

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Ж.-Д. ТРАНСПОРТА И МАРШРУТНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА

Розглянуто питання взаємодії залізничного транспорту та маршрутних засобів доставки вантажу споживачам, забезпечення оптимальних схем функціонування маршрутної мережі у відповідності з можливостями транспортного вузла.

Рассмотрены вопросы взаимодействия железнодорожного транспорта и маршрутных средств доставки грузов потребителям, обеспечения оптимальных схем функционирования маршрутной сети в соответствии с возможностями транспортного узла.

The article is devoted to the issues of interaction between railway transport and fixed route modes of goods delivery to customers, the provision of optimal functional schemes of the route network, in accordance with specific capacities of a transport junction.

Работа любого промышленного узла, особенно на предприятиях непрерывного цикла, связана с необходимостью обеспечения единого надежного и гарантированного от сбоев транспортного обеспечения протекающих процессов. Это особенно актуально для производств, характеризующихся высокой динамикой, крупными или территориально распределенными объектами и, как следствие, интенсивными грузопотоками. Поддерживать необходимый ритм, обеспечивая наличие минимального задела, призван весь транспортный парк, задействованный на предприятии. Особую роль в нем отводится средствам регулярного действия, занятым на периодической, с заданной частотой, доставке груза из мест отправления в места назначения. Это так называемый маршрутный транспорт.

### **Маршрутизация перевозок. Предыстория вопроса**

В [1] указывается, что маршрут – это заранее установленный путь следования или совокупность путей и стрелок, по которым следует поезд или локомотив при многократном повторении операций. Таких операций множество. На железной дороге это и прием/отправление груза, и сквозной проход поезда, и следование по станции и др. операции. Движение при этом осуществляется маршрутными поездами, т. е. грузовыми поездами из специально подобранных вагонов одного назначения, в которых груз перевозится без переработки в ходе транспортировки. Такой метод организации, обеспечивающий быстрее перемещение грузов к пунктам назначения, определяется маршрутизацией, которая на большегрузном транспорте является центральной.

Центральная маршрутизация чаще всего представляет собой сложную систему управления стрелками и сигналами на маршруте, позволяя осуществлять необходимые операции в заданной последовательности, диктуемой центральным пунктом управления. Другие формы маршрутизации применяются для решения местных локальных задач, что объяснимо меньшими объемами и, как следствие, меньшими грузопотоками.

Таким образом, маршрутный транспорт играет значительную роль в достижении стабильного и бесперебойного функционирования предприятий. Однако вследствие многообразия выпускаемой продукции, различных объемов и технологической специфики производства он различен. Для крупных заводов, мест добычи сырья или топлива применяются, как правило, железнодорожные средства доставки. Для средних и мелких производств, сельских объектов доминируют перевозки автомобильным транспортом. В городской черте и пригородных сообщениях развита сеть малых маршрутных средств.

Наряду с этим, значительное развитие и усложнение инфраструктуры производств, высокая насыщенность транспортом дорожной сети приводят к необходимости изменения сложившихся схем организации. Возникновение заторов, рост аварийности, задержки с поставками грузов требуют принятия оперативных мер.

В этой связи представляет интерес изучение взаимодействия различных видов транспорта, их влияние друг на друга и на транспортную проблему в целом. Попробуем на основе моделирования и учета статистических закономерностей проследить наметившиеся тенденции, предложить методики построения оптимальных маршрутных схем.

## Железнодорожные сообщения.

### Структурные изменения последних лет

Маршрутизация промышленного транспорта наиболее эффективна и заметна именно в сфере железнодорожных перевозок. В первую очередь это касается обслуживания зон добычи полезных ископаемых, доставки сырья для предприятий металлургической и химической промышленности. Большие объемы перевозимых грузов, необходимость соблюдения технологической последовательности процессов, циклические операции обусловили интенсивное развитие железнодорожной сети.

Как правило, при размещении узловых станций, мест погрузки/выгрузки товара учитывалось расположение крупных потенциальных заказчиков. Однако в силу экономических изменений многие из них были расформированы или перешли в другие формы деятельности. Грузооборот стал меньше и эффективность таких перевозок снизилась. Рост числа мелких потребителей привел к расширению сети оптовых баз, где роль железнодорожных перевозок осталась по-прежнему высока. Поэтому для потребителя стало важным определиться с организацией и режимом работы станций, где чаще всего и размещаются оптовые базы и склады.

### Выбор мест размещения зон погрузки/выгрузки на ж.-д. промышленном транспорте

Выбор мест погрузки/выгрузки обусловлен наличием подъездных путей и мест хранения грузов. Для этого требуется учесть и особенности погрузочных средств, возможность совершения маневра и перебазирования к разным участкам, технологические различия.

Большое значение для определения скорости и объемов погрузочно/разгрузочных работ играет размер фронта. Согласно [3] он определяется вместимостью железнодорожных путей,

предназначенных для технологических операций с грузом, выраженной числом одновременно обрабатываемых вагонов. Длина фронта зависит не только от характера перевозимых грузов (для сыпучих – по длине состава или приемника; для жидкостей – расположением мест слива; для контейнерных или упакованных изделий – протяженностью подъездных путей и технологической зоны работы кранов), но и от размеров самой станции.

Пути, определяющие трассу движения составов, образуют сложную сеть коммуникаций, структурно делятся на главные (по которым происходит движение транспортных средств между станциями), подъездные (на подходе к станции) и станционные (предназначенные для маневра и перемещения в пределах станции, формирования состава, ремонтных работ). Их протяженность и конфигурация различны и определяются размерами станции, ее месторасположением.

В контексте рассматриваемой задачи для нас более важно знать план размещения станционных путей, поскольку они определяют расположение мест стоянок, зон погрузки/выгрузки, доступ к складам. Такие зоны являются крупными стационарными объектами и в дальнейшем будут использованы как узловые отправные точки плана маршрутизации.

### Внутризаводской маршрутный транспорт. Критерии выбора и сферы применения

Структурные сдвиги на производстве находят свое отражение в изменении пропорций участия различных видов промышленного транспорта в освоении внутризаводских перевозок [4]. Это наглядно отражено в табл. 1, где прослеживается тенденция увеличения доли внутризаводских перевозок непрерывным и специальным видами транспорта и соответствующим снижением работы железнодорожных средств.

Таблица 1

Распределение перевозок между различными видами транспорта, %

Вид транспорта	1985	1990	1995	2000	2005
Железнодорожный	11,60	12,50	13,20...13,40	14,20...14,70	15,1...15,7
Автомобильный	19,60	22,00	13,20...23,70	24,10...24,60	25,4...26,1
Непрерывный	4,10	5,20	6,80...7,10	8,60...9,10	10,8...11,5
Водный	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Причем среди самих межцеховых перевозок, согласно [4] заметно преобладает автомо-

бильный транспорт. Эти сведения подтверждаются данными представленными в табл. 2.

Доля участия разных видов транспорта в общем объеме межцеховых перевозок, %

Транспорт	ВАЗ	ЗИЛ	ГАЗ	АЗЛК
Железнодорожный	–	35,0	17	–
Автомобильный	88	38,0	33	20,0
Тягачи с тележками	–	17,0	41	9,0
Электротележки	–	5,5	–	5,8
Конвейерный	9	4,5	5	13,0
Пневмо- и гидротранспорт	3	–	4	–

В этой связи больший акцент следует ставить на планировании работы автомобильных маршрутов, особенно для удаленных пунктов назначения или отправки. Это больше подходит для доставки штучной продукции, где размер партии невелик, но товар востребован. Для технологических линий с непрерывным процессом поставок сырья более эффективен конвейерный транспорт. Он позволяет автоматизировать процесс, математически рассчитать и применить четкие схемы взаимодействия с другими видами транспорта, с погрузочными устройствами, складскими объектами. Издержки его будут зависеть от объемов грузопотока и снижаться с его ростом.

#### Организация взаимодействия разных видов маршрутного транспорта

Согласованность выполняемых операций перевозки разными видами транспорта достигается, в первую очередь, решением организационных вопросов.

Для учета интересов разных перевозчиков, разных хозяйствующих субъектов требуется наличие достоверной информации [2]:

- картографический план региона и местоположение задействованных объектов;
- сферы интересов поставщиков и потребителей;
- примерные объемы перевозимого груза в течение сезона и за календарный период;
- номенклатура и количество имеющегося подвижного состава.

Эти сведения должны обеспечить переход к комплексной модернизации транспортной сети. В особенности на маршрутных сообщениях, где первым шагом выступает этап планирования.

#### Планирование маршрутов. Учет зон тяготения и составление картограмм корреспонденций. Построение графа связей

Планирование маршрутной сети и ее построение является многокомпонентным процес-

сом, учитывающим наряду с экономической выгодой и ряд других критериев (социальных, экологических и др.). Таким инструментом, адекватно отражающим интенсивность движения на отдельных участках, служит картограмма [5].

Картограмма – графическая схема распределения грузо- или пассажиропотоков по длине маршрута и участков транспортной сети. В пределах перегонов она постоянна. Ее цель заключается в определении участков большей или меньшей транспортной нагрузки на сеть. Поэтому среди основных характеристик картограмм выделяют грузопоток. Он бывает максимальным, средним или эквивалентным.

Максимальный грузопоток  $F_{\max}$  считается грузопоток наиболее загруженного перегона или группы перегонов (участков сети).

Средний грузопоток  $F_{\text{ср}}$  определяется по формуле

$$F_{\text{ср}} = \sum_{s=1}^{s=n} \frac{F_s l_s}{l_m}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество перегонов маршрута;  $l_s$  – длина  $s$ -го маршрута;  $l_m$  – длина маршрута (в целом).

Эквивалентный грузопоток рассчитывается по формуле, предложенной А. Х. Зильберталем:

$$F_{\text{э}} = m \sqrt{\frac{F_s l_s}{l_m}}, \quad (2)$$

где  $m = 4 \dots 5$  – эмпирический коэффициент.

Для реальной оценки степени сбалансированности маршрутов и увязки их расположения с крупными станциями, местами погрузки или выгрузки товаров, сырья (железнодорожными) необходимо располагать графом трасс следования. Для его подложки применяется картографическая основа или генплан территории (масштаба 1:500 – 1:100 000, что зависит от размеров исследуемой зоны). На ней указыва-

ются места выгрузки, точки базирования заказчиков продукции, склады (возле железной дороги – пакгаузы). В дальнейшем идет построение связного графа, где определяются зоны тяготения и накладываются связи (графически это отражено своим цветом и индивидуальным слоем).

### Критерии зональной обеспеченности. Определение и расчет

В ходе исследования было предложено несколько критериев, которые должны позволить получить численные характеристики качества функционирования маршрутных транспортных средств. Это так называемые зональные коэффициенты обеспеченности, т. е. коэффициенты, характеризующие отдельные районы и участки маршрутной сети:

- коэффициент  $K_{Dm}$  дублирования трассы, рассчитываемый по формуле

$$K_{Dm} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^k L_{inc_j} - \sum_{u=1}^t \frac{L_{cross_u}}{u} \right)}{L_m}, \quad (3)$$

где  $n_i$  – количество  $i$ -х проходящих по данной трассе маршрутов;  $k$  – количество  $j$ -х дублирующих трассу участков маршрута;  $t$  – количество  $u$ -х пересекающихся участков маршрутов;  $L_{inc_j}$  – протяженность  $j$ -го участка совпадения маршрутов;  $L_{cross_u}$  – протяженность  $u$ -го участка пересечения маршрутов;  $L_m$  – цикловая протяженность трассы данного маршрута.

- транспортная емкость маршрута  $E_{Tm}$ , рассчитываемая по формуле

$$E_{Tm} = K_{cp.m} + L_m \sum_{i=1}^n K_{Dm_i} K_{cp.Dm_i} \sum_{j=1}^k \frac{1}{L_{Dm_j}}, \quad (4)$$

где  $K_{cp.m}$  – среднее количество единиц транспорта на маршруте;  $K_{Dm_i}$  – коэффициент дублирования трассы  $i$ -м маршрутом;  $K_{cp.Dm_i}$  – среднее количество единиц дублирующего  $i$ -го транспорта на исследуемом маршруте;  $L_{Dm_j}$  – протяженность  $j$ -го, дублирующего трассу участка, принадлежащего  $i$ -му маршруту.

- удельная плотность маршрутного обеспечения  $\rho_{MO}$ , рассчитываемая как

$$\rho_{MO} = \frac{m \sum_{f=1}^F (L_{fm} I_{f3n})}{S_{тер}}, \quad (5)$$

где  $m$  – количество маршрутов, проходящих через зону исследуемой территории или находящихся внутри;  $L_{fm}$  – длина участка  $f$ -го маршрута на исследуемой территории, км;  $I_{f3n}$  – индекс значимости  $f$ -го маршрута;  $S_{тер}$  – общая площадь исследуемой территории, км<sup>2</sup>.

Данные критерии применены для оценки размещения и функционирования маршрутной сети любого промышленного узла.

Для их практического применения необходимо выделить характерные зоны (участки плана) и определить их границы. Форма зон определялась функциональной принадлежностью территории. Обязательным условием было несовпадение границ зон с дорогой в тех местах, где она имеет одностороннее движение на смежных участках маршрутов.

Дальнейшие процедуры связаны с оценкой полученных значений свойств каждого из участков и их сведение в общую таблицу. Анализ такой таблицы (таблиц, если присутствует фактор сезонности или временные отличия) проводится с помощью средств математической статистики. В частности, предлагается определение и сравнение дисперсий для получения модели распределения маршрутизации региона/промышленного узла.

### Оптимизационная модель транспортного взаимодействия различных средств

Предлагаемая модель взаимодействия различных транспортных средств предусматривает решение следующих задач:

- получение картографического/схемного материала и установление узловых точек тяготения (ж.-д. станций, складов, потребителей и пр.);
- определение характеристик и возможностей подъездных путей;
- построение графа связей на основе карт следования;
- планирование грузопотоков, расчет и анализ маршрутной сети с разработкой корректив по формулам (1)–(5) и в соответствии с рисунком;
- построение схемы маршрутизации промышленного узла.

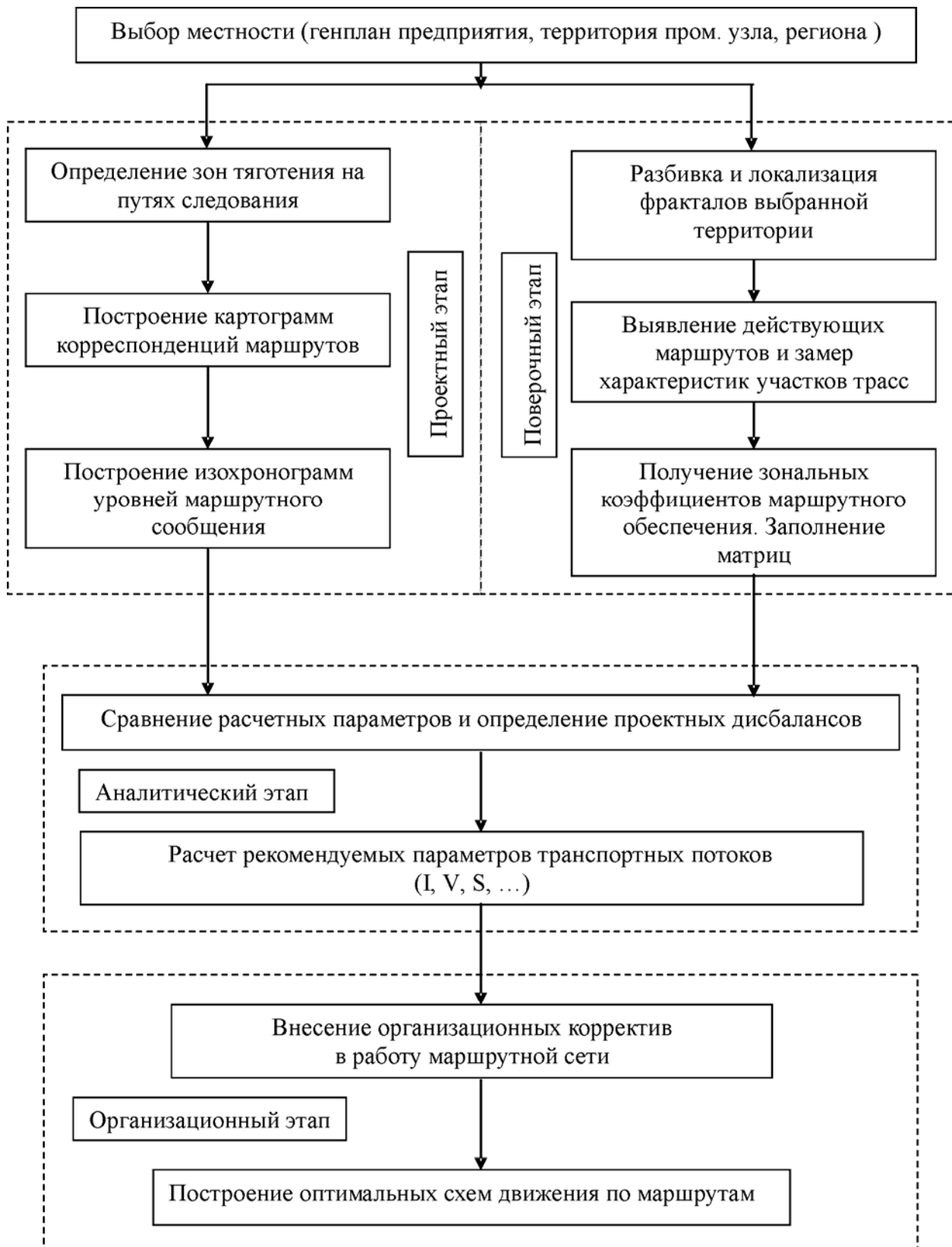


Рис. Логистическая схема разработки/корректировки маршрутного сообщения

### Выводы.

#### Перспективы дальнейших исследований

Оценивая данный подход, следует сказать, что за рамками обзора остались не рассмотрены те

транспортные факторы, которые требуют систематизации (категории используемых транспортных средств, интенсивность движения на трассах, сезонные и конъюнктурные отличия рынка и ряд др.). Их детальное изучение на конкрет-

ной информационной базе, выделение наиболее значимых и модернизация полученных моделей должны послужить тематикой дальнейших исследований.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Першин С. П. Азбука железнодорожного дела: термины, понятия, определения: Словарь. – М.: Транспорт, 1990. – С. 102, 168.
2. Повороженко В. В. Основы взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта: Учебн. для вузов / В. В. Повороженко, Н. К. Сологуб, Н. А. Тимошин, В. Г. Галабурда;

Под ред. В. В. Повороженко. – М., Транспорт, 1986. – С. 123–124.

3. Перевозка грузов по железным дорогам: Справочник / Под общ. ред. Н. А. Гундобина – 2-изд, пер. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – С. 55–58.
4. Акулиничев В. М. Генеральный план и транспорт промышленных предприятий: Учебн. для вузов / В. М. Акулиничев, А.С. Гельман и др. – М.: Стройиздат, 1990 – С. 8, 257.
5. Акулиничев В. М. Организация перевозок на промышленном транспорте: Учебн. для вузов – М.: Высш. шк., 1983 – С. 69–77.

Поступила в редколлегию 30.05.2005.