



Логистические принципы и бизнес-взаимодействие операторов и грузовладельцев



Сергей ЕЛИСЕЕВ
Sergey Yu. ELISEEV

Андрей ШАТОХИН
Andrey A. SHATOKHIN



Елисеев Сергей Юрьевич — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Шатохин Андрей Андреевич — старший преподаватель кафедры «Эксплуатация железных дорог» МИИТ, Москва, Россия.

Logistics Principles and Business Interaction between Rolling Stock Operators and Cargo Owners

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 108)

Рынок перевозок тесно связывает экономику и транспортные процессы. Потребительский спрос диктует свои условия, но и он же стимулирует перевозчика к совершенствованию организации производства и логистического сопровождения товародвижения на железных дорогах. В частности, это касается погрузки/разгрузки вагонов – операций, имеющих большую зависимость от стохастических факторов. Наличие такой зависимости приводит к непроизводительным затратам, экономическим потерям. Статья показывает способы оптимизации распределения вагонопотоков, которые помогают минимизации расходов и максимальному росту прибыли во взаимодействующих операторских компаниях и организациях грузовладельцев.

Ключевые слова: железная дорога, экономика, логистика, грузоперевозки, транспортный бизнес, стохастические факторы, непроизводительные затраты, прибыль, расходы, операторы, грузовладельцы, взаимодействие, координация.

В существующих рыночных условиях дальнейшее развитие транспортной системы невозможно без соблюдения основных принципов логистики, которые предполагают рациональность выбора наилучших решений по всему комплексу показателей предприятия, целостность и системность действий при выполнении заданных целевых функций, наличие иерархии во взаимодействии элементов общей системы. При этом особый смысл приобретает принцип интеграции – объединения усилий сотрудничающих в сфере транспортного бизнеса сторон для достижения долгосрочного, стратегически значимого экономического успеха.

Следование перечисленным принципам подразумевает прежде всего главную обязанность транспортного предприятия – максимально удовлетворять рыночный спрос на перевозки и обеспечивать высокое качество транспортной продукции для потребителей, сохраняя при этом участникам процесса взаимовыгодный уровень финансовых показателей работы.

Потребительский спрос стимулирует перевозчика к поиску более совершенной организации товародвижения и его логи-

стического сопровождения. В первую очередь это касается погрузки/разгрузки железнодорожных вагонов, имеющих большую зависимость от стохастических факторов.

1.

Поиск оптимального плана обеспечения погрузки возможен с помощью решения транспортной задачи. Допустим, сеть железных дорог состоит из $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ пунктов, соединенных направленными дугами (p_i, p_j) , $i \neq j, p_j \in P$. Интервал оптимизации промышленно-транспортной системы – 0, T. Для каждого момента времени (суток) $t \in Z_0 = \{0; 1; 2; 3; \dots\}$ на множестве P пунктов сети план погрузки и выгрузки k-го рода груза может быть представлен как $q_i^k(t)$, которому соответствует требуемое количество вагонов $u_{ij}^k(t)$.

Каждая дуга (p_i, p_j) характеризуется пропускной способностью $d_{ij} \geq 0$, $i \neq j$, которая ограничивает пропуск суммарного потока по всем родам грузов. Длительность перевозки по дуге (p_i, p_j) составляет значение t_{ij} .

Количественные показатели работы парка вагонов нормируются таким образом, что возможности парка и план погрузки сбалансированы между собой для каждого рода вагонов:

$$\forall k; \sum_{j=1}^N \sum_{t=0}^T u_j^k(t) = 0. \quad (1)$$

Из-за того, что ритмы погрузки и выгрузки не совпадают, возникают запасы вагонов в местах погрузки. Каждое такое место p_j имеет вместимость $d_j \geq 0$, и это ограничивает суммарный запас вагонов по всем родам грузов. В любой момент на интервале (1, T) в месте погрузки p_j может находиться запас одного или нескольких типов вагонов. Запас k-го типа вагонов обозначим переменной $x_j^k(t)$.

Общий запас вагонов на станциях сети может быть представлен несколькими их типами, но не должен превышать вместимости d_{ij} . В начальный момент времени $t = 0$ на некоторых станциях могут быть сосредоточены начальные запасы $x_i^k(0)$, тогда формула (1) принимает вид:

$$\forall k; \sum_{j=1}^N \sum_{t=0}^T q_j^k(t) + \sum_{j=1}^N x_j^k = 0. \quad (2)$$

Гибко перераспределяя потоки между станциями сети, есть возможность сгладить отрицательное влияние несогласованности ритмов погрузки и выгрузки. Если сглаживание рассогласования ритмов невозможно, то возникают риски опоздания вагонов или их простоя в ожидании погрузки.

Оптимизация распределения вагонопотоков в транспортной системе решается минимизацией расходов. При этом заданы ограничения на неотрицательность исходных значений плана погрузки, стоимости и времени перевозки, а также ограничения вместимости и пропускной способности объектов транспортной сети:

$$0 \leq u_{ij}^k(t) \leq d_{ij}^k; \quad (3)$$

$$0 \leq x_j^k(t) \leq d_j^k. \quad (4)$$

Также могут вводиться дополнительные параметры для согласования во времени ритмов погрузки и выгрузки.

При реализации задачи обеспечения погрузки подвижным составом наибольшую сложность представляет точное (совпадающее с фактом) формирование плановых показателей:

- план погрузки для каждой станции;
- время порожнего рейса и стоимость перевозки между станциями сети;
- образование и наличие порожних вагонов.

На практике, как правило, все эти параметры рассматриваются как детерминированные. Их фактическое отклонение относится исключительно к внешним причинам (из-за грузоотправителя, перевозчика и т.д.). При этом новые планы перевозок формируются чаще всего без оптимизации возможных рисков.

2.

Каждый оператор подвижного состава заинтересован в получении максимальной прибыли. С одной стороны, для этого необходимо увеличивать объемы перевозок, повышать качество транспортной продукции, сокращать издержки, в том числе на содержание и эксплуатацию парка вагонов, а с другой — постараться переложить риски (финансовую ответственность за задержку вагонов в ожидании грузовых операций или отказ от перевозки) на контрагентов.



Рис. 1.
Аппроксимация
зависимости
времени рейса от его
дальности.

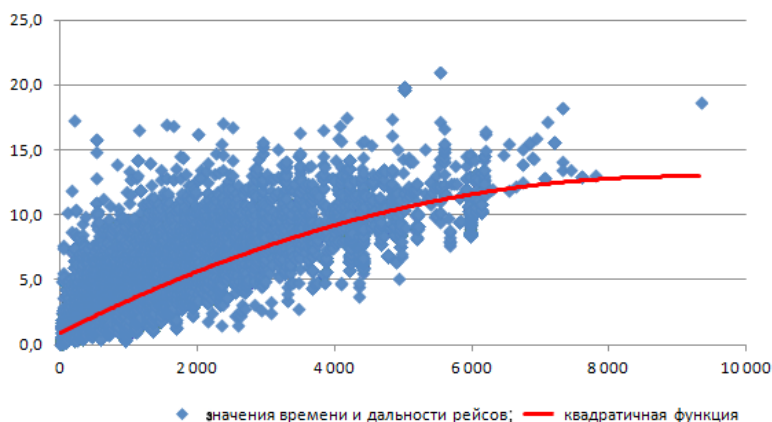


Рис. 2. Зависимость
квадратичного
отклонения времени
рейса от его
дальности.

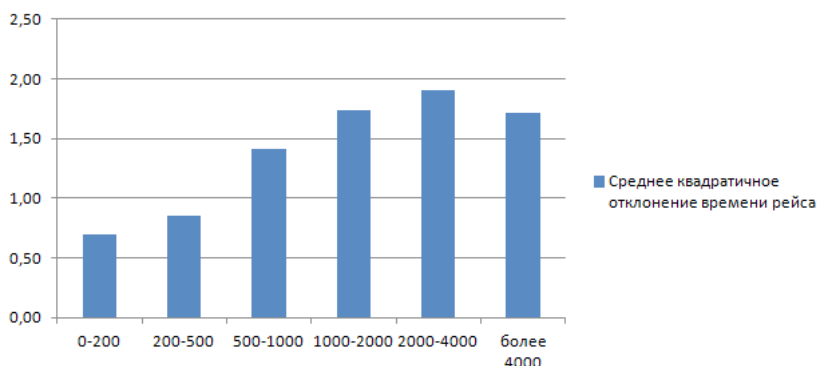


Рис. 3. Плотность
вероятности времени
прибытия вагона.



Если от отправителя требовать заблаговременного точного планирования погрузки, а в случаях отклонения от плана — штрафы за непроизводительный порожний рейс или простой вагонов в ожидании погрузки, то грузовладелец получает скрытую наценку к стоимости перевозок. Такую наценку невозможно спланировать заранее, что создаёт трудности при планировании стоимости перевозки и дальнейших финансовых показателей.

Кроме того, нарушается принцип целостности и системности логистической цепочки от стадии обеспечения производ-

ства до передачи готовой продукции покупателю, что ограничивает возможности её оптимизации.

Для оптимального взаимодействия оператора и грузовладельца следует учитывать характеристики формирования спроса на перевозки с учётом влияния на него случайных событий, которые приводят к изменениям сроков и объёмов предъявляемых к перевозке грузов.

Для соблюдения целостности и эффективности логистической системы «производитель — железная дорога (в нашем случае ОАО «РЖД») — потребитель» при управле-

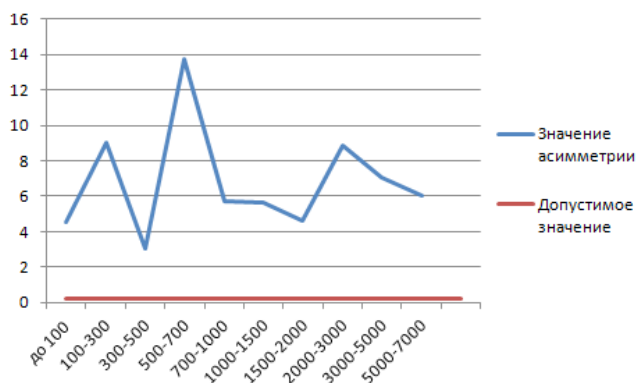


Рис. 4. Зависимость асимметрии распределения вероятности времени прибытия вагонов от дальности рейса.

нии парком вагонов необходимо гибко учитывать случайность следующих событий:

- совпадение времени прибытия вагона и предъявления груза к перевозке;
- совпадение объемов погрузки и количества прибытия порожних вагонов.

Результаты подобных событий существенно влияют на итоговую стоимость процесса погрузки.

Согласно статистическим данным, среднее квадратичное отклонение времени рейса составляет 1,3 суток. При этом оно возрастает с увеличением дальности рейса, а позже ожидаемого времени, заметим, прибывает около 36% вагонов (рис. 1–3).

Для подвода порожнего вагона с гарантией его своевременного прибытия в 90% надо иметь запас времени около 2,5 суток от среднего значения. Важно отметить, что при дальности рейса менее 200 км среднее квадратичное отклонение времени прибытия вагонов на станции назначения в два раза меньше, чем при рейсах более 500 км (0,7 и более 1,4 суток соответственно). Для указанной же гарантии запас времени в таком случае сокращается до 1,5 суток.

Плотность вероятности отклонения от математического ожидания времени прибытия вагона имеет асимметричную форму, которая возникает вследствие того, что возможность задержки вагона существенно выше, чем возможность его ускорения.

Асимметричностью распределения можно пренебречь, когда коэффициент асимметрии составляет не более 0,25. Но анализ по всем поясам дальности показывает, что фактически это значение в десятки раз выше (рис. 4), что не позволяет его рассматривать как нормальное.

Учитывая вероятностный характер образования спроса на вагоны и даты их прибытия

на станции назначения, необходимо определить оптимальные значения параметров плана перевозок с учетом известных рисков. При этом в условиях избытка подвижного состава целевая функция должна максимизировать суммарную прибыль от перевозок.

То есть для оптимального решения задачи нужно найти максимум разницы ожидаемого дохода от перевозки и расходов на обеспечение транспортного процесса:

$$\Pi_j = \sum D_j - \sum C_j \rightarrow \max. \quad (5)$$

3.

Поставленную задачу можно разделить на два этапа:

- минимизация стоимости обеспечения погрузки при оптимизированных или детерминированных объемах перевозок;
- оптимизация количества вагонов, направляемых под погрузку, с целью получения максимальной прибыли.

В случаях детерминированных значений объемов ожидаемых перевозок оптимизация затрат возможна за счет сокращения стоимости обеспечения погрузки. Затраты по отдельной корреспонденции вагонопотоков c_{ij} приобретают тогда следующий вид:

$$c_{ij} = c_{ij}^{\text{тариф}} + c_{ij}^{\text{ваг}} + c_j^{\text{ож.погр}} + c_j^{\text{штраф}}, \quad (6)$$

где $c_{ij}^{\text{тариф}}$ — стоимость тарифа на перевозку порожнего вагона от станции его освобождения до станции погрузки;

$c_{ij}^{\text{ваг}}$ — стоимость вагонной составляющей с момента заадресовки вагона со станции его освобождения до момента прибытия на станцию погрузки;

$c_j^{\text{ож.погр}}$ — расходы на ожидание погрузки по станции j ;

$c_j^{\text{штраф}}$ — расходы и штрафы, связанные с опозданием прибытия вагона на станцию погрузки j .



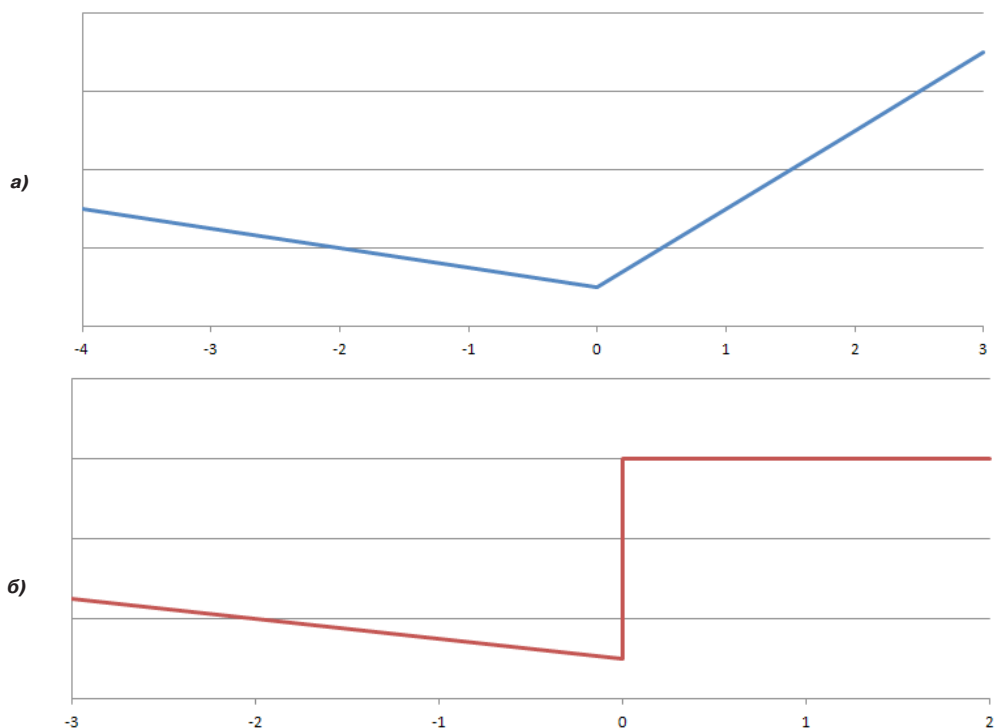


Рис. 5. Зависимости стоимости обеспечения погрузки от совпадения времени прибытия вагона и предъявления груза к перевозке: а) потери, увеличивающиеся прямо пропорционально времени опоздания вагона; б) единовременные потери при опоздании вагона.

Для отдельно взятого рейса порожнего вагона данные расходы зависят от дальности рейса, времени следования вагона и совпадения времени прибытия порожнего вагона со временем предъявления груза к перевозке.

При планировании рейса порожнего вагона известна только стоимость тарифа на перевозку. Значения остальных затрат ($c_{ij}^{ваз}$, $c_j^{ож.позр}$, $c_j^{штраф}$) можно оценить лишь предварительно, при этом они взаимосвязаны между собой. Увеличение времени рейса вагона сокращает его простой в ожидании погрузки. Если время рейса больше допустимого значения и вагон опаздывает под погрузку, то возникают соответствующие штрафы.

Значение расходов, связанных с возможным избытком или недостатком порожних вагонов в местах погрузки, — величина не постоянная и имеет вид:

$$C_j(b_j - x_j) = \begin{cases} f_j^1(x_j - b_j), & \text{если } b_j \leq x_j \\ f_j^2(b_j - x_j), & \text{если } b_j > x_j \end{cases}, \quad (7)$$

где $f_j^1(x_j - b_j)$ — функция расходов, учитывающая избыточное количество вагонов на станции погрузки и в ближнем подходе,

включая стоимость непроизводительного простоя подвижного состава, нахождение на путях общего пользования и т.д.;

$f_j^2(b_j - x_j)$ — функция расходов, учитывающая необеспечение заказов, включая упущенную выгоду, риски, связанные с неисполнением договорных обязательств, и т.д.

Стоимость обеспечения погрузки зависит от совпадения (угадывания) времени прибытия вагона с датой предъявления груза. Последствия прибытия вагона позже времени готовности груза условно можно квалифицировать, деля на три основные категории:

- потери, увеличивающиеся прямо пропорционально времени опоздания вагона (рис. 5а);
- единовременные потери, связанные с уходом заказа другому оператору или необходимостью краткосрочной аренды вагонов других собственников (рис. 5б);
- сложные нелинейные зависимости.

Таким образом, для оптимизации стоимости обеспечения заданного объема погрузки на отдельно взятом направлении следует найти такое время отправления

вагонов, при котором математическое ожидание суммарных расходов за простой в ожидании погрузки и штрафов за опоздание будет минимальным:

$$\int_{-\infty}^0 c_{ij}^{ож.погр}(t)dt + \int_0^{+\infty} c_{ij}^{штраф}(t)dt \rightarrow \min. \quad (8)$$

Плотность вероятности времени прибытия вагонов имеет асимметричную форму (см. рис. 3), а функция штрафов для каждого отправителя может принимать различные формы, которые не всегда соответствуют виду стандартных математических функций. В таких условиях для поиска оптимального решения поставленной задачи целесообразно использовать методы дискретной оптимизации.

Для этого необходимо представить заданные функции в виде дискретных значений по периодам времени Δt . Значение шага Δt должно обеспечивать требования погрешности решения. Например, для задачи обеспечения погрузки значение Δt может быть около 4–6 часов.

После дискретизации распределений находится такое значение времени t_0 , при котором:

$$M(c_{ij}^{ож.погр}(t_0)) + M(c_{ij}^{штраф}(t_0)) \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $M(c_{ij}^{ож.погр}(t_0))$, $M(c_{ij}^{штраф}(t_0))$ – математические ожидания издержек на ожидание погрузки и штрафов за опоздание для значения искомого времени отправления.

Математические ожидания расходов при времени отправления t_n можно рассчитать как сумму произведений расходов на вероятность их получения:

$$M(c_{ij}^{ож.погр}(t_n)) = \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{ож.погр} \cdot p(t)); \quad (10)$$

$$M(c_{ij}^{штраф}(t_n)) = \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{штраф} \cdot p(t)), \quad (11)$$

где $t_{\min}$, $t_{\max}$ – минимально и максимально возможное время прибытия вагона на станцию j при отправлении в момент времени t_n .

Плотность вероятности можно определить по данным статистики (см. рис. 3) или экспертным способом.

После расчёта математического ожидания издержек для каждого дискретного значения времени t предстоит найти такое значение t_0 , при котором сумма издержек будет минимальной:

$$M(c_{ij}^{ож.погр}(t_0)) + M(c_{ij}^{штраф}(t_0)). \quad (12)$$

Таким образом, при направлении порожних вагонов под погрузку на большие расстояния между станциями i и j необходимо руководствоваться временем порожнего рейса t_0 , при котором достигается наименьшее ожидаемое значение суммы непроизводительных затрат, связанных с простоем вагонов в ожидании погрузки и штрафами при позднем прибытии.

На стадии месячного планирования грузовой работы формируются предварительные заявки на погрузку, которые периодически корректируются. Наиболее точно суточные объёмы погрузки устанавливаются в уточненном сводном заказе (УСЗ) за 6 часов до начала суток погрузки. Но даже УСЗ имеет существенные расхождения по объёмам и направлениям с фактом погрузки.

В такой ситуации при заадресовке порожних вагонов под погрузку на большие расстояния (300 км и более) оператор еще не знает точное количество требуемых вагонов, что создает риски получения дефицита или избытка порожних вагонов в планируемом периоде.

4.

Важно отметить, что максимальная среднесуточная доходность вагона будет достигаться при его гарантированной погрузке, но при этом доходы от перевозок, имеющих вероятностный характер, окажутся упущенными. И это актуально в условиях дефицита подвижного состава.

При его избытке оптимальное значение плана погрузки будет соответствовать максимальной прибыли, то есть нужно определить такое количество вагонов, направляемых на станцию погрузки, при котором прибыль от перевозок станет максимальной.

В общем виде целевая функция приобретает следующий вид:

$$\Pi_j = \sum D_j - \sum C_j \rightarrow \max, \quad (13)$$

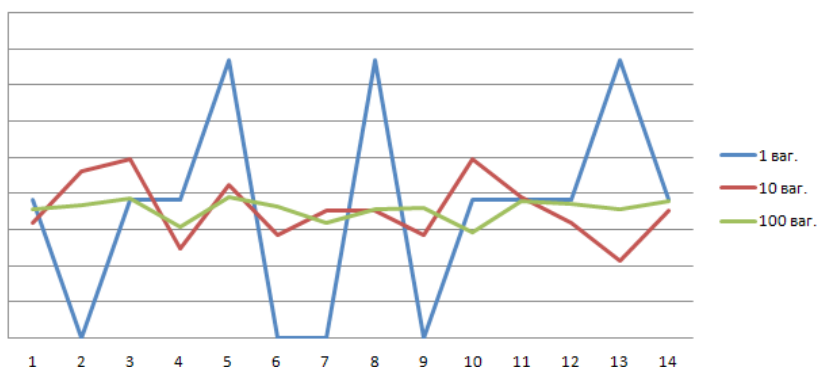
где Π_j – прибыль от перевозок по станции j ;

$\sum D_j$ – сумма доходов от перевозок со станции j ;

$\sum C_j$ – сумма расходов на обеспечение погрузки по станции j , включая расходы, связанные с подводом (и, возможно, переадресовкой) не востребовавшихся вагонов.



Рис. 6. Графики относительных колебаний суточного количества прибывших вагонов для суточных корреспонденций мощностью 1, 10 и 100 вагонов.



Плотность вероятности изменения объемов погрузки, как правило, имеет вид нормального распределения. Однако в частных случаях распределение может иметь асимметричный характер. Например, когда увеличение объемов продукции в принципе невозможно, поскольку это ограничено количеством сырья или заказами покупателей, но при этом вероятны сбои в производственном процессе. Для установления такой зависимости можно использовать опять же статистику или метод экспертных оценок.

Учитывая то, что плотность вероятности изменения объемов погрузки может иметь асимметричный характер, целесообразно использовать методы дискретной оптимизации. Такой подход обеспечит единый алгоритм оптимизации для всех объектов транспортной сети, а целевая функция примет вид

$$\Pi_j = \sum_0^m (\partial_{jk} \cdot p_{jk}(m)) - \sum_0^m \left((c_{ij} + c_{jk}) \cdot p_{jk}(m) + (c_{ij} + c_j^{непр}) \cdot (1 - p_{jk}(m)) \right) \rightarrow \max, \quad (14)$$

где ∂_{jk} — доход от перевозки вагона между станциями j и k ;

$p_{jk}(m)$ — вероятность выполнения перевозки m по маршруту $j-k$;

m — максимально возможное количество вагонов, которое может потребоваться под погрузку, по станции j в плановом периоде;

c_{ij} — расходы, связанные с подводом порожних вагонов к станции j ;

c_{jk} — расходы, связанные с выполнением перевозки по маршруту $j-k$;

$c_j^{непр}$ — дополнительные расходы при отказе от погрузки по станции j .

Требуется найти такое значение плана погрузки m_0 , при котором целевая функция (прибыль) достигает максимального значения.

При оптимальных значениях времени порожнего рейса и объемов погрузки ожидаемое значение непроизводительных затрат, связанных с простоем в ожидании погрузки, опозданием к дате предъявления груза и подсылкой избыточного количества вагонов, имеет следующий вид:

$$C_j^{непр} = \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{ож.нозр} \cdot p(t_0)) + \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{штраф} \cdot p(t_0)) + \sum_0^{m_0} ((c_{ki} + c_i^{непр}) \cdot (1 - p_{ij}(m))), \quad (15)$$

где t_0 и m_0 — оптимальные значения времени порожнего рейса и плана погрузки соответственно.

Таким образом, оптимальный вариант управления парком вагонов в условиях зависимости от случайных факторов предусматривает непроизводительные расходы и наличие резерва вагонов в местах погрузки. При этом чем больше зависимость от случайных факторов, тем выше непроизводительные расходы.

Увеличение вероятности (гарантированности) своевременного обеспечения заказов повышает непроизводительные расходы и среднесуточное количество вагонов, простаивающих в ожидании погрузки. Это может быть актуально для коммерчески привлекательных направлений, ибо повышение стоимости обеспечения по-

грузки компенсируется высоким доходом от перевозки.

Снижения непроизводительных расходов правомерно ожидать при повышении точности формирования плана погрузки и предсказуемости сроков прибытия вагонов на станции назначения. Это наиболее вероятно при сокращении горизонта планирования (времени между формированием плана и его реализацией).

В рамках существующей технологии управления парком вагонов сокращение горизонта планирования обеспечения погрузки возможно при подсылке порожних вагонов с опорных станций в регионах погрузки.

Однако следование порожнего вагона через опорную станцию с переадресовкой связано с дополнительными расходами. Здесь и стоимость переадресовки вагона, и перелом тарифа (стоимость двух порожних рейсов больше, чем одного общего). Как правило, дополнительные расходы делают такой подход нецелесообразным. Поэтому их стремятся минимизировать путём корректировки тарифного руководства, что позволяет стимулировать повышение производительности использования вагонов.

На эффективность использования вагонов также значительно влияет их раздробленность, принадлежность разным собственникам. Кроме ухудшения качества управления, это приводит к дополнительному разделению корреспонденций вагонопотоков.

При сокращении мощности вагонопотоков происходит снижение их стабильности по времени прибытия на станцию назначения. На рис. 6 приведены графики относительных колебаний количества прибывших вагонов по датам для корреспонденций мощностью 1, 10 и 100 вагонов в сутки.

Чем больше относительные колебания вагонопотоков по прибытию на станцию назначения, тем больше зависимость от случайных факторов, которые увеличивают непроизводительные расходы при обеспечении погрузки (15).

Наиболее целесообразный путь сокращения относительных колебаний

вагонопотоков и, соответственно, непроизводительных эксплуатационных расходов — консолидация парка вагонов разных собственников под единым управлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апатцев В. И., Лёвин С. Б., Николашин В. М. и др. Логистические транспортно-грузовые системы: учебник. — М.: Академия, 2003. — 304 с.
2. Анненков А. В. Организация производства и управление транспортной компанией в условиях конкуренции на транспортном рынке: монография. — М.: РГОТУПС, 2003. — 235 с.
3. Костевич Л. С. Математическое программирование. Информационные технологии оптимальных решений: учеб. пособие. — Минск: Новое знание, 2003. — 424 с.
4. Вентцель Е. С. Исследование операций (задачи, принципы, методология). — М.: Наука, 1988. — 208 с.
5. Елисеев С. Ю. Система логистического управления взаимодействием железных дорог с морскими и речными портами и другими видами транспорта: монография. — М.: ВИНТИ РАН, 2005. — 96 с.
6. Елисеев С. Ю. Построение и оптимизация функционирования международных транспортно-логистических систем: монография. — М.: ВИНТИ РАН, 2006. — 242 с.
7. Балалаев А. С., Елисеев С. Ю. Логистические центры в системе мультимодальных перевозок: учеб. пособие. — Хабаровск: ДВГУПС, 2008. — 132 с.
8. Балалаев А. С. Формирование конкурентоспособных транспортных составляющих логистических систем: монография. — Хабаровск: ДВГУПС, 2007. — 224 с.
9. Куренков П. В., Котляренко А. Ф. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении: экономика, логистика, управление. — Самара: Солдат Отечества, 2002. — 636 с.
10. Елисеев С. Ю., Котляренко А. Ф., Куренков П. В. К типологии логистических центров // Логистика. — 2003. — № 3. — С. 8–10.
11. Прокофьева Т. А., Лопаткин О. М. Логистика транспортно-распределительных систем: региональный аспект. — М.: РосКонсульт, 2003. — 400 с.
12. Координационно-логистические центры: учеб. пособие / Под общ. ред. В. М. Николашина и С. Ю. Елисеева. — М.: Уч.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2013. — 228 с.
13. Логистическое управление грузовыми перевозками и терминально-складской деятельностью: учебное пособие / Под общ. ред. С. Ю. Елисеева, В. М. Николашина, А. С. Синициной. — М.: Уч.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2013. — 427 с.
14. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Эффективное использование собственных вагонов транспортных компаний на логистических принципах // Транспорт: наука, техника, управление. — 2014. — № 9. — С. 48–51.
15. Багинова В. В., Фёдоров Л. С., Лёвин С. Б. Логистический бизнес: гармония затрат и результата // Мир транспорта. — 2014. — № 5. — С. 112–115.
16. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Основные рыночные факторы, влияющие на эффективность использования вагонов // Экономика железных дорог. — 2015. — № 4. — С. 82–87.

Координаты авторов: **Елисеев С. Ю.** — selis56@mail.ru, **Шатохин А. А.** — aassrv@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 29.05.2015, принята к публикации 25.08.2015.



LOGISTICS PRINCIPLES AND BUSINESS INTERACTION BETWEEN ROLLING STOCK OPERATORS AND CARGO OWNERS

Eliseev, Sergey Yu., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.
Shatokhin, Andrey A., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

Transportation market links closely economic and transportation processes. Consumer demand dictates the conditions, but it also stimulates carriers to improve organization of production and logistic support of goods movement on railways. In particular, this concerns loading / unloading of cars – with

greater dependence on stochastic factors. The presence of such dependence leads to non-productive costs, economic losses. The article shows how to optimize distribution of traffic volumes, helping minimizing costs and maximizing revenue growth in the framework of interaction of operating companies and cargo owners.

Keywords: railway, economics, logistics, freight transportation, transport business, stochastic factors, non-productive costs, profit, costs, operators, cargo owners, interaction, coordination.

Background. In the current market conditions further development of transport system is not possible without respect for fundamental principles of logistics, which involve rationality – selection of the best solutions for entire range of enterprise performance; integrity, and consistency of action while implementing specified target functions; presence of a hierarchy of interaction of elements of the common system. In this connection a special meaning belongs to integration principle, assuming combining efforts of interacting parties in the transport business to achieve a long-term, strategically important economic success.

Adherence to these principles means first of all the main duty of the transport enterprise – to fully meet market demand for transportation and to ensure high quality of transport products for consumers, while maintaining a mutually beneficial level of financial performance for process participants.

Consumer demand drives the carrier to seek a more perfect organization of goods movement and its logistics support. In particular this applies to loading / unloading of rail cars that are more dependent on stochastic factors.

Objective. The objective of the authors is to study interaction of rolling stock operators and cargo owners in terms of logistics and business principles, and to develop approaches to optimum loading schedule at the example of JSC Russian Railways.

Methods. The authors use general scientific methods, mathematical analysis, comparative analysis, economic evaluation, statistics.

Results.

1.

Search for the best possible loading plan is possible by solving a transport problem. Let's assume that rail network consists of $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ points connected by directed arcs (p_i, p_j) , $i \neq j$, $p_i \in P$. Optimization interval of industrial-transport system is 0, T. For each point of time (days) $t \in Z_0 = \{0; 1; 2; 3; \dots\}$ on the set of P points of the network plan for loading and unloading of the k-th kind of cargo $q_i^k(t)$, which

corresponds to the required number of cars $u_{ij}^k(t)$.

Each arc (p_i, p_j) is characterized by the capacity $d_{ij} \geq 0$, $i \neq j$, which limits passage of the total flow for all sorts of goods. The duration of transportation along the arc (p_i, p_j) is the value of t_{ij} .

Quantitative indicators of rolling stock fleet operation are normalized so that the possibility of the fleet and the loading plan are balanced with each other for each kind of cars:

$$\forall k; \sum_{j=1}^N \sum_{t=0}^T u_{ij}^k(t) = 0. \quad (1)$$

Due to the fact, that the rhythms of loading and unloading are not identical, there are reserves of cars at loading places. Each such place p_i has a capacity of $d_i \geq 0$, and this limits the total stock of cars for all sorts of goods. At any moment at the interval $(1, T)$ at the loading place p_i there may be stock of one or more types of cars. The stock of k-type of cars we denote as a variable $x_i^k(t)$.

The total stock of cars at stations of the network may be represented by several types of them, but shall not exceed the capacity of d_{ij} . At the initial time moment $t = 0$ at some stations initial reserves $x_i^k(0)$ can be concentrated, and then the formula (1) takes a form:

$$\forall k; \sum_{j=1}^N \sum_{t=0}^T q_j^k(t) + \sum_{j=1}^N x_j^k = 0. \quad (2)$$

Redistributing flexibly flows between stations of the network is an opportunity to make amends for the negative impact of inconsistencies of rhythms of loading and unloading. If smoothing of rhythms inconsistencies is impossible, there is a risk of car delay or downtime while waiting for loading.

Optimization of traffic volume distribution in the transport system is achieved by minimizing costs or maximizing profits. At the same time limits are set on non-negativity of baseline values of loading plan, transportation cost and time, as well as limitations to capacity and bandwidth of the transport network:

$$0 \leq u_{ij}^k(t) \leq d_{ij}; \quad (3)$$

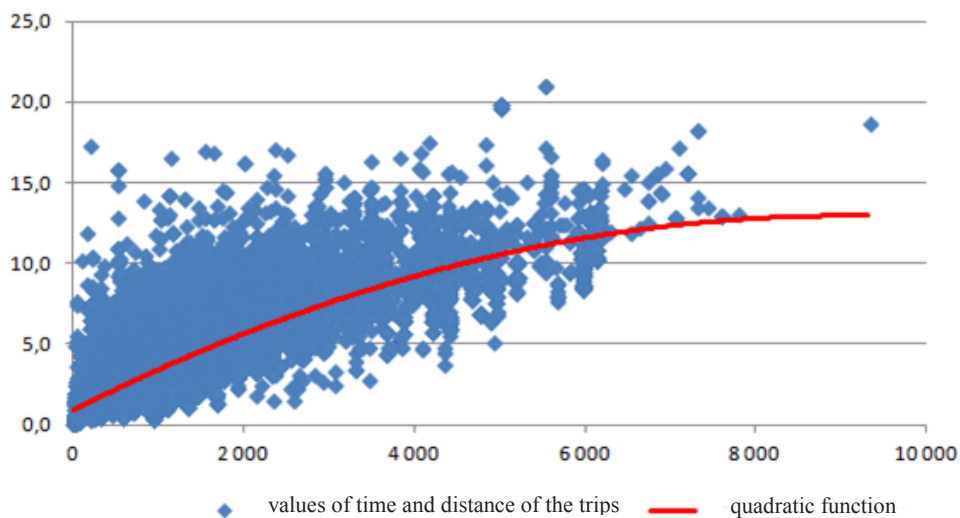
$$0 \leq x_j^k(t) \leq d_j. \quad (4)$$

Additional parameters for coordination of rhythms of loading and unloading can be introduced.

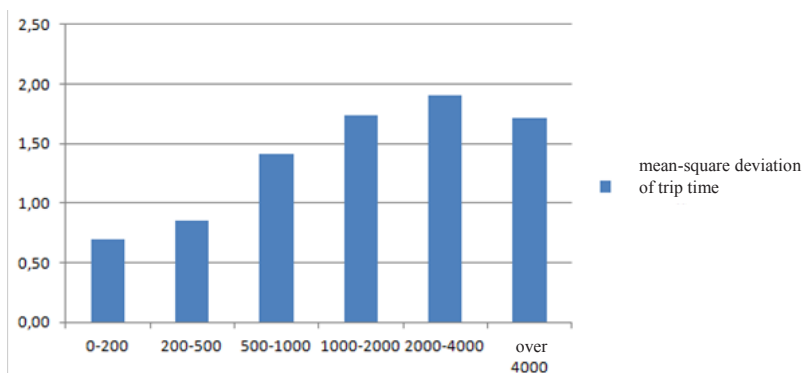
In implementing the task of rolling stock loading the largest difficulty is exact (which coincides with the fact) formation of indicators:

- loading plan for each station;
- time of empty run and cost of transportation between stations of the network;
- formation and availability of empty cars.

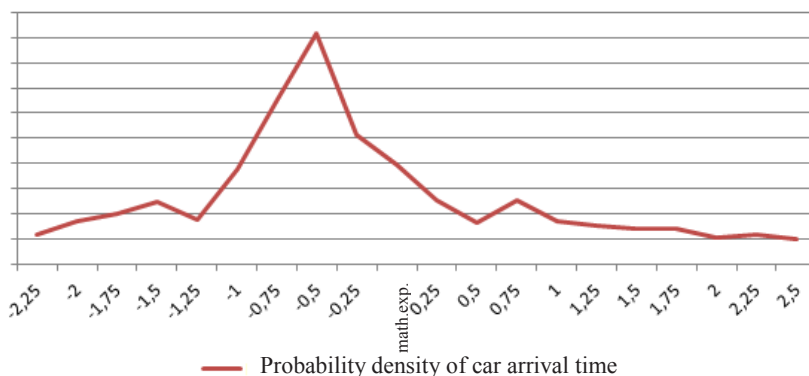
In practice, as a rule, all of these parameters are considered as deterministic. Their actual deviation applies only to external causes (due to shipper, carrier, etc.). In this situation new transportation plans are formed often without optimization of potential risks.



Pic. 1. Approximation of dependence of trip time on its distance.



Pic. 2. Dependence of mean-square deviation of trip time on its distance.



Pic. 3. Probability density of car arrival time.

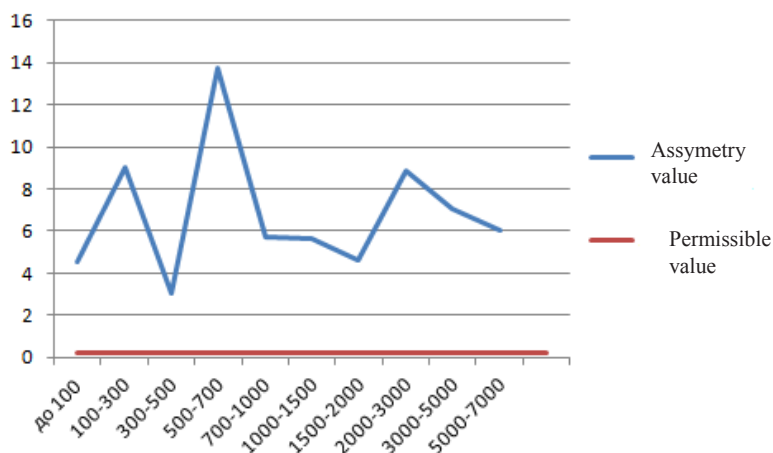
2.

Each rolling stock operator is interested in obtaining the maximum profit. On the one hand, it is necessary to increase the volume of traffic, to improve the quality of transport products, to reduce costs, includ-

ing costs of maintenance and operation of rolling stock and on the other hand, to try to shift the risks (financial responsibility for delay of cars waiting for cargo operations or refusal of transportation) to counterparties.



Pic. 4. Dependence of asymmetry of probability distribution of the time of car arrival, depending on trip distance.



If a sender is asked to precisely plan and schedule loading in advance, and in cases of deviation from the plan, is required to pay penalties for unproductive empty runs, or downtime of cars waiting for loading, the cargo owner receives a hidden surcharge to the cost of transportation. This surcharge cannot be planned in advance, thus generating difficulties in planning of the transportation cost and future financial performance.

In addition, it violates the principle of integrity and consistency of supply chain from production to transfer of finished goods to the buyer, which limits possibilities of its optimization.

For optimal interaction between the operator and the cargo owner it is necessary to consider characteristics of transport demand formation, taking into account the impact of random events that lead to changes in the timing and volume of transportation of goods.

To comply with integrity and efficiency of the logistics system «manufacturer – a railway (JSC Russian Railways in our case) – consumer» in car fleet management it is necessary to take into account flexible randomness of the following events:

- Matching car arrival time and offer of goods for transportation;
- Matching loading volumes and the number of arrived empty cars.

The results of such events significantly affect the final cost of loading process.

According to statistics, the standard deviation of the run time is 1,3 days. Thus it increases with increasing trip distance, and after the expected time, note, about 36% of cars arrive (Pic. 1–3).

To supply the empty car to guarantee its timely arrival at the level of 90% it is necessary to have a reserve of time of about 2,5 days on average. It is important to note that when the trip distance is less than 200 km mean-square deviation of car arrival time at the destination station is twice less than in trips over 500 km (0,7 and 1,4 days respectively). For the same specified guaranteed arrival time, reserve is also reduced to 1,5 days.

The probability density of deviations from the mathematical expectation of car arrival time has an asymmetric shape, which arises due to the fact that the possibility of car delay is significantly higher than the possibility of its acceleration.

Asymmetric distribution can be neglected when the asymmetry coefficient is less than 0,25. But the analysis of all distance zones indicates that the actual value is ten times higher (Pic. 4), which does not allow to consider it as normal.

Taking into account the probabilistic nature of formation of demand for cars and the date of their arrival at the destination station, it is necessary to determine optimal values for parameters of transportation in view of the known risks. Under the conditions of rolling stock excess, a target function should maximize the total profit from transportation.

That is, for an optimal solution of a task it is necessary to find the maximum difference between the expected revenues from transportation and the costs of providing the transport process:

$$P_j = \sum R_j - \sum C_j \rightarrow \max. \quad (5)$$

3.

The task can be divided into two stages:

- minimizing of the cost of providing loading at optimized or deterministic transportation volumes;
- optimization of the number of cars allocated for loading, in order to maximize profits.

In the case of deterministic values of expected traffic volumes cost optimization is possible by reducing the cost of providing loading. The cost of private correspondence of traffic volumes c_{ij} then acquires the following form:

$$c_{ij} = c_{ij}^{\text{fare}} + c_{ij}^{\text{car}} + c_{ij}^{\text{wait.load.}} + c_{ij}^{\text{penalty}}, \quad (6)$$

where c_{ij}^{fare} is fare for transportation of empty car from station of its release to loading station;

c_{ij}^{car} is cost of car component from the moment of car addressing from station of its release to arrival at loading station;

$c_{ij}^{\text{wait.load.}}$ is costs of waiting for loading at station j ;

c_{ij}^{penalty} is costs and penalties, associated with late arrival of car at loading station j .

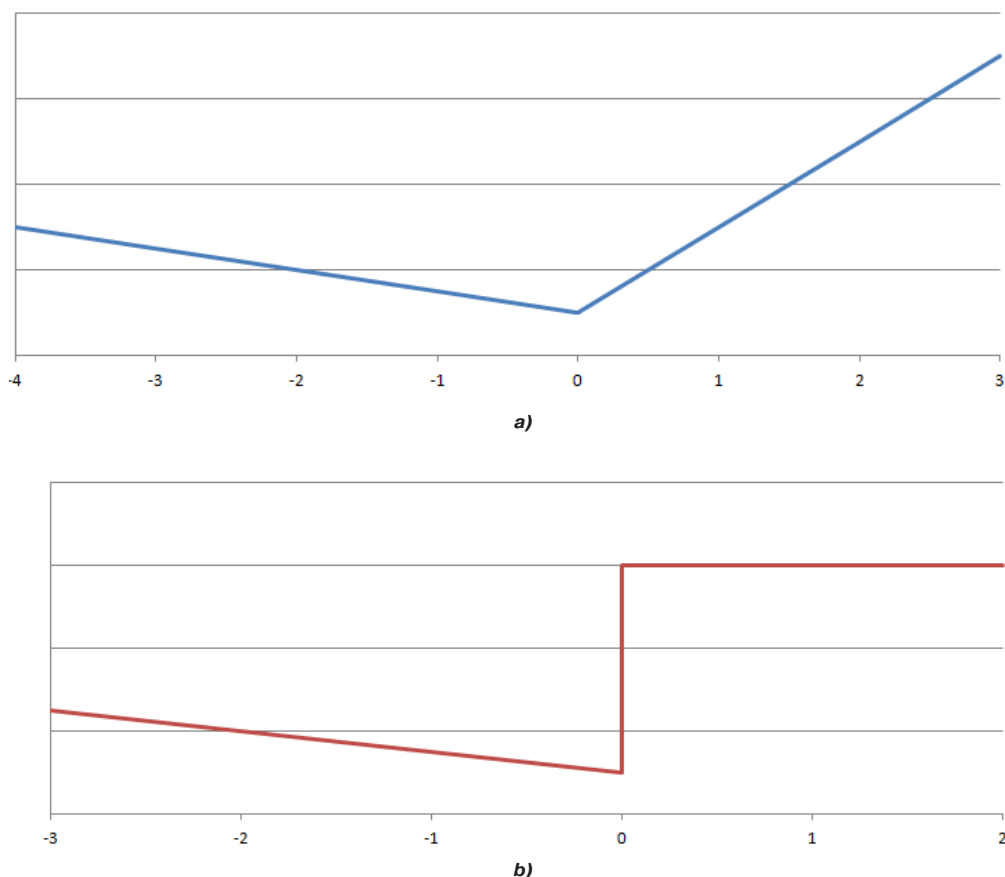
For a single empty car run, these costs depend on trip distance, time of car movement and on matching of the time of the arrival of empty car with the time of offering goods for transportation.

When planning empty car run, only the fare for transportation is known. The values of remaining costs (c_{ij}^{car} , $c_{ij}^{\text{wait.load.}}$, c_{ij}^{penalty}) can only be estimated beforehand, and they are interrelated. Increasing the trip time of the car reduces its downtime waiting for loading. If trip time is higher than the maximum value and the car is late for loading, then there are corresponding penalties.

The values of the costs associated with possible excess or deficiency of empty cars at loading, are values which are not constant and are given by:

$$C_j(b_j - x_j) = \begin{cases} f_j^1(x_j - b_j), & \text{if } b_j \leq x_j \\ f_j^2(b_j - x_j), & \text{if } b_j > x_j \end{cases}, \quad (7)$$

where $f_j^1(x_j - b_j)$ is cost function, taking into account excessive number of cars at loading station and in close



Pic. 5. Dependence of the cost of providing loading on coincidence of the time of car arrival and the time of proceeding of goods intended for transportation: a) losses, increasing in direct proportion to the time delay of the car; b) non-recurring losses due to the train delay.

approach, including cost of non-productive downtime of rolling stock, stay at tracks of public use, etc.;

$f_j^2(b_j - x_j)$ is cost function, taking into account failure of orders, including lost profits, risks, associated with failure of contractual obligations, etc.

The cost of providing loading depends on coincidence (guessing) of the time of car arrival with the date of presentation of goods. The consequences of car arrival later than cargo readiness can be classified conditionally by dividing into three main categories:

- losses, increasing in direct proportion to the time of car delay (Pic. 5a);
- non-recurring losses related to departure of the order to another operator, or the need for short-term rental of cars of other owners (Pic. 5b);
- complex nonlinear dependencies.

Thus, to optimize the cost of providing the specified loading volume on any given direction it is necessary to find such a departure time of cars in which the mathematical expectation of total expenditure for downtime waiting for loading and penalties for delay will be minimal:

$$\int_{-\infty}^0 c_{ij}^{\text{wait.load.}}(t) dt + \int_0^{+\infty} c_{ij}^{\text{penalty}}(t) dt \rightarrow \min. \quad (8)$$

The probability density of the time of car arrival has a symmetrical shape (Pic. 3) and the penalty function for each sender may take various forms, which do not always correspond to the shape of standard mathematical functions. In such conditions, in

order to find the optimal solution of the task it is advisable to use discrete optimization methods.

To do this, it is necessary to represent specified functions in the form of discrete values for time periods Δt . Value of the step Δt should provide for requirements of the solution error. For example, for the task of providing loading value Δt may be about 4–6 hours.

After sampling of distributions such a value of time t_0 is found, in which:

$$M(c_{ij}^{\text{wait.load.}}(t_0)) + M(c_{ij}^{\text{penalty}}(t_0)) \rightarrow \min, \quad (9)$$

where $M(c_{ij}^{\text{wait.load.}}(t_0))$, $M(c_{ij}^{\text{penalty}}(t_0))$ are mathematical expectations of costs of waiting for loading and penalties for late arrival for the value of the desired departure time.

The mathematical expectations of costs at the departure time t_0 can be calculated as the sum of expenditures on the probability of their receipt:

$$M(c_{ij}^{\text{wait.load.}}(t_n)) = \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{\text{wait.load.}} \cdot p(t)); \quad (10)$$

$$M(c_{ij}^{\text{penalty}}(t_n)) = \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{\text{penalty}} \cdot p(t)), \quad (11)$$

where $t_{\min}$, $t_{\max}$ are minimum and maximum possible arrival time of car at the station j following the departure at time t_n .

The probability density can be determined according to statistics (Pic. 3) or by experts' opinion.



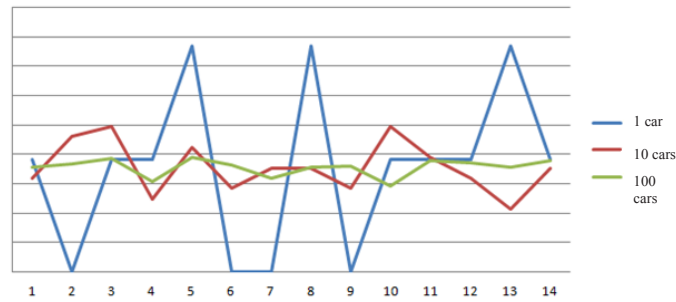


Fig. 6. Graphs of relative fluctuations of the daily number of arrived cars for daily correspondence with capacity of 1, 10 and 100 cars.

After calculating the mathematical expectation of costs for each of the discrete values of time t such a value t_0 can be found, where the amount of costs will be minimal:

$$M(c_{ij}^{\text{wait.load}}(t_0)) + M(c_{ij}^{\text{penalty}}(t_0)). \quad (12)$$

Thus, in sending empty cars for loading at large distances between stations i and j it is necessary to be guided by an empty run time t_0 , at which the minimum expected value of the amount of non-productive costs, associated with downtime of cars waiting for loading and penalties for late arrival, is achieved.

At the stage of monthly planning & scheduling of freight operations pre-loading applications are generated that are periodically adjusted. The most accurate daily loading volume are set in the specified summary order (hereinafter – SSO) at 6 hours before the day of loading. Even SSO has significant differences on volumes and itineraries as compared to future real conditions of loading and delivery.

In this situation, while sending empty cars for loading at long distances (300 km or more), the operator does not know the exact number of required cars, which creates risks of getting deficiency or surplus of empty cars in the planned period.

4.

It is important to note that maximum daily rate of return of the car will be achieved if it is loaded in accordance with existing schedule, but the revenues from traffic with the probabilistic nature, will be missed. And it is true when there is a shortage of rolling stock.

When rolling stock is abundant, optimum value of the plan will correspond to a maximum profit of loading, so it is necessary to define a number of cars allocated to the loading station, so that this quantity ensures that the profits from transportation will be maximized.

In general, the objective function takes the following form:

$$P_j = \sum R_j - \sum C_j \rightarrow \max, \quad (13)$$

where P_j is profit from transportation at the station j ;

$\sum R_j$ is amount of revenues from transportation from the station j ;

$\sum C_j$ is cost for providing loading at the station j , including costs, associated with supply (and possible readdressing) of unclaimed cars.

The probability density of changes in the volume of loading, typically has a form of normal distribution. However, in special cases, distribution can be asymmetric. For example, when an increase in production volume is impossible in principle, since it is limited to the amount of raw materials or customer orders, and failures in the production process are probable. To establish such depen-

dence, it is possible again to use statistics or a method of expert evaluations.

Given that the probability density of changes in loading volume may be asymmetrical, it is advisable to use discrete optimization methods. This approach will ensure a consistent optimization algorithm for all facilities of the transport network, and the objective function takes the form

$$P_j = \sum_0^m (r_{jk} \cdot p_{jk}(m)) - \sum_0^m \left((c_{ij} + c_{jk}) \cdot p_{jk}(m) + (c_{ij} + c_j^{\text{nonpr}}) \cdot (1 - p_{jk}(m)) \right) \rightarrow \max, \quad (14)$$

where r_{jk} is revenues from car transportation between stations j and k ;

$p_{jk}(m)$ is probability of transportation m on the route $j-k$;

m is maximum possible number of cars, which may be required for loading, at the station j in the planned period;

c_{ij} is cost, associated with supply of empty cars to the station j ;

c_{jk} is cost, associated with transportation on the route $j-k$;

c_j^{nonpr} is additional cost caused by refusal of loading at the station j .

It is necessary to find such a value of the loading plan m_0 , where the objective function (profit) reaches the maximum value.

Under optimal values of the time of empty run and volume of loading the expected value of non-productive costs associated with downtime while waiting for loading, delay to the date of presentation of the goods, and additional sending of excessive number of cars, are as follow:

$$C_j^{\text{nonpr}} = \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{\text{wait.load}} \cdot p(t_0)) + \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} (c_{ij}^{\text{penalty}} \cdot p(t_0)) + \sum_0^{m_0} ((c_{ki} + c_i^{\text{nonpr}}) \cdot (1 - p_j(m))), \quad (15)$$

where t_0 and m_0 are optimal values of empty run and loading plan, respectively.

Conclusions. Thus, the optimal option of car fleet management under the conditions of dependence on random factors provides nonproductive costs and availability of reserve of cars at loading place. The greater is dependence on random factors, the higher are nonproductive costs.

Increase in probability (guaranteed provision) of timely provision of orders increases nonproductive

costs and the average daily number of cars, standing idle while waiting for loading. This may be true for commercially attractive directions, since increase in cost of providing loading is compensated by higher revenues from transportation.

It is rightful to expect reduction of nonproductive costs when improving the accuracy of forming the loading plan and predictability of the timing of car arrival at the destination station. This is most probable while reducing the planning horizon (time between formation of the plan and schedule and their implementation).

Within the framework of existing car fleet management technologies reducing the planning horizon to ensure loading is possible with additional sending of empty cars from base stations in the regions of loading.

However, empty car's passing through the base station with readdressing is associated with additional costs. Here there are cost of car readdressing and fare fracture (cost of two empty runs is more than of one shared run). Typically, additional costs make this approach impractical. Therefore, they should be minimized by adjusting fare guide that stimulates productivity of using cars.

The effectiveness of the use of cars is also significantly influenced by the fragmentation of the cars' fleet, as different cars belong to different owners. In addition to the deterioration of the quality of management, it leads to further separation of traffic itineraries.

With the reduction of the power of traffic volumes there is a decrease of their stability in time of arrival at the destination station. Pic. 6 shows graphs of the relative oscillation of the number of cars arriving at different dates for flows of 1, 10 and 100 cars per day.

The higher are relative fluctuations of traffic volumes counted by the date of arrival at the destination station, the greater is dependence on random factors that increase nonproductive costs while providing loading (15).

The most appropriate way of reducing the relative fluctuations of traffic volumes and, consequently, non-productive operational costs is consolidation of rolling stock fleet of different owners under single management.

REFERENCES

1. Apattsev, V. I., Lievin, S. B., Nikolashin, V. M. [et al]. Logistic transportation freight cargo systems: textbook [Logisticheskie transportno-gruzovye sistemy: uchebnik]. Moscow, Academia publ., 2003, 304 p.
2. Annenkov, A. V. Production organization and transport company management under the conditions of competition in the transport market: monograph [Organizatsiya proizvodstva i upravlenie transportnoy kompaniei v usloviyakh konkurencii na transportnom rynke: monografiya]. Moscow, RGOTUPS publ., 2003, 235 p.
3. Kostevich, L. S. Mathematical programming. Information technology for optimal solutions: educational

guide [Matematicheskoe programmirovaniye. Informatsionnyye tehnologii optimal'nyh resheniy: ucheb. posobie]. Minsk, Novoe znanie publ., 2003, 424 p.

4. Wentzel, E. S. Operations Research (objectives, principles, methodology) [Issledovanie operatsiy (zadachi, principy, metodologiya)]. Moscow, Nauka publ., 1988, 208 p.

5. Eliseev, S. Yu. Logistics management system of railway interaction with sea and river ports and other modes of transport: monograph [Sistema logisticheskogo upravleniya vzaimodeystviem zheleznnykh dorog s morskimi i rechnymi portami i drugimi vidami transporta: monografiya]. Moscow, VINITI RAS, 2005, 96 p.

6. Eliseev, S. Yu. Construction and optimization of international transport and logistics systems: monograph [Postroyeniye i optimizatsiya funkcionirovaniya mezhduнародnykh transportno-logisticheskikh sistem: monografiya]. Moscow, VINITI RAS, 2006, 242 p.

7. Balalaev, A. S., Eliseev, S. Yu. Logistics centers in the system of multimodal transportation: educational guide [Logisticheskie tsentry v sisteme mul'timodal'nykh perevozk: ucheb. posobie]. Khabarovsk, FESTU publ., 2008, 132 p.

8. Balalaev, A. S. Formation of competitive transport components of logistics systems: monograph [Formirovaniye konkurentosposobnykh transportnykh sostavljajushchih logisticheskikh sistem: monografiya]. Khabarovsk, FESTU publ., 2007, 224 p.

9. Kurenkov, P. V., Kotlyarenko, A. F. Foreign trade transportation in mixed traffic: economics, logistics, management [Vneshnetorgovyye perevozki v smeshannom soobshhenii: jekonomika, logistika, upravleniye]. Samara, Soldat Otechestva publ., 2002, 636 p.

10. Eliseev, S. Yu., Kotlyarenko, A. F., Kurenkov, P. V. On typology of logistics centers [K tipologii logisticheskikh centrov]. Logistika, 2003, Iss. 3, pp. 8–10.

11. Prokofieva, T. A., Lopatkin, O. M. Logistics of transport and distribution systems: a regional perspective [Logistika transportno-raspredelitel'nykh sistem: regional'nyy aspekt]. Moscow, RosKonsult publ., 2003, 400 p.

12. Coordination and logistics centers: educational guide [Koordinationno-logisticheskie tsentry: ucheb. posobie]. Ed. by V. M. Nikolashin and S. Y. Eliseev. Moscow, Railway training and methodological centre publ., 2013, 228 p.

13. Logistic management of freight transportation and terminal and storage activities: educational guide [Logisticheskoe upravleniye gruzovymi perevozkami i terminal'no-skladskoy deyatelnost'yu: uchebnoye posobie]. Ed. by S. Yu. Eliseev, V. M. Nikolashin, A. S. Sinitsina. Moscow, Railway training and methodological centre publ., 2013, 427 p.

14. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Effective use of own cars of transport companies on logistics principles [Effektivnoye ispol'zovaniye sobstvennykh vagonov transportnykh kompaniy na logisticheskikh principah]. Transport: nauka, tekhnika, upravleniye, 2014, Iss. 9, pp. 48–51.

15. Baginova, V. V., Fedorov, L. S., Lievin, S. B. Logistics Business: Harmony of Costs and Outcome. World of Transport and Transportation, Vol. 12, 2014, Iss. 5, pp. 112–115.

16. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. Key market factors that affect efficiency of car use [Osnovnyye rynochnyye faktory, vliyayushchie na effektivnost' ispol'zovaniya vagonov]. Ekonomika zheleznnykh dorog, 2015, Iss. 4, pp. 82–87. ●

Information about the authors:

Eliseev, Sergey Yu. – D.Sc. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, selis56@mail.ru.

Shatokhin, Andrey A. – senior lecturer at the department of Railway operations of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, aassrv@gmail.com.

Article received 29.05.2015, accepted 25.08.2015.

