

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИТНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Альметова З.В.

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76), e-mail: ollarrus@gmail.com

Статья посвящена проблеме развития транзитного потенциала транспортных систем страны и ее регионов за счет интеграции транзитных сообщений в терминалах. На основе проведенных автором исследований разработаны новые модели и методы оптимизации параметров транзитных терминалов: модель определения местоположения транзитного терминала, учитывающая объемы и затраты на работу грузящего и порожнего транспорта; методика определения оптимального количества перевозимых грузов одним транспортным средством в межтерминальном сообщении, обеспечивающего минимум совокупных затрат на транспортировку и хранение товаров в запасе; методика определения оптимального количества погрузочных и разгрузочных средств на одном посту через соотношение интервалов движения транспортных средств и нормативного времени выполнения погрузочно-разгрузочных работ, обеспечивающего минимальные совокупные затраты на простой транспортных средств под разгрузкой и потери в связи с непроизводительными простоями погрузочно-разгрузочного оборудования.

Ключевые слова: транзитные терминалы, транспортная система, оптимизация, грузовые перевозки.

OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF TRANSIT TERMINALS

Almetova Z.V.

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia (454080, Chelyabinsk, avenue V.I. Lenin, 76), e-mail: ollarrus@gmail.com

The article deals with problems the development of transit potential transportation systems of the country and its regions through the integration of transit communications in terminals. On the basis of the author's research has developed new models and methods of optimizing the parameters of transit terminals: model positioning transit terminal, which takes into account the volume and cost of running loaded and empty transport; method of determining the optimal quantity of goods carried in one vehicle between terminal providing a minimum total cost of transport and storage goods in stock; method of determining the optimal number of loading and unloading facilities based on the ratio of intervals movement of vehicles and standard time loading and unloading operations, providing the minimum total cost of downtime in loading and unloading of vehicles and loss due to unproductive downtime of handling equipment.

Keywords: transit terminal, transport system, optimization, freight transportation.

Введение

Многочисленные данные свидетельствуют о значительной неравномерности объемов перевозок по направлениям транзитных сообщений. Данные явления характерны как для международных сообщений, например, между странами АТЭС и ЕС, так и для межрегиональных сообщений внутри России, например, между Западной и Восточной частями страны [4, 5]. Оптимизация транзитных межтерминальных сообщений обеспечивает снижение уровня потенциальных и избыточных провозных возможностей транспортных систем за счет интеграции разнонаправленных сообщений в транзитном терминале.

Методы размещения транзитных терминалов

Транзитные сообщения относительно каждого терминала в зависимости от их направления разделяются на «исходящие» и «входящие». Каждому терминалу, который является источником сообщений P_i ($i = 1, 2, \dots, n$), присваивается индекс i , а всем другим корреспондирую-

щим с ним терминалам P_j ($j = 1, 2, \dots, n$), в которые направляются данные сообщения, присваивается индекс j . «Исходящие» транспортные сообщения u_{ij} из терминалов P_i в терминалы P_j записываются в виде квадратной матрицы $U[i, j]$, в которой количество строк и столбцов соответствует количеству терминалов P_i и P_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$), а элементы $u_{ij} = 0$ для всех $i = j$. «Входящие» сообщения u_{ji} в терминалы P_i из терминалов P_j являются элементами транспонированной матрицы $U^T[j, i]$.

Неэффективно используемые провозные возможности транспортной системы W_{ij}^R оцениваются с использованием коэффициента неравномерности грузопотока по направлениям η_{ij} между i -м и j -м терминалами, рассчитываемый через отношение разности объемов исходящего из i -го в j -й терминалы грузопотока Q_{ij} и объемом входящего в i -й из j -го терминалы грузопотока Q_{ji} , следующего в обратном (встречном) направлении, к максимальному объему грузопотока по одному из этих направлений [2]:

$$\eta_{ij} = \frac{(Q_{ij} - Q_{ji})}{\arg \max(Q_{ij}; Q_{ji})}. \quad (1)$$

Коэффициент неравномерности грузопотока по направлениям η_{ij} является удобным показателем, характеризующим наличие и отображающим в относительном виде степень избыточных провозных возможностей при обслуживании грузопотоков Q_{ij} и Q_{ji} , и показывает величину потенциальной недозагрузки подвижного состава (долю порожнего транспорта) в общем составе транзитного потока, следующего по направлению с наименьшим объемом грузопотока.

Если в структуре сообщений между терминалами имеются разнонаправленные по максимальному значению грузопотоки, то интеграция этих сообщений в транзитном терминале обеспечит повышение эффективности перевозок путем исключения порожнего транспорта в составе транзитного транспорта, следующего по наиболее загруженному направлению; снижения общего количества используемого транспорта за счет укрупнения грузовых партий и привлечения к работе большегрузного подвижного состава; повышения степени использования грузоподъемности подвижного состава.

В качестве критерия целесообразности интеграции транзитных грузопотоков в терминале может использоваться показатель разнонаправленности по максимальной мощности грузопотоков i -го терминала с множеством связанных с ним взаимным грузообменом j -х терминалов, который рассчитывается по формуле:

$$\zeta_i = \frac{\left(\sum_{j=1}^n |\eta_{ij}| - \left| \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \right| \right)}{n}. \quad (2)$$

При $\zeta_i = 0$ у терминала P_i отсутствуют разнонаправленные по максимальной мощности грузопотоки. В этом случае их интеграция в транзитном терминале не обеспечит снижения уровня потенциальных W^P и избыточных W^R провозных возможностей транспортной системы. Величина показателя ζ_i может принимать значения $0 \div n$. Причем, чем выше значение ζ_i , тем выше может быть эффект от интеграции транзитных грузопотоков i -го терминала в транзитном терминале в виде снижения избыточных провозных возможностей и порожних пробегов транзитного транспорта.

При положительном решении о целесообразности создания транзитного терминала необходимо произвести выбора рационального места его расположения, которое в значительной степени влияет на итоговые показатели работы транзитного транспорта: выполняемый им грузооборот, затрачиваемое время на транзитные перевозки и пр. Для поиска координат места расположения транзитного терминала может использоваться так называемый метод «центра тяжести» физической системы, который должен обеспечить минимум транспортной работы на перевозку грузов. Метод «центра тяжести» учитывает расположение уже существующих i -х отправителей ($i \in I$) и j -х получателей ($j \in J$), которое задается в декартовой системе координат Oxy , и объемы перевозимых грузов Q_{ij} от i -го отправителя j -му получателю. Для определения места расположения транзитного терминала отправителям и получателям присваивают координаты (x_i, y_i) и (x_j, y_j) соответственно. Начало системы координат (x_0, y_0) определяют произвольно. Координаты транзитного терминала x_T и y_T находят как «центр тяжести» физической системы «отправители – получатели».

Во многих отечественных и зарубежных работах рассмотрены вопросы применения метода центра тяжести для размещения складских объектов (обзор представлен в [6]). Недостатком этих методов является то, что они не учитывают работу порожнего транспорта, совершаемую при возвратных пробегах по направлениям с небольшим объемом транзитного грузопотока. Предлагается следующая модель расчета координат транзитного терминала, учитывающая работу порожнего транспорта:

$$x_T = \frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i \cdot \left(\sum_{j=1}^n Q_{lij} \cdot S_l + Q_{uij} \cdot S_u \right) \right) + \sum_{j=1}^n \left(x_j \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{lji} \cdot S_l + Q_{uji} \cdot S_u) \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Q_{lij} \cdot S_l + Q_{uij} \cdot S_u) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (Q_{lji} \cdot S_l + Q_{uji} \cdot S_u)}, \quad (3)$$

$$y_T = \frac{\sum_{i=1}^n \left(y_i \cdot \left(\sum_{j=1}^n Q_{lij} \cdot S_l + Q_{uij} \cdot S_u \right) \right) + \sum_{j=1}^n \left(y_j \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{lji} \cdot S_l + Q_{uji} \cdot S_u) \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (Q_{lij} \cdot S_l + Q_{uij} \cdot S_u) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (Q_{lji} \cdot S_l + Q_{uji} \cdot S_u)}, \quad (4)$$

где x_T – координата по оси Ox места расположения транзитного терминала; y_T – координата по оси Oy места расположения транзитного терминала; x_i и y_i – координаты места расположения i -го терминала-отправителя; x_j и y_j – координаты места расположения j -го терминала-получателя; Q_{lij} и Q_{uji} – соответственно объемы груженной и порожней работы исходящего транспорта из i -го терминала, т; Q_{lji} и Q_{uji} – соответственно объемы груженной и порожней работы входящего транспорта в j -й терминал, т; S_l и S_u – соответственно затраты (тарифы) на работу груженого и порожнего транспорта с учетом его фактической или потенциальной загрузки, руб./т.

Метод определения оптимального объемов поставок на транзитный терминал

Для транзитных перевозок используются различные виды транспорта, объем перевозимого груза которыми q_{mp} (т) определяется с учетом количества грузовых модулей m_q (ед.) на одном транспортном средстве (контейнеров, вагонов, полувагонов, прицепов, полуприцепов и пр.) и их фактической грузоподъемности q_ϕ (т):

$$q_{mp} = q_\phi \cdot m_q. \quad (5)$$

Необходимость использования категории «грузовой модуль» для характеристики объемов перевозимых грузов обусловлена тем, что поставки товаров осуществляются укрупненными дискретными партиями фиксированного объема. Мелкие отправки при вхождении в цепь поставок укрупняются (консолидируются) в терминале отправления до объема используемого грузового модуля (фургона, вагона, контейнера и пр.). При выходе из цепи поставок товары из грузового модуля разукрупняются в терминале назначения для дальнейшего развоза мелкими отправками конкретным получателям.

Для большинства видов транспорта характерна убывающая функция зависимости тарифа на перевозку груза S_h (руб./т·км) от количества грузовых модулей m_q :

$$f(S_h) = S_h - \frac{a_q \cdot S_h \cdot (m_q - 1)}{m_{\max}}. \quad (6)$$

где a_q – параметр модели, отражающий уровень снижения тарифа от объема перевозимого груза (анализ тарифов транспортных и экспедиторских компаний выявил следующие значения параметра: $a_q = 0,1 \div 0,3$).

Во многих работах для оптимизации объема поставок используется так называемая «модель Уилсона» (см. например, [7]). Однако выполненный анализ модели Уилсона показывает, что структура используемых в ней переменных не учитывает особенности определения затрат на перевозку грузов различными видами транспорта и механизмы формирования запасов на складе в зависимости от интервалов поставок партий грузов.

Поэтому предложена новая модель определения оптимального количества перевозимых

грузовых модулей m°_q одним транспортным средством в транзитный терминал, которое должно обеспечить минимум совокупных затрат Z_{cs} на транспортировку и хранение товаров в запасе:

$$F_{cs}(m^{\circ}_q) = Z_{cs} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Продифференцировав суммарные затраты Z_{cs} по m_q и приравняв полученное значение к нулю, определено оптимальное количество грузовых моделей m°_q , при котором совокупные затраты Z_{cs} минимальны:

$$m^{\circ}_q = \sqrt{\frac{S_s \cdot Q_{pn} \cdot T_{Qs} \cdot m_{\max}}{2 \cdot q_{\phi} \cdot a_q \cdot S_h \cdot l}}, \text{ ед.} \quad (8)$$

где S_s – стоимость хранения единицы товара на складе, руб./т·день; Q_{pn} – объем разовой отправки товара из транзитного терминала, т; T_{Qs} – общая продолжительность хранения запаса на транзитном терминале за весь период поставки, ч; m_{\max} – максимально допустимое количество грузовых моделей, разрешенных к перевозке одним транспортным средством ед.; l – расстояние перевозки от терминала до транзитного терминала, км.

Методы оптимизации количества погрузочно-разгрузочных средств на транзитных терминалах

Основной задачей оптимизации перегрузочных работ в транзитных терминалах является определение производительности перегрузочных комплексов, при котором обеспечивается минимальный суммарный эффект для перевозчиков и транзитных терминалов [1]. Избыточные перегрузочные мощности приводят к простоям погрузочно-разгрузочной техники, недостаток перегрузочных мощностей увеличивает простои транспортных средств под погрузочно-разгрузочными работами.

Технологические и экономические параметры работы транзитных терминалов зависят от количества разгрузочных (погрузочных, перегрузочных) средств на соответствующем посту $n_{кр}$, которое определяется с учетом соотношения интервалов прихода транспортных средств под разгрузку (погрузку, перегрузку) I_c и продолжительности их обслуживания одним разгрузочным средством t_{nl} [3].

В зависимости от соотношения интервалов движения транспортных средств и времени их разгрузки возможны три способа оптимизации затрат: 1) сбалансированная ситуация – когда плановая продолжительность t_{nl} разгрузки транспортных средств равна интервалам их движения: $t_{nl} = I_c$; 2) ситуация с резервом времени разгрузки – когда плановая продолжительность t_{nl} разгрузки транспортных средств меньше интервалов их движения: $t_{nl} < I_c$; 3) ситуация с очередью судов на разгрузку – когда плановая продолжительность t_{nl} разгрузки транспортных средств больше интервалов их движения: $t_{nl} > I_c$.

Обоснование количества $n_{кр}$ при $t_{пл} = I_c$. Оптимальное экономически обоснованное количество разгрузочных средств $n_{кр}^{oI}$ определяется из условия минимального значения совокупных затрат Z_{cvz} перевозчиков и транзитного терминала, которые включают расходы в связи с простоем транспортного средства Z_{ci} под разгрузкой (выгрузкой, перегрузкой) за период t_c , затрат на эксплуатацию разгрузочного средства Z_{vi} за этот же период t_c , а также затрат транзитного терминала в связи с переменными расходами Z_z за время вынужденного простоя разгрузочных средств t_z .

Величина совокупных затрат Z_{cvz} определяется как сумма произведений переменных издержек S_c, S_v, S_z на время простоя транспортных средств под разгрузкой, время работы разгрузочных средств и время вынужденного простоя соответственно:

$$Z_{cvz} = Z_c + Z_v + Z_z = S_c \cdot t_c + S_v \cdot t_c + S_z \cdot t_z. \quad (9)$$

Средняя продолжительность разгрузки транспортных средств t_c определяется величиной нормативного времени на разгрузку для одного разгрузочного средства $t_{нл}$, разделенной на количество используемых разгрузочных средств $n_{кр}$:

$$t_c = t_{нл} / n_{кр} = Q_c \cdot t_n / n_{кр}, \text{ ч.} \quad (10)$$

где Q_c – грузоподъемность транспортного средства, т; t_n – норма времени на разгрузку (погрузку) одной единицы груза одним разгрузочным средством, ч/т.

Оптимальное количество разгрузочных средств $n_{кр}^{oI}$ на одном разгрузочном посту при $t_{нл} = I_c$ определено при помощи методов нахождения экстремального значения выпуклой функции:

$$n_{кр}^{oI} = \sqrt{S_c / S_z}, \text{ ед.} \quad (11)$$

Если полученное значение $n_{кр}^{oI}$ не является целой величиной, то допустимо его округление до целого рационального значения $n_{кр}^P$ с учетом динамики издержек $Z_{cvz}(n_{кр}^{oI})$.

Обоснование количества $n_{кр}$ при $t_{нл} < I_c$. Поиск количества рационального количества $n_{кр}^{PII}$ аналогичен первому случаю, но имеет особенности. Условие $t_{нл} < I_c$ характеризует ситуацию как наличие резерва времени на разгрузочные операции, когда при соблюдении планового времени разгрузки $t_{нл}$ у разгрузочных средств изначально имеется время вынужденного простоя в размере:

$$t_{zi} = I_c - t_{нл}. \quad (12)$$

Тогда увеличение количества разгрузочных средств $n_{кр}$, с одной стороны, приводит к снижению времени разгрузки и соответственно простоя транспортных средств t_c по формуле (10), но, с другой стороны, приводит к увеличению уже имеющегося времени t_z вынужденного простоя разгрузочных средств:

$$t_z = I_c - t_c = I_c - (t_{нл} / n_{кр}). \quad (13)$$

Оптимальное количество разгрузочных средств $n_{кр}^{oII}$ для второго случая:

$$n_{кр}^{oII} = \sqrt{(S_{ci} \cdot t_{nl}) / (S_z \cdot I_c)}, \text{ ед.} \quad (14)$$

Для решения по (14) при необходимости производится обоснование целого значения количества разгрузочных средств $n_{кр}^P$.

Обоснование количества $n_{кр}$ при $t_{nl} > I_c$. Условие $t_{nl} > I_c$ говорит о том, что при одном разгрузочном средстве для существующих значений планового времени разгрузки транспортного средства t_{nl} и интервалов их движения I_c , каждое приходящее транспортное средство становится в очередь на разгрузку и ожидает момента, когда разгрузочное средство завершит разгрузку предыдущего транспортного средства. За простой в очереди транзитный терминал может платить штрафы перевозчикам.

Очередь из транспортных средств, ожидающих разгрузки, может быть ликвидирована только за счет снижения времени разгрузки t_c до величины интервалов движения транспортных средств:

$$t_c = I_c. \quad (15)$$

Тогда количество разгрузочных средств $n_{крI}$, необходимое для ликвидации очереди, составит:

$$n_{крI} = t_{nl} / I_c. \quad (16)$$

Оптимальное количество разгрузочных средств $n_{кр}^{oIII}$ равно сумме $n_{крI}$ и $n_{кр}^o$, определяемого в процессе решения оптимизационной задачи на участке значений $n_{кр} > n_{крI}$:

$$n_{кр}^{oIII} = n_{кр}^o + n_{крI}. \quad (17)$$

Количество разгрузочных средств $n_{кр}^o$ определяется по формуле:

$$n_{кр}^o = \frac{1}{2} \left(- (n_{крI}) + \sqrt{(n_{крI})^2 - 4(n_{крI}^2 - S_{ci} n_{крI})} \right). \quad (18)$$

Далее с использованием значения $n_{кр}^o$ определяется оптимальное количество разгрузочных средств $n_{кр}^{oIII}$ по формуле (17). При необходимости производится обоснование целого значения количества разгрузочных средств $n_{кр}^{PIII}$.

Если рациональное количество разгрузочных средств $n_{кр}^P$ для всех рассмотренных выше случаев превышает имеющиеся ограничения на максимально возможное их количество на одном посту: $n_{кр}^P > n'_{кр}$, то следует сделать вывод о необходимости модернизации разгрузочных средств и (или) реконструкции разгрузочного поста для размещения дополнительного количества разгрузочных средств.

Разработанные методы оптимизации параметров транзитных терминалов позволяют повысить эффективность транзитных сообщений. Предложенная модификация метода центра тяжести для определения координат транзитного терминала учитывает затраты не только на

работу грузевого транспорта, но и на порожние пробеги; новые методы оптимизации объемов перевозимых грузов и количества единиц погрузочно-разгрузочной техники обеспечивают минимальные экономические издержки перевозчиков и владельцев транзитных терминалов, что делает работу отечественной транспортной системы более привлекательной для международных транзитных грузопотоков.

Список литературы

1. Альметова З.В. Ларин О.Н. Вопросы размещения транзитных терминалов в регионах // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 11. – С. 45–46.
2. Ларин О.Н. Транзитный потенциал транспортных систем: учебное пособие с грифом УМО. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 172 с.
3. Ларин О.Н., Альметова З.В., Шарапов Д.К. Обоснование рациональных параметров погрузочно-разгрузочных комплексов в мультимодальных транспортно-логистических центрах // Инновационный транспорт. – 2014. – № 1. – С. 24–33.
4. Ларин О.Н., Латыпов Э.Р., Вязовский В.В. Современные задачи развития транзитных провозных возможностей транспортных систем // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2011. – №3(22). – С. 57–62.
5. Миротин Л.Б., Ларин О.Н. Глобальные задачи развития и интеграции транспортных систем // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 5. – С. 20–21.
6. Модели и методы теории логистики / под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2003. – 176 с.
7. Хедли Дж., Уайтин Т. Анализ систем управления запасами. – М.: Наука, 1969. – 512 с.

Рецензенты:

Ивахненко А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), г. Москва.

Быстров О.Ф., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Логистика и управление транспортными системами» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), г. Москва.