

# ПЛАНИРОВАНИЕ КОНТРЕЙЛЕРНЫХ ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

**Д.С. Хасанов**

*Санкт-Петербургский Федеральный Исследовательский Центр РАН*  
Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-линия ВО, 39  
E-mail: dkhasanovsuai@yandex.ru

**Ключевые слова:** Интегрированные операции, логистика, транспортная сеть, хаб, контейнерные перевозки.

**Аннотация:** В данной статье в качестве объекта исследования рассматривается проблема планирования транспортных перевозок, в качестве фона принимается контейнерный контейнерный транспорт, а в основу положена идея сети на основе хаба. С целью минимизации общих затрат на эксплуатацию сети создается модель расположения узла контейнерных перевозок на основе хабовой сети, объединяющий текущий региональный грузопоток и состояние транспортной сети, а затем рассчитывается схема расположения узла транспортной сети и общие эксплуатационные затраты гибридной хабовой сети.

## 1. Введение

Под контейнерной перевозкой понимается вид транспорта, при котором одно транспортное средство помещается на другое. В данной статье в основном рассматривается сочетание контейнеров и полуприцепов, использование режима подъема или спуска, а также использование железнодорожных перевозок для дальних перевозок. Этот вид транспорта может эффективно сочетать в себе такие характеристики, как большой объем перевозок и низкое энергопотребление на железной дороге с гибкостью и удобством автомобильных перевозок, что позволит снизить энергопотребление и транспортные расходы всей сети. [1-3]

Развитие контейнерных перевозок – это системный проект, который должен включать в себя технологии автомобильного транспорта, технологию железнодорожного транспорта, организацию перевозок, информационные технологии и так далее.

Данная статья посвящена ключевой проблеме железнодорожных контейнерных перевозок. Проблема расположения терминалов, основанной на существующей сети железнодорожных грузоперевозок, разбросанных по всей стране железнодорожных логистических баз, интегрирующих [4-5] связь, создающих систематическую сеть контейнерных перевозок. Посредством интеграции узловых частей сети в поставках товаров, можно повысить эффективность перевозок и снизить общую стоимость всей транспортировки (рис. 1).

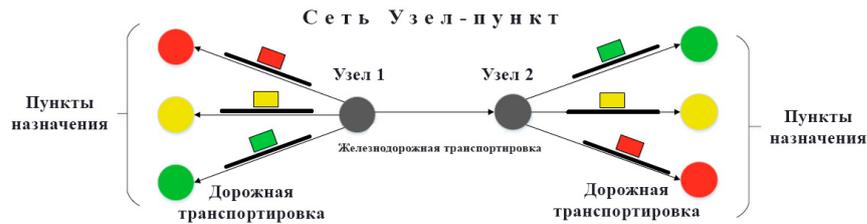


Рис. 1. Схема контрейлерной перевозки.

## 2. Оформление основного текста

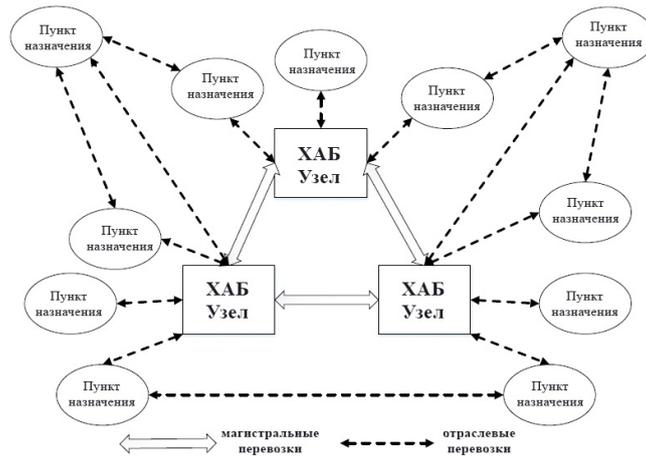
Основная цель при планировке узла выбора в транспортной сети – использовать эффект масштаба между узлами для минимизации общей стоимости сети. В гибридной сети экономия от масштаба зависит от распределения затрат, использования транспортных ресурсов и эффективности транспортировки. При контрейлерной перевозке контейнеров использование хабовой сети может привести к некоторому ожиданию грузового транспорта и ненужным расходам на объезд, но в контексте общей эффективности масштаба сети общая стоимость перевозки может быть значительно снижена. [6]

Расположение узловых станций определяется исходя из объема грузоперевозок узла и доступности узла к другим узлам сети, а также оптимизируется в зависимости от экономического и логистического развития региона. При этом соответствующее количество узловых станций оценивается в зависимости от фактической ситуации. [7]

Предыдущие исследования показали, что когда количество узлов сети контрейлерных перевозок равно  $\sqrt{N}$  (общее количество узлов в сети), общие затраты ниже. Поэтому в данной статье количество узлов сети контрейлерных перевозок железнодорожных контейнеров определяется как  $\sqrt{N}$ , которое является целым числом после квадратного корня из общего количества узлов в сети.

## 3. Транспортный маршрут и стоимость транспортировки

В этой статье, рассчитав кратчайшее расстояние транспортировки от одного узла сети до другого узла и получив маршрут, можно получить сумму кратчайших расстояний каждого узла сети. В сети транспортировки, кратчайший маршрут также будет использоваться для маршрута транспортировки между узловыми точками. Если стоимость транзита между узловыми точками превышает определенный порог, от перевозки по схеме придется отказаться и использовать кратчайший маршрут для прямой перевозки. [8] Если переброска между двумя пунктами будет осуществляться с помощью одиночного транспортного средства, то транспортный маршрут, будет проходить через одну или несколько узловых станций (рис. 2).



**Рис. 2.** Многоточечная смешанная сеть с транспортными хабами.

Данная статья в основном посвящена проблеме выбора точек в распределительной хабовой сети. В процессе исследования изучаются только основные узловые точки в распределительной сети [9].

Основные допущения:

- Транспорт между начальным и конечным пунктами должен проехать две узловые станции;
- Транспортировка от точки поставки до хаба осуществляется автомобильным транспортом;
- В одном городе строится только один тип хаба;
- Если транзитное расстояние между узлами превышает расстояние по прямой в 1,5 раза, от сети через узел придется отказаться и перейти на прямые перевозки;
- Стоимость передачи между узлами постоянна, и при прямых перевозках не требуется затрат на перевалку;
- Каждая станция имеет достаточную эксплуатационную мощность;
- Транспортные средства имеют достаточный резерв для обеспечения своевременной работы [10].

## 4. Целевая функция

Целевая функция оптимизационной модели:

$$(1) \quad Z = \min \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m h_{ij} X_{ij}^{km} C_{ij}^{km} + \sum_i \sum_j \sum_{k \neq j} \sum_{m \neq k \cup m \neq j} X_{ij}^{km} g_{ij}^{km}.$$

Общие транспортные расходы:

$$(2) \quad C_{ij}^{km} = C_{im}^0 + C_{jk}^0 + \alpha C_{km}^1.$$

В транспортном маршруте  $i$ - $j$ - $k$ - $m$ , если есть прямая перевозка, нет необходимости в пересадке. В этом случае стоимость пересадки не учитывается. В других случаях стоимость пересадки рассчитывается в зависимости от количества узлов, проходящих через маршрут:

$$(3) \quad g_{ij}^{km} = \begin{cases} h_{ij} C_{ij}^{km} & \text{если } (k = i \cap m = j) \cup (k = m = j) \cup (k = m = i) \\ h_{ij} C_{ij}^{km} + g_k(h_{ij}) & \text{если } k \neq i \cap (m = j \cup m = k) \\ h_{ij} C_{ij}^{km} + g_m(h_{ij}) & \text{если } m \neq j \cap (k = i \cup m = k) \\ h_{ij} C_{ij}^{km} + g_m(h_{ij}) + g_k(h_{ij}) & \end{cases}.$$

Ограничения модели определения стоимости узла на основе осевой и радиальной сети:

Поток грузов должен обслуживаться узловой станцией и проходить через узловую станцию:

$$(4) \quad \sum_k \sum_m X_{ij}^{km} = \partial_{ij} \quad \forall i, j,$$

$$(5) \quad \partial_{ij} = \begin{cases} 0; 1, 5d_{ij} \geq d_{ij}^{km} \\ 1; 1, 5d_{ij} \leq d_{ij}^{km}. \end{cases}$$

Когда узел выбран в качестве узловой станции, поток транспорта может считаться как обслуживаемый узлом и учитываться в расчетах:

$$(6) \quad Y_k \geq X_{ij}^{km} \geq 0, \quad \forall i, j, k, m,$$

$$(7) \quad Y_m \geq X_{ij}^{km} \geq 0, \quad \forall i, j, k, m.$$

Количество узловых станций должно соответствовать общему количеству:

$$(8) \quad \sum_k Y_k = P, \quad \forall k.$$

Предельная величина распределения между узловой станцией и линией грузопотока:

$$(9) \quad Y_k = \{0, 1\}, \quad \forall k,$$

$$(10) \quad X_{ij}^{km} \in [0, 1], \quad \forall i, j, k, m.$$

Если расстояние до узла более чем в 1,5 раза превышает расстояние прямой перевозки, будет использоваться прямая перевозка:

$$(11) \quad \beta = \frac{3d_{ij}}{2d_{ij}^{km}} - \left\lfloor \frac{3d_{ij}}{2d_{ij}^{km}} \right\rfloor,$$

$$(12) \quad X_{ij}^{km} \leq \frac{3d_{ij}}{2d_{ij}^{km}} - \beta.$$

## 5. Поиск оптимального решения логистической задачи

В данной работе 30 пунктов или логистических центров первого уровня выбраны в качестве альтернативных узлов для создания расчетов (рис. 3).

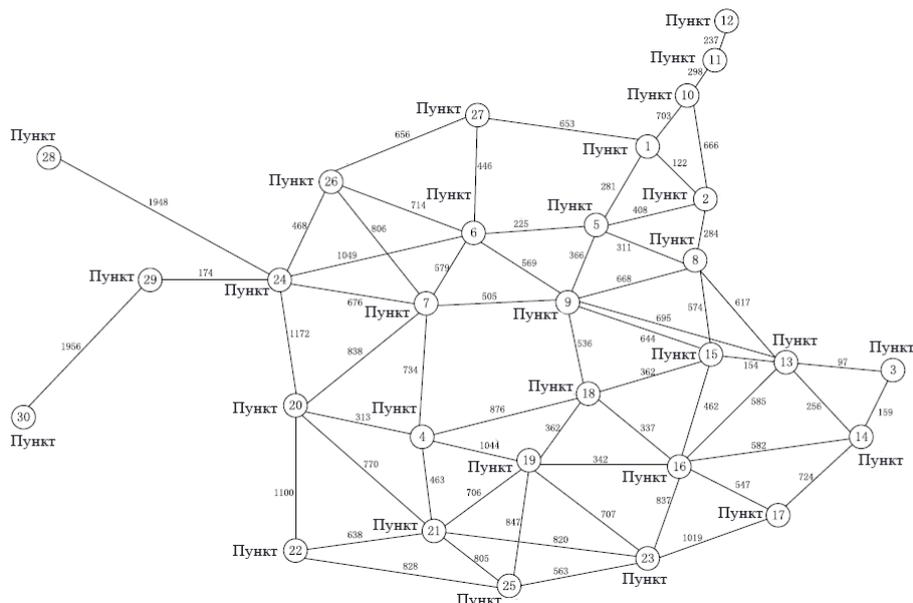


Рис. 3. Схема сети между альтернативными узлами.

Исходя из существующего объема грузоперевозок и данных о кратчайшем расстоянии транспортировки, расчетный показатель позиционирования узловых точек для планирования хабов сети железнодорожных контейнерных перевозок рассчитывается следующим образом:  $V = \frac{C}{W}$ ; Количество подходящих узлов составляет  $\sqrt{N}$ , а количество выбранных узлов - 30. Таким образом, 6 лучших городов по индексу выбираются в качестве городов альтернативных узлов [11].

## 6. Результаты

Для исследования радиальной сети узла количество изменений в общей стоимости сетевого эффекта, для сохранения существующей транспортной сети, цена единицы продукции и стоимость услуг узла неизменна. Основываясь на существующих шести узлах, изменения влияния на общую стоимость сети, в процессе увеличения и уменьшения количества узлов, необходимо выбрать хаб, который имеет лучшую оценку (таб. 1).

Таблица 1. Влияние количества узлов на общую стоимость различных сетей.

Номер пункта / узла	Стоимость гибридной сети	Стоимость аксиально-радиальной сети	Стоимость кратчайшей сети
5	28,766,458	39,467,823	29,650,368
6	27,435,628	35,740,850	29,650,368
7	27,115,316	34,699,664	29,650,368
8	27,819,432	34,890,829	29,650,368
9	28,518,927	34,480,002	29,650,368
10	28,539,575	34,036,614	29,650,368
11	29,481,706	35,472,981	29,650,368
12	29,341,885	35,135,509	29,650,368

## 7. Анализ результатов

Согласно результатам изменения, когда количество узловых станций равно 7, общая стоимость достигает минимума. Этот результат показывает, что с увеличением количества узловых станций увеличивается стоимость транзита через узловые станции, что заставляет некоторые потоки, изначально выбравшие сеть с узловыми станциями, переходить на прямые перевозки. С ростом числа узловых станций также снижается эффективность магистральных перевозок. Из результатов анализа видно, что когда количество выбранных узлов составляет 7 узлов, общая стоимость сети может быть оптимизирована.

## 8. Заключение

В данной работе разработана модель планирования узлов сети контейнерных перевозок. На основе данных исследования был проанализирован пример расчета, схема выбора участка, полученная из примера расчета, была проверена для получения текущей общей стоимости сети, а также было изучено изменение общей стоимости сети в зависимости от количества различных узловых точек.

## Список литературы

1. Цыганов А.В., Осинцев Н.А. Система параметров подвижного состава интермодальной контейнерной технологии // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17, № 2(72). С. 262-272. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-2-262-272. EDN UMCISQ.
2. Рахмангулов А.Н., Цыганов А.В., Осинцев Н.А. Железнодорожный подвижной состав для контейнерных перевозок // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы: материалы Первой Международной научно-технической конференции (Ташкент, 20-23 апреля 2022 г.), Ташкент, 20-23 апреля 2022 года. Ташкент: Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТрУ), 2022. С. 113-120. EDN UBXTQA.
3. Виноградов С.А., Мехедов М.И., Хомов А.В., Шведин К.И. Развитие перевозок грузов в интермодальных транспортных грузовых единицах // Железнодорожный транспорт. 2022. № 2. С. 7-11. EDN JPIRK.
4. Неманова Н.А. Комплексный подход к цифровой трансформации интермодальных контейнерных перевозок // Бюллетень результатов научных исследований. 2019. № 2. С. 109-117. DOI 10.20295/2223-9987-2019-2-109-117. EDN SKGXUM.
5. Куренков П., Сафронова А., Кахриманова Д. Логистика международных интермодальных грузовых перевозок // Логистика. 2018. № 3 (136). С. 24-27. EDN YXJIRJ.
6. Geyda A., Fedorchenko L., Lysenko I., et al. Concept and Models of Information Application for Actions in Systems // Conference of Open Innovations Association FRUCT. 2022. No. 31. P. 407-415. EDN ADHGFM.
7. Svistunova A.S., Khasanov D.S. Improving the efficiency of traffic management in a metropolis based on computer simulation // Computing, Telecommunications and Control. 2021. Vol. 14, No. 3. P. 33-42. DOI 10.18721/JCSTCS.14303. EDN OEBQIQ.
8. Свистунова А.С., Хасанов Д.С., Кравец Д.М. Построение цифрового двойника Западного скоростного диаметра Санкт-Петербурга на основе имитационного моделирования // Десятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021): Труды конференции (электронное издание), Санкт-Петербург, 20-22 октября 2021 года / Редакторы Плотников А.М., Долматов М.А., Смирнова Е.П. Санкт-Петербург: АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2021. С. 382-388. EDN TTDSTO.
9. Хасанов Д.С., Свистунова А.С. Технология сбора данных в логистике // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч., Санкт-Петербург, 13-14 октября 2021 года. Часть 3. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2021. С. 275-279. DOI 10.18720/SPBPU/2/id21-377. EDN RRNLN.

10. Хасанов Д.С. Мультиагентное моделирование при прогнозировании управления транспортными сетями // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XXVI Международной научно-практической конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 13-14 октября 2022 года. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2023. С. 324-330. DOI 10.18720/SPBPU/2/id23-67. EDN SNZPYC.
11. Лукинский В.С., Искандеров Ю.М., Соколов Б.В., Некрасов А.Г. Проблемы и перспективы использования интеллектуальных информационных технологий в логистических системах // Информационные технологии в управлении (ИТУ-2018): материалы конференции, Санкт-Петербург, 02-04 октября 2018 года. Санкт-Петербург: «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», 2018. С. 80-89. EDN YYG1NB.