнодорожным транспортом, замедлении оттока высокодоходных грузов (второго и третьего тарифных классов) с железнодорожного транспорта на автомобильный, а также в выполнении Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года в части развития скоростного и высокоскоростного движения.

Данное исследование посвящено методам размещения тарно-штучных грузов в транспортных пакетах в концептуальном грузовом высокоскоростном поезде, курсирующем между промышленными, экономическими центрами нашей страны (городами, предприятиями) и перевозящем высокодоходные товары (сборные и тарно-штучные грузы, широкий ассортимент товаров народного потребления, легковые автомобили, продукты питания и скоропортящиеся грузы) мелкими отправками. Предполагается, что поезд будет совершать ряд промежуточных остановок для осуществления частичных погрузочно-разгрузочных работ, в ходе которых происходят как изменения масс вагонов, так и смещение их центров тяжести (ЦТ). Пол вагонов оборудован механизмом, автоматически перемещающим перевозимые грузы с целью поддержания минимального смещения ЦТ от геометрического центра вагона на протяжении всего маршрута следования, а также автоматизации процессов погрузки и выгрузки. Данный механизм в совокупности с методами расчёта оптимального положения перевозимых грузов на всех этапах следования поезда представляет собой систему регулирования смещения центра тяжести (СРСЦТ). СРСЦТ подразумевает полную информатизацию перевозочного процесса.

В перспективе дальнейшего увеличения скоростей движения и/или масс поездов вопрос минимизации смещения ЦТ становится наиболее актуальным.

Степень разработанности темы.

Научно-теоретическая база исследований по теме диссертации, а также в смежных областях знаний включает в себя научные труды следующих направлений:

1. Теоретические и методические основы эффективности работы транспорта, сущности конкуренции на транспорте, качества транспортного обслуживания и управления конкурентоспособностью внесли отечественные учёные: Белов И. В., Лёвин Б. А., Бубнова Г. В., Морозов В. Н., Ефимова О. В., Лапидус Б. М., Багинова В. В., Мачерет Д. А., Пехтерев Ф. С., Резер С. М., Резер А. В., Хусаинов Ф. И и др.

2. Организации ускоренных перевозок посвящены работы Вакуленко С. П., Колина А. В., Павлова А. И., Акулова А. М., Грачева С. А., Начученко А. С., Савельева М. Ю., Прокофьева М. Н. и др.

3. Исследованиями по организации высокоскоростных грузовых железнодорожных перевозок занимались G. Troche, M. Hayes, W. Lowe, X-H Liang, K-H. Tan, A. Whiteing, Junseo Park, M. Strale, Chris Nash, Daniel Johnson, M. F. Ziolkowski, Gong P., Lin, Z., Yu, Q.

4. Алгоритмы, применяемые в поиске решений поставленных задач, отражены в работах П. Харта, Н. Нильсона, Б. Рафаэля, Кощеева И.С., Валеевой А.Ф., V. Lurkin, M. Schyns, F. Bruns, S. Knust.

Целью исследования является разработка методов функционирования элементов СРСЦТ.

Задачи исследования:

- исследовать положение железнодорожного транспорта на рынке грузоперевозок;
- проанализировать мировой опыт по проектированию и эксплуатации высокоскоростных грузовых поездов;
- исследовать средства выполнения погрузочно-разгрузочных работ тарно-штучных грузов в транспортных пакетах на железнодорожном, автомобильном и авиационном видах транспорта;

- исследовать зарубежный опыт оптимизации размещения грузовых единиц в вагонах перспективного высокоскоростного поезда для осуществления мелкопартионных перевозок;

- разработать концепцию СРСЦТ;

- разработать схему устройства пола вагона, оснащенного механизмом автоматического перемещения перевозимых грузовых единиц;

- провести сравнительный анализ грузовых единиц для осуществления мелкопартионных грузоперевозок в вагоне перспективного высокоскоростного поезда;

- разработать алгоритм работы механизма для автоматического перемещения перевозимых грузовых единиц внутри вагона перспективного высокоскоростного поезда;

- разработать метод размещения грузовых единиц в вагонах перспективного высокоскоростного поезда;

- разработать метод расположения грузовых единиц внутри вагона перспективного высокоскоростного поезда перед началом выгрузки;

- оценить конкурентные преимущества перспективного высокоскоростного грузового поезда перед автомобильным транспортом (еврофурой) в цепи поставок.

Объектом исследования является СРСЦТ, интегрированная в перспективный высокоскоростной грузовой поезд.

Предметом исследования являются элементы СРСЦТ.

Научная новизна исследования состоит в представлении концепции СРСЦТ вагонов перспективного высокоскоростного поезда, перевозящего тарно-штучные грузы в транспортных пакетах, математических моделей и алгоритмов работы её элементов:

- механизма автоматического перемещения грузов внутри вагона;

- программного обеспечения при формировании схем размещения грузов внутри вагона для минимизации смещения центра масс грузов от геометрического

центра вагонов на этапе движения поезда с максимальной скоростью, а также для ускорения выгрузки на этапе подъезда к остановочному пункту.

Теоретическая и практическая значимость диссертации состоит в обобщении опыта, совершенствовании и развитии научных подходов в области осуществления мелкопартионных перевозок железнодорожным транспортом. Предложенная технология перевозки высокодоходных грузов обеспечит безопасность движения на высоких скоростях, повысит эффективность и конкурентоспособность железнодорожного транспорта. Представленные решения после адаптации и дальнейшей научной проработки могут быть использованы в других транспортных отраслях.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертации использованы:

- системный, комплексный подход к разработке концепции СРСЦТ;
- статистические методы для анализа сектора рынка перевозки немассовых грузов и мелких отправок;
- математические методы моделирования технологий автоматического перемещения грузовых единиц внутри вагона, распределения перевозимых грузовых единиц между вагонами, а также формирование схем размещения грузовых единиц внутри вагонов;
- сравнительный анализ для расчета условий эффективного применения высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ, с автомобильным транспортом

Положения, выносимые на защиту

- концепция СРСЦТ;
- схема устройства пола вагона перспективного высокоскоростного поезда, оснащенного механизмом автоматического перемещения грузовых единиц;
- математическое обоснование и алгоритмы работы механизма перемещения перевозимых грузовых единиц внутри вагона;
- математическая модель формирования схем размещения перевозимых грузовых как между вагонами, так и внутри каждого вагона;

- алгоритм формирования схем размещения ULD внутри вагона перед началом выгрузочных работ;

- математическая модель расчёта эффективности применения перспективных высокоскоростных поездов, оснащенных механизмом автоматического перемещения грузовых единиц в цепи поставок.

Степень достоверности результатов проведенных исследований выдвигаемых в диссертационной работе, положений и выводов подтверждается использованием данных, опубликованных в открытых статистических сборниках информации о показателях развития транспортно-экспедиционного обслуживания, в рецензируемых изданиях, а также официальных данных о хозяйственной деятельности структурных подразделений ОАО «РЖД».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и 4 приложений. Общий объем работы 112 страниц, в том числе 25 таблиц и 39 рисунка. Список литературы включает 127 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, поставлена цель и сформулированы основные его задачи, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ проектов организации перевозки грузов высокоскоростными поездами» проведен анализ объёмов и структуры грузовых перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом, сравнение конкурентного потенциала с автомобильным транспортом, в результате которого сделан вывод, что российский железнодорожный транспорт постепенно превращается в перевозчика низкодоходных грузов, а перевозка высокодоходных грузов переориентируется на другие виды транспорта, в частности автомобильный. Для изменения ситуации необходима разработка новой маркетинговой стратегии, включающей два направления деятельности. Первое направление – разработка тарифной политики, т. е. построение тарифов для

различных грузов в зависимости от ценовой эластичности спроса на перевозку. Второе направление – разработка транспортных продуктов, адаптированных к тем или иным потребностям грузовладельцев. Одним из таких транспортных продуктов выбран высокоскоростной грузовой поезд.

Рассмотрен международный опыт эксплуатации и проектирования высокоскоростных грузовых поездов. Несмотря на наличие масштабных проектов применения высокоскоростных грузовых поездов (Eurocarex, NGT Train, Cargo Train eXpress, BCM «Евразия»), в мире существует только два факта их эксплуатации для почтово-багажных перевозок (поезда TGV La Poste для компании La Poste и ETR 500 для компании Mercitalia).

Проанализирован метод размещения грузовых единиц в проектируемом высокоскоростном поезде Cargo Train eXpress (CTX), перевозящем высокодоходные грузы в транспортных пакетах (одинаковых по габаритам, но разных по весу), совершающем частичные погрузки-разгрузки на промежуточных остановочных пунктах. Цель метода: разместить грузовые единицы так, чтобы на протяжении всего маршрута следования минимизировать разницу в весе между вагонами и внутри каждого вагона (между левой и правой и между передней и задней частями вагона).

Отмечены стороны, на которые целесообразно обратить внимание при применении разработанной модели в реальных условиях, а также при дальнейшем увеличении скоростей движения и масс поездов:

- не принимаются во внимание случаи, когда невозможно обеспечить равенство загрузки вагонов (при наличии небольшого количества перевозимых грузов), существует риск появления недопустимо лёгкого вагона в середине поезда;
- вместо сравнения разницы между левой и правой, передней и задней частями вагона существует более упрощенный способ поиска оптимального центра масс перевозимых грузов.

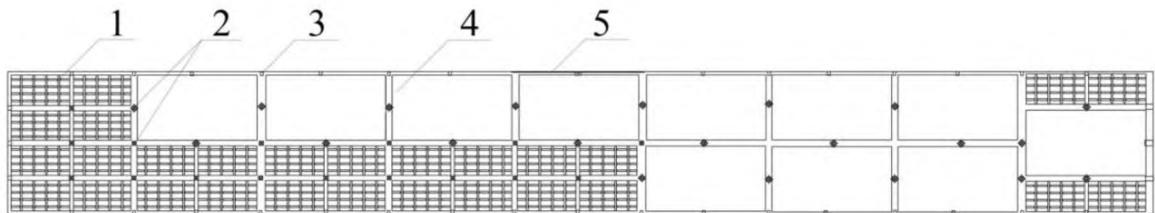
Во второй главе «Разработка методов центровки вагона высокоскоростного грузового поезда» проведен анализ средств выполнения

погрузочно-разгрузочных работ тарно-штучных грузов в транспортных пакетах на железнодорожном, автомобильном и авиационном видах транспорта на основании нормативной документации. Принято решение о поиске более быстрого, автоматизированного и надежного способа выполнения погрузочно-разгрузочных работ для перспективного высокоскоростного грузового поезда.

Проведен сравнительный анализ тар с целью выбора подходящего варианта для концептуального вагона высокоскоростного поезда, оснащенного СРСЦТ. Наиболее подходящим вариантом по предъявляемым требованиям оказался авиационный поддон PYB-Q6.

Автором предлагается концепция системы регулирования смещения центра тяжести вагона (СРСЦТ) применяемого для перспективного высокоскоростного грузового поезда, перевозящего тарно-штучные грузы в транспортных пакетах (ULD), посредством механизма, автоматически перемещающего и фиксирующего грузовые единицы внутри вагона, выполняющего погрузочно-разгрузочные работы, и программного обеспечения (ПО), рассчитывающего оптимальные схемы размещения грузовых единиц.

На рисунке 1 представлен пример эскиза устройства пола вагона .



1- перекрестный транспортер; 2- фиксаторы напольные;
3- направляющие; 4- ULD; 5- двери.

Рисунок 1 - Пол промежуточного вагона с установленным механизмом
перемещения ULD

В основу работы механизма заложена технология перемещения ULD внутри самолета (в отличие от перспективного поезда в самолете процесс перемещения происходит под руководством оператора). В пол вагона устанавливаются

перекрестные транспортеры 1, способные перемещать груз в четырех направлениях (вперед, назад, вправо, влево).

Пол вагона делится на два ряда (количество мест зависит от принятого стандарта размера перевозимого пакета). По возможности предполагается размещение ULD между рядами.

Перевозимый ULD закрепляется с четырёх сторон с помощью специальных фиксаторов 2. Направляющие 3 установлены вдоль стен вагона и предохраняют перемещаемый ULD от перекоса. Направляющие и фиксаторы внешне схожи с применяемыми в авиации.

По замыслу автора ULD выгружаются на платформы, оборудованные идентичным механизмом перемещения грузов, что и вагон, для перемещения ULD по направлению к месту хранения/перегрузки на другой вид транспорта, а также формирования очереди для погрузки в вагоны.

Механизм функционирует по представленному в данной работе алгоритму в соответствии с имеющимися схемами о начальном и конечном размещении ULD в вагоне.

Основной задачей ПО является формирование схем размещения ULD в зависимости от этапа движения поезда для обеспечения работы механизма.

Разработаны блок-схемы алгоритма работы механизма автоматического перемещения перевозимых грузов внутри вагона на основе алгоритмов поиска в ширину и A*.

При расчете алгоритм поиска в ширину всегда будет находить наиболее верное решение, так как является по своей сути полным перебором, но в ходе тестирования алгоритм требовал значительные вычислительные ресурсы, начиная с 15 ходов для достижения состояния В из состояния А. Данное ограничение связано, в первую очередь, с ограничением в оперативной памяти, хранящей все вершины, которые были проверены алгоритмом, и очередь с вершинами для проверки.

Поэтому было принято решение к переходу к алгоритму с допустимой эвристикой: сумма необходимых ходов ULD из своих позиций состояния A, до требуемых позиций состояния B, или к алгоритму A*.

Дальнейшее тестирование показало, что алгоритм A* допустимо работает до 30 ходов. Ограничение в 30 ходов связано в первую очередь с тем, что общее количество вершин превышает размер в 4 байта и, тем самым, требует использование не просто указателей на вершины, но и группировку этих указателей. При группировке возникает то же ограничение в оперативной памяти. Оценка показала, что переход от оперативной памяти к памяти жесткого диска не окажет значительного влияния на алгоритм, так как количество вершин графа растет экспоненциально с каждым уровнем графа, а также растет вычислительная сложность алгоритма, что, в свою очередь, повлияет на время расчета.

Программа, реализующая алгоритм содержит следующие части:

- 1) Интерфейсная часть, в которой исходные данные для расчета задаются пользователем и все ходы решения выводятся в информационное окно вывода результатов или в виде сообщения об ошибке (рисунок 2).
- 2) Расчетная часть содержит функцию для анализа исходных данных, основную расчетную функцию и дополнительные функции для проведения расчета.

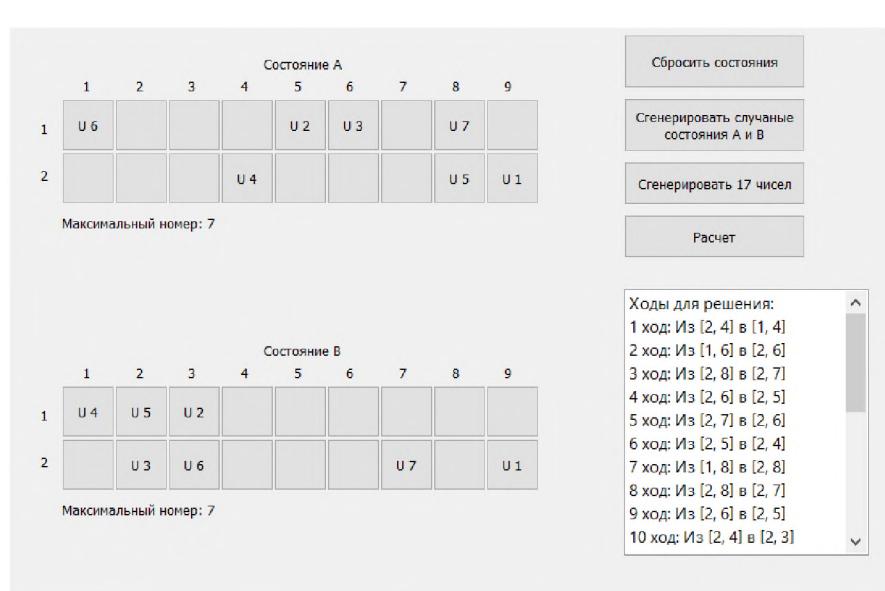


Рисунок 2 – Интерфейс расчетной программы

3) Дополнительные функции включают в себя функцию раскрытия вершины графа, функцию проверки вершины графа, функцию поиска номеров положения нулей в текущей вершине, функцию оценки эвристики.

Представлен подход к решению задачи по размещению грузовых единиц в перспективном высокоскоростном поезде в условиях увеличения скоростей движения и массы состава.

Для моделирования и формирования оптимизационной задачи введены некоторые обозначения, описывающие рассматриваемый объект исследования.

Пусть

M_i – масса грузов i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

M_{\max}^i – предельно допустимое значение массы, которое можно разместить в i -ом вагоне, $\forall i = 1, \dots, 8$.

μ – множество значений, ограничивающее массу грузов i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

m_{ij} – масса j -го ULD, размещенного в i -ом вагоне, $\forall i = 1, \dots, 8$; $\forall j = 1, \dots, 8$.

C_i – двумерный вектор, определяющий положение центра масс i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

G_i – множество двумерных векторов, задающих геометрические центры каждого вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

L – величина, ограничивающая расстояние между центром масс (C_i) и геометрическим центром масс (G_i).

α_1, α_2 – веса слагаемых целевой функции.

$x_{ij} \in \{0,1\}$. $x = 1$, если j -ый ULD размещена в i -ом вагоне. В противном случае $x = 0$.

Рассматривается целевая функция вида:

$$F = \alpha_1 \cdot \sum_{i=1}^8 (\mu_i - M_i) + \alpha_2 \cdot \sum_{i=1}^8 \|C_i - G_i\| \rightarrow \min \quad (1)$$

На объекте:

$$\left\{ \sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq M_{\max}^i, \forall i = 1, \dots, 8, \right. \quad (2)$$

$$\left. \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq \sum_{i=1}^8 M_{\max}^i, \right. \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq \mu_i, \forall i = 1, \dots, 8, \quad (4)$$

$$\|C_i - G_i\| \leq L, \forall i = 1, \dots, 8, \quad (5)$$

Целевая функция (1) содержит два слагаемых:

1. $\sum_{i=1}^8 (\mu_i - M_i)$. Взвешивается коэффициентом α_1 и определяет сумму близостей суммарных масс грузов i -го вагона к j -му элементу из заданного множества μ , где $\mu_i \in \mu$.

2. $\sum_{i=1}^8 \|C_i - G_i\|$. Взвешивается коэффициентом α_2 и задает сумму расстояний между положением центра масс и геометрическим центром масс каждого из вагонов.

Неравенство (2) задает ограничение на суммарную массу i -го вагона, где x_{ij} – элемент, принадлежащий множеству $\{0, 1\}$ и определяющий наличие груза в i -ом вагоне на j -ой позиции. Неравенство (3) ограничивает суммарную массу загруженных в поезд ULD грузоподъемностью вагонного состава. Выражение (4) ограничивает сумму масс грузов i -го вагона значением μ_i , где $\mu_i \in \mu$. Неравенство (5) накладывает ограничение на расстояние между центром масс и геометрическим центром масс.

Математическая модель, описываемая уравнениями (1) – (5), является некоторой абстракцией. Для конкретизации задачи необходимо задавать параметры, ограничивающие область изменений значений объекта. Таким образом, для того чтобы сформулировать конечную задачу, необходимо определить:

- грузоподъёмность каждого вагона (M_{\max});
- массу каждого ULD (M_i);

- множество значений, определяющее способ загрузки ULD во всем поезде μ ;

- геометрический центр масс G;
- максимально допустимое расстояние между центром масс и геометрическим центром масс L.

Вопрос выбора оптимального способа погрузки должен соответствовать как экономическим, так и физическим потребностям. В данной работе рассмотрены 2 способа загрузки вагонов поезда: «трапециевидный» и «экспоненциальный».

При «трапециевидном» варианте каждый вагон загружается ULD, суммарная масса которых не превышает грузоподъемность данного вагона. На рисунке 3 изображен график экспоненциальной загрузки. Нумерация вагонов производится слева направо. Значения μ_i обозначены на графике точками.

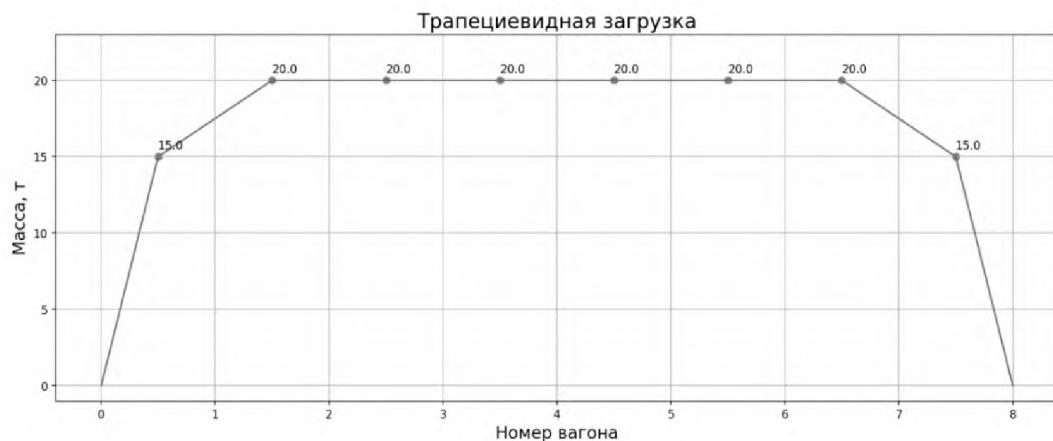


Рисунок 3 – Трапециевидный тип загрузки поезда

На основании известных значений элементов множества M_{max} можно определить μ^{trap} :

$$\mu^{trap} = \{15, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 15\} \quad (6)$$

В условиях невозможности полной загрузки вагонов предлагается использовать «экспоненциальную» схему загрузки: суммарная масса брутто каждого вагона экспоненциально убывает в зависимости от номера вагона, что позволяет не допустить появление более легкого вагона в середине поезда. Так,

первый вагон загружается грузами, суммарная масса которых приблизительно равна значению грузоподъемности вагона, суммарные массы тар последующих вагонов будут экспоненциально убывать. По аналогии с «трапециевидной» загрузкой был построен график «экспоненциальной» загрузки, изображенный на рисунке 4.

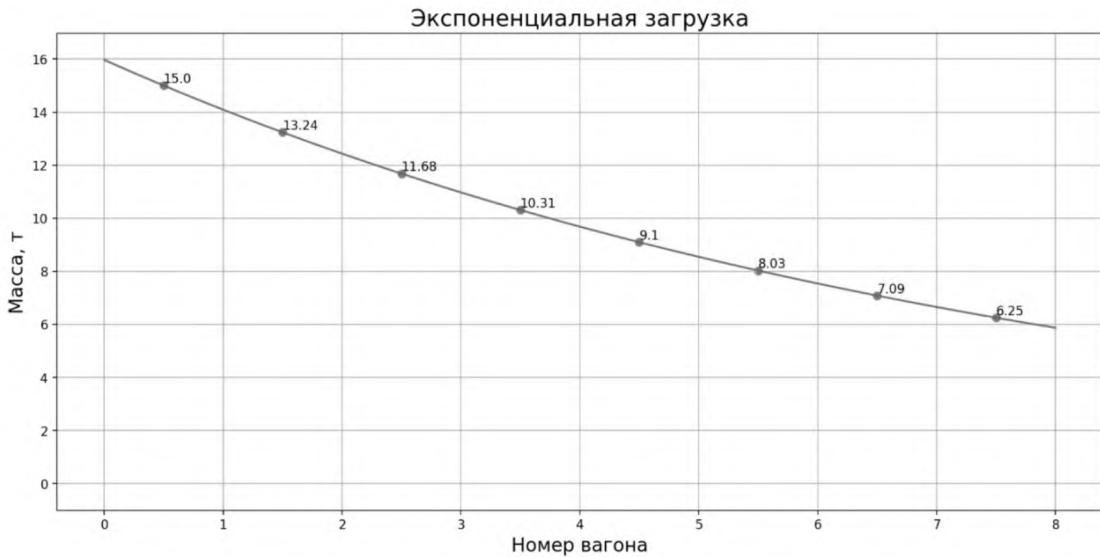


Рисунок 4 – Экспоненциальный тип загрузки поезда

Данный график получен путем масштабирования функции экспоненты из отрезка $[0, 1]$ в отрезок $[0, 8]$. Масштабирование значений функции производилась с помощью коэффициента, рассчитываемого для первого вагона так, чтобы масса груза составляла 15 тонн. Середина отрезка по оси ОХ представляет собой центр вагона: номер вагона – правая граница отрезка. Таким образом, для первого вагона коэффициент масштабирования γ рассчитывался по формулам (7) и (8):

$$z = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (y_{\max} - y_{\min}) + y_{\min} = \frac{0.5 - 0}{8 - 0} \cdot (1 + 0) - 0 = \frac{1}{16}, \quad (7)$$

где:

z – отмасштабированная переменная на новый интервал.

$$\gamma = \frac{m_-}{\exp(-z)} = \frac{15}{\exp\left(-\frac{1}{16}\right)}, \quad (8)$$

Таким образом, в случае экспоненциального типа загрузки множество μ определяется так:

$$\mu^{\text{exp}} = \{15, 13.2, 11.7, 10.3, 9.1, 8, 7.1, 6.3\} \quad (9)$$

Выбор значений параметра максимального смещения центра масс связан со значением суммарной массы грузов в i -ом вагоне в соответствии с Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах.

Задача по оптимальному размещению вагона предлагается искать путем brute force (полного перебора) с применением некоторых эвристик для повышения быстродействия разрабатываемого алгоритма. Предлагается искать ответ в два этапа:

1. Предварительная обработка данных о транспортируемом грузе.
2. Составление схемы размещения грузов в поезде.

На первом этапе выбирается способ загрузки вагонов поезда (трапециевидный или экспоненциальный), после чего происходит формирование очередей грузов, которые будут распределены по вагонам.

На следующем этапе происходит непосредственное вычисление оптимальной схемы загрузки: ищется решение задачи по формулам (1) – (5).

Этап 1 Предварительная обработка данных о транспортируемом грузе. Первым шагом предобработки данных является сортировка всех грузов, которые необходимо транспортировать из пункта А в пункт Б, в порядке убывания по массе. Затем разделить совокупность грузов на 8 подгрупп (число подгрупп соответствует числу вагонов). Предполагается, что масса грузов распределена равномерно на отрезке [0, 1.5].

Этап 2 Составление схемы размещения грузов в поезде. Последовательность действий второго алгоритма начинается с распределения загрузочных очередей в вагоны. Циклично загружается каждый вагон, начиная с головного. Для загрузки каждого вагона строятся возможные комбинации решений, среди которых находится оптимальный с точки зрения введенного функционала качества (1). Каждая новая итерация верхнего цикла находит оптимальную схему загрузки для текущего вагона.

Разработан метод размещения ULD внутри вагона как можно ближе к дверям для ускорения разгрузочных работ на промежуточном остановочном пункте на примере «параллельного» подхода (рисунок 5), когда грузы

выгружаются через центральные двери (ряд 2, столбец 5) по 2 единицы одновременно, что ускоряет общий ход работы.

Столбец 1 Столбец 2 Столбец 3 Столбец 4 Столбец 5 Столбец 6 Столбец 7 Столбец 8 Столбец 9

Ряд 1	O	O	O	X	X	X	O	O
Ряд 2	O	O	O	X	X	X	O	O

X – выгружаемая грузовая единица; O – свободная позиция/«ядро»

Рисунок 5 – Схема размещения ULD при «параллельном» подходе

Проектирование варианта схемы размещения ULD перед выгрузкой предлагается начинать с определения количества выгружаемых ULD: общее число выгружаемых ULD, количество выгружаемых ULD в центре, количество выгружаемых ULD слева (справа) (рисунок 6), количество выгружаемых ULD сверху (снизу) (рисунок 7). С помощью полученных значений будет строиться область выгрузки по принципу группировки всех выгружаемых ULD в области центра – столбец 5.

Столбец 1 Столбец 2 Столбец 3 Столбец 4 Столбец 5 Столбец 6 Столбец 7 Столбец 8 Столбец 9

Ряд 1	O	X	O	X	O	X	O	O
Ряд 2	O	O	O	X	X	O	X	O

Рисунок 6 – Левая и правая зоны схемы распределения грузов

Столбец 1 Столбец 2 Столбец 3 Столбец 4 Столбец 5 Столбец 6 Столбец 7 Столбец 8 Столбец 9

Ряд 1	O	X	O	X	O	X	O	O
Ряд 2	O	O	O	X	X	O	X	O

Рисунок 7 – Верхняя и нижняя зоны схемы распределения грузов

Теория построения области выгрузки рассматривается на примерах схем, изображенных на рисунках 8, 9. В таблице 1 определены зоны размещения и количество ULD в каждой.

Таблица 1 – Распределение выгружаемых ULD по зонам размещения

Название зоны на схеме	Количество выгружаемых ULD
Полная схема	6
Центр	1
Левая	3
Правая	2
Верхняя	3
Нижняя	3

После построения таблицы проверяется количество ULD в центральной зоне. В рассматриваемом примере значение данного параметра равно 1, а позиция такого ULD снизу. Поскольку позиция (Ряд 2, Столбец 5) занята, то сдвиг левой нижней зоны будет производиться для каждого объекта на ((Ряд 2, Столбец 5) - i), где $i=1,2,3,4$. По аналогии строятся рассуждения для правой нижней зоны. Анализ верхней зоны также начинается с центральной позиции (Ряд 1, Столбец 5), которая является, пустой (или занятой не интересующим нас грузом). Таким образом, на это место может претендовать как первый груз из левой верхней зоны, так и первый груз из правой верхней зоны. Предпочтение отдается тому грузу, который находится в зоне с большим числом выгружаемых ULD. После этого фиксируется центральная позиция, и все дальнейшие сдвиги вокруг нее проводятся по аналогии с рассмотренным ранее случаем сдвига в левой нижней зоне. Реализуя приведенные рассуждения, можно получить схему расположения ULD перед выгрузкой, изображенную на рисунке 7.

В третьей главе «Оценка конкурентных преимуществ высокоскоростного грузового поезда, оснащенного СРСЦТ, в цепи поставок» проведена оценка эффективности от внедрения системы регулирования смещения центра тяжести. Проведен сравнительный анализ технических характеристик

рассматриваемого 8-вагонного поезда и грузового автомобиля грузоподъёмностью 20 т (еврофуры) (таблица 2).

Таблица 2 – Сравниваемые параметры автомобильного и высокоскоростного железнодорожного транспорта

№ п/п	Наименование показателя	Автомобильный транспорт	Высокоскоростной железнодорожный транспорт			
			Вагон (промежуточный)	Поезд (8 вагонов)	Δ (Вагон/еврофура)	Δ (Поезд/еврофура)
1	Грузоподъёмность, т	20	~20	~150	1 раз	>7,5 раз
2	Объём перевозимого груза, м ³	90-120	~117*	~832*	>1,1-1,3 раза	>7-9,2 раз-
3	Время погрузки – выгрузки одного грузового места, мин	3**	~0,3***	~0,3***	<10 раз	<10 раз
4	Техническая скорость, км/ч	~60	~150	~150	>2,5 раза	>2,5
5	Количество грузовых мест****	33	18	128	<2 раза	>3,9 раз

* - грузовой пакет сформирован из авиационных поддонов PYB-Q6 с габаритами (2,438x1,4x1,9), которых в промежуточном вагоне 18 ед., в головном – 10 ед.

** - время погрузки-выгрузки одного грузового места весом 1-3 тонны автопогрузчиком из автомобильного транспорта указано в соответствии с межотраслевыми нормами времени на погрузку, разгрузку вагонов, автотранспорта и складские работы. Нормами учтено время на подготовительно-заключительные работы, обслуживание рабочего места, технологические перерывы, предусмотренные технологией погрузки-выгрузки грузов, отдых и личные надобности.

*** - экспертное значение.

**** - для перевозки грузов на авто применяется европоддон, на поезде – PYB Q6.

Согласно данным таблицы 2 грузоподъёмность промежуточного вагона идентична грузоподъёмности еврофуры, и, однако, 8-ми вагонный поезд по грузоподъёмности может заменить 7,5 еврофур. Вагон способен вместить груза на 15 - 45 м³ больше евро фуры, что эквивалентно вместимости грузовика грузоподъёмностью 3-10 т. Грузовой объём поезда равен 9 еврофурам 90 м³ и 7 еврофурам 120 м³.

Время выгрузки поезда перевозящего 128 ULD будет меньше времени выгрузки грузового автомобиля, перевозящего 33 поддона почти в 18 раз.

По показателю технической скорости высокоскоростной поезд превосходит автомобиль в два с половиной раза.

Учитывая скоростные и объёмные показатели 8-ми вагонный поезд эквивалентен 18 еврофурам.

Разработана базовая модель расчёта времени доставки груза с применением высокоскоростного поезда, оснащенного системой регулирования смещения центра тяжести, в цепи поставок

Среднее время перевозки груза еврофурой ($T_{авто}$) вычисляется по формуле:

$$T_{авто} = t_{погрузка}^{авто} + t_{в пути}^{авто} + t_{выгрузка}^{авто}, \quad (10)$$

где:

$t_{погрузка}^{авто}$ – время погрузки груза в пункте отправления на еврофуру;

$t_{в пути}^{авто}$ – время автомобиля в пути (техническая скорость);

$t_{выгрузка}^{авто}$ – время выгрузки груза в пункте прибытия с еврофуры.

Среднее время перевозки груза смешанным видом транспорта ($T_{смеш.}$) вычисляется по формуле:

$$T_{смеш.} = t_{погрузка}^{авто спец.} + t_{до ст.отпр.}^{авто спец.} + 2t_{перегрузка} + t_{в пути}^{поезд} + t_{пром.ост.}^{поезд} + \\ + t_{до грузополуч.}^{авто спец.} + t_{выгрузка}^{авто спец.}, \quad (11)$$

где:

$t_{погрузка}^{авто спец.}, t_{выгрузка}^{авто спец.}$ – время погрузки/выгрузки в пункте

отправления/назначения авто, адаптированного для перевозки ULD;

$t_{до ст.отпр.}^{авто спец.}, t_{до грузополуч.}^{авто спец.}$ – время движения автомобиля, адаптированного для перевозки ULD, до пункта отправления поезда/грузополучателя;

$t_{перегрузка}$ – время перегрузки с автомобиля, адаптированного для перевозки ULD, на поезд (с поезда на автомобиль);

$t_{в пути}^{поезд}$ – время движения поезда в пути на определенном участке без учёта промежуточных остановок;

$t_{пром.ост.}^{поезд}$ – время, затрачиваемое поездом на осуществление погрузочно-разгрузочных работ.

Время затрачиваемое на промежуточные остановки ($t_{пром.ост.}^{поезд}$) вычисляется по следующей формуле:

$$t_{\text{пом.ост.}}^{\text{поезд}} = \sum_{i,j=1} (2t_{\text{o/z дверей}}^{\text{вагон}} + t_{\text{выгрузка } i}^{\text{вагон р}} + t_{\text{погрузка } j}^{\text{вагон р}}) \quad (12)$$

где:

i – порядковый номер остановочного пункта;

$t_{\text{o/z дверей}}^{\text{вагон}}$ – время открытия и закрытия дверей (5 с) вагона;

$t_{\text{выгрузка } i}^{\text{вагон р}}, t_{\text{погрузка } j}^{\text{вагон р}}$ – время погрузки и выгрузки расчётных вагонов.

Время перегрузки считается по следующей формуле (допустимо для перегрузки с поезда на авто):

$$t_{\text{перегрузка}} = t_{\text{выгрузка}}^{\text{авто спец.}} + 50/0,15 + t_{\text{погрузка}}^{\text{поезд}} \quad (13)$$

где:

50 – расстояние между транспортными средствами, м;

0,15 – средняя скорость перемещения одного ULD, м/с.

В результате сравнения времени перевозки грузов из Серпухова в Набережные Челны автомобильным транспортом и смешанным транспортом (автомобильный и перспективный высокоскоростной грузовой поезд) разница составила 8,72 часа в пользу смешанного транспорта.

Заключение

По теме диссертационной работы получены следующие результаты:

1. Основным доходом железнодорожной отрасли становятся перевозка массовых грузов, а также транзитные контейнерные перевозки. Для сохранения доли в перевозках высокодоходных грузов (второго и третьего тарифного класса) необходимы разработки новой тарифной политики, т. е. построение тарифов для различных грузов в зависимости от ценовой эластичности спроса на перевозку, и транспортных продуктов, адаптированных к тем или иным потребностям грузовладельцев.

2. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о наличии сектора транспортного рынка для реализации предлагаемой технологии высокоскоростных грузовых перевозок на железнодорожном транспорте России.

3. Разработана концепция СРСЦТ для перспективного высокоскоростного грузового поезда, перевозящего транспортные пакеты (схожие по габаритам, но

различны по массе), осуществляющего частичные погрузочно-разгрузочные работы. СРСЦТ, обеспечивает безопасность движения поездов благодаря автоматическому регулированию положения центра тяжести вагона, а также повышает скорость доставки грузов.

4. Разработана схема устройства пола вагона перспективного грузового высокоскоростного поезда, перевозящего тарно-штучные грузы в транспортных пакетах с применением авиационных поддонов РYB-Q6, оснащенного механизмом, способным автоматически перемещать и фиксировать перевозимые ULD внутри вагона по технологии, схожей с применяемой в авиации, а также осуществлять погрузочно-разгрузочные работы.

5. Разработан алгоритм работы механизма для перемещения перевозимых ULD внутри вагона, т. е переход из начального состояния расположения грузов в конечное, основанный на алгоритмах поиска в ширину и A*, представленный в виде задачи поиска между двумя вершинами конечного неориентированного графа. Осуществлена программная реализация.

6. Разработан оптимизационный метод размещения груза в вагонах перспективного высокоскоростного поезда на основе алгоритма полного перебора, исключающий возможность появления недопустимо лёгкого вагона в середине поезда в отличие от существующего метода погрузки проектного поезда СТХ.

7. Разработаны допустимые варианты расположения ULD в вагоне перед выгрузкой с целью наименьших затрат времени при выполнении погрузочно-разгрузочных работ. Разработан метод размещения грузов в вагоне перед началом выгрузки. Алгоритм размещения представлен в графическом виде.

8. Проведен сравнительный анализ основных технических показателей, влияющих на скорость, массу и объём доставки груза между грузовым автомобилем (еврофурой) и перспективным высокоскоростным грузовым поездом. Разработана модель расчёта времени доставки груза в смешанных перевозках (автомобиль и перспективный высокоскоростной грузовой поезд) «от двери до двери».

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях

1. Безруков, Д. Д. Технология автоматического перемещения грузов в вагонах перспективных высокоскоростных грузовых поездов / Д.Д. Безруков, Е.А. Пономарёв // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление» – 2019. – №5. – С. 36-42.

2. Безруков, Д. Д. Технология оптимального размещения грузов в вагонах перспективных высокоскоростных грузовых поездов / Д. Д. Безруков, А. Д Луканькин // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление». – 2020. – №5. – С. 41-46.

Работы в других изданиях

1. Безруков Д.Д. Концепция системы регулирования смещения центра тяжести вагонов перспективного багажного высокоскоростного поезда. [Текст] / Д.Д. Безруков // Сборник научных трудов по материалам IX международной научно-практической конференции «Наука XXI века: открытия, инновации, технологии» – Смоленск: МНИЦ «Наукосфера». – 2020. – С. 33-36 .

2. Безруков Д.Д. Метод группировки грузов внутри вагона перспективного высокоскоростного поезда с целью ускорения грузовых операций [Текст] / Д.Д. Безруков // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (актуальные проблемы и их решения): сборник статей 7-й международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГАУ.– Пенза: РИО ПГАУ. – 2020. – С. 201-209.

3. Безруков Д.Д. Выбор транспортной тары для перевозки тарно-штучных грузов высокоскоростным поездом, оснащенным системой регулирования смещения центра тяжести. [Текст] // Сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции «Новейшие достижения в науке и образовании» – Смоленск: МНИЦ «Наукосфера». – 2020. – С. 63-68.

**Инновационная система автоматического регулирования смещения центра
тяжести грузов в высокоскоростном грузовом поезде**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее
регионов и городов, организация производства на транспорте

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать

Заказ №

Формат 60x90/16

Усл.-печ. л. 1

Тираж 80 экз
