МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

УДК 656.2 : 519.85 DOI 10.46973/0201–727X_2026_1_219

А. Т. Осьминин, А. Н. Баушев, Л. А. Осьминин

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СХЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВАГОНОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПАРКА

Аннотация. Предложен двухэтапный подход к нормированию рабочего парка грузовых вагонов компаний-операторов в условиях нестационарного перевозочного процесса. На первом этапе для фиксированного интервала планирования формируется множество допустимых парето-оптимальных логистических схем в ориентированном графе перевозок по аддитивным эксплуатационным критериям: времени оборота, порожнему пробегу, переменным эксплуатационным затратам и другим технологическим показателям. Показано, что тарифный или доходный результат схемы имеет неаддитивный характер и потому должен оцениваться после построения полного пути, а не как сумма значений по отдельным дугам. На втором этапе решается задача минимизации требуемого рабочего парка на скользящем горизонте планирования с учетом объемов заявок по периодам и при необходимости межпериодного баланса расположения вагонов. Формула Литтла используется только как локальная агрегированная оценка для отдельной схемы и не рассматривается как прямой расчетный инструмент для неоднородной и нестационарной сети. Приведен иллюстративный пример, демонстрирующий связь этапа генерации схем и этапа нормирования парка.

Ключевые слова: железнодорожные перевозки, рабочий парк вагонов, логистическая схема, многокритериальная оптимизация, парето-оптимальность, порожний пробег, скользящий горизонт планирования, линейное программирование.

Для цитирования: Осьминин, А. Т. Метод построения парето-оптимальных логистических схем перемещения вагонов и его применение для нормирования рабочего парка / А. Т. Осьминин, А. Н. Баушев, Л. А. Осьминин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 1. – С. 219–225. – DOI 10.46973/0201–727X_2026_1_219.

Введение

Нормирование рабочего парка грузовых вагонов относится к числу базовых задач управления перевозочным процессом, поскольку именно оно определяет потребность в подвижном составе, устойчивость выполнения плана перевозок, уровень обслуживания клиентов и экономическую эффективность работы компаний-операторов. В условиях роста грузонапряженности сети и неоднородности логистических маршрутов эта задача перестает быть только расчетом среднего оборота вагона и превращается в задачу выбора рациональных схем его обращения на сети.

В практических расчетах размер рабочего парка нередко связывают с соотношением Литтла $L = \lambda W$ [1, 2]. Однако для открытой железнодорожной системы, в которой одновременно действуют сезонные колебания спроса, технологические «окна», ограничения пропускной и перерабатывающей способности, неоднородность маршрутов и управленческие решения различных операторов, прямое использование этой формулы в агрегированном виде носит лишь ориентировочный характер. В настоящей статье формула Литтла рассматривается не как основная модель расчета, а как локальная интерпретация для отдельной логистической схемы: требуемый парк пропорционален интенсивности перевозок и времени оборота, которое должно быть получено из явной схемы обращения вагона.

Существенное влияние на оборот вагона оказывают факторы, которые в укрупненном виде обычно перечисляются во введении, но редко доводятся до формальной модели: сезонность и неравномерность заявок, технологические окна, варианты переработки вагонов, ограничения инфраструктуры, коммерческие правила оформления перевозки, а также различие интересов перевозчика и оператора. В предлагаемой постановке эти факторы учитываются через разбиение горизонта планирования на интервалы, формирование для каждого интервала собственного множества допустимых дуг графа, задание аддитивных эксплуатационных критериев и последующую схемную оценку коммерческого результата.

Отдельного учета требует противоречие между интересами компании-оператора и перевозчика. Оператор стремится к максимизации доходности схемы и снижению собственных затрат, тогда как для перевозчика критически важны порожний пробег, загрузка инфраструктуры, баланс вагонов по узлам сети и устойчивость эксплуатационной работы. Поэтому множество рассматриваемых логистических схем должно формироваться по нескольким критериям одновременно, а порожний пробег должен выступать не побочным, а явным показателем качества схемы.

Математически задача построения логистических схем естественно формулируется на графовой модели транспортной сети и относится к классу задач многокритериальной оптимизации и поиска путей в графах [3–6]. В статье предлагается двухэтапный метод: на первом этапе строится множество допустимых парето-оптимальных схем обращения вагона по аддитивным технологическим критериям, на втором этапе это множество используется как набор допустимых колонок в задаче нормирования рабочего парка на скользящем горизонте планирования.

Цель научной разработки

Целью научной разработки является обоснование и разработка математико-алгоритмического подхода к нормированию рабочего парка вагонов компаний-операторов на основе построения множества допустимых парето-оптимальных логистических схем обращения вагонов и последующего оптимального выбора их комбинаций при заданном плане перевозок и изменении спроса во времени.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1) формализовать представление логистических схем в виде путей в ориентированном графе перевозок на последовательности плановых интервалов;

2) разделить аддитивные эксплуатационные критерии схемы и неаддитивный схемный коммерческий результат;

3) сформулировать задачу построения множества допустимых парето-оптимальных путей при пороговых ограничениях;

4) описать алгоритм BS&F (breadth-search + filtration) и показать его корректную роль на этапе генерации схем;

5) сформулировать оптимизационную модель нормирования рабочего парка на скользящем горизонте планирования и связать ее коэффициенты со структурой найденных схем;

6) показать на небольшом примере, как критерий порожнего пробега позволяет согласовывать интересы оператора и перевозчика.

Формализация логистической схемы и многокритериальной постановки

Пусть горизонт планирования разбит на интервалы $\tau = 1, ..., H$. Для каждого интервала τ задается ориентированный граф $G\tau = (V, A\tau)$, где V – множество узлов сети (станций, узлов формирования, районов выгрузки и т.п.), а $A\tau$ – множество допустимых на данном интервале перемещений вагона. Изменение множества дуг $A\tau$ по интервалам отражает влияние сезонности, технологических «окон», ограничений инфраструктуры, временных запретов, альтернатив переработки и иных возмущений перевозочного процесса.

Для каждой дуги $a \in A\tau$ задается набор аддитивных эксплуатационных критериев $c1(a)$, $c2(a)$, ..., $cm(a)$. В прикладных расчетах в качестве таких критериев могут использоваться время следования и переработки, порожний пробег, переменные эксплуатационные затраты, штраф за технологический риск, число переработок и другие показатели, суммируемые по мере последовательного прохождения дуг. Важно подчеркнуть, что тарифный или доходный результат перевозки в общем случае не является аддитивным по дугам графа, поэтому далее аддитивность относится только к эксплуатационным критериям схемы.

Аддитивность эксплуатационных критериев для конкатенации двух путей записывается в виде (1):

$$c\_k(p_1 \cdot p_2) = c\_k(p_1) + c\_k(p_2), \quad k = 1, ..., m. \tag{1}$$

После построения полного пути p его схемный коммерческий результат $R(p)$ – доход, маржинальный эффект или укрупненная тарифная оценка – вычисляется отдельно для всей схемы в целом. Такой прием позволяет устранить методическую коллизию, связанную с тем, что тариф на перевозку по сформированному пути не обязан равняться сумме тарифов по отдельным участкам.

Для фиксированных начальной вершины $s \in V$ и конечной вершины $t \in V$ через $P\tau(s, t)$ обозначим множество всех путей в графе $G\tau$, начинающихся в s и заканчивающихся в t. Допустимым будем считать путь, удовлетворяющий заданным пороговым ограничениям по технологическим критериям, например по времени оборота и порожнему пробегу. Тогда множество допустимых путей записывается в виде (2):

$$P\tau\_\mathrm{adm}(s, t) = \{\, p \in P\tau(s, t) : c\_k(p) \le T\_k, \quad k \in K\_\mathrm{lim} \,\}. \tag{2}$$

Для путей из множества $P\tau\_adm(s, t)$ вводится обычное отношение парето-доминирования: путь p доминирует путь q, если он не хуже q по всем учитываемым аддитивным критериям и строго лучше хотя бы по одному из них. Формально это записывается соотношением (3):

$$p \prec q \iff c\_k(p) \le c\_k(q) \ \ (k = 1, ..., m), \text{ и существует } \ell\text{: } c\_\ell(\mathrm{p}) < c\_\ell(\mathrm{q}). \tag{3}$$

Подмножеством парето-оптимальных допустимых путей $P^*\tau(s, t)$ будем считать множество всех путей из $P\tau\_adm(s, t)$, не доминируемых никаким другим допустимым путем. Именно это множество служит входом для последующего этапа нормирования рабочего парка.

Связь с формулой Литтла в предлагаемой постановке становится явной на уровне отдельной схемы j. Если на интервале τ поток заявок, обслуживаемых данной схемой, имеет интенсивность $\lambda j\tau$, а среднее время оборота по этой схеме равно $Wj\tau$, то локальная агрегированная оценка требуемого парка задается соотношением (4):

$$Nj\tau\hat{}(L) \approx \lambda j\tau \cdot Wj\tau, \quad Wj\tau = c_1(pj). \tag{4}$$

Следовательно, формула Литтла в данной работе не «исчезает», а используется как интерпретационный мост между построенной логистической схемой pj и требуемым числом вагонов. Новизна подхода состоит в том, что величина $Wj\tau$ не задается априори усредненным нормативом по системе, а вычисляется из явно сформированной схемы обращения вагона для конкретного интервала планирования.

Алгоритм BS&F построения множества парето-оптимальных схем

Прямая генерация всех путей в графе $G\tau$ неприемлема даже для умеренных размеров сети из-за комбинаторного взрыва. Поэтому применяется процедура поэтапного расширения частичных путей с одновременным удалением заведомо неэффективных альтернатив. Алгоритм BS&F (breadth-search + filtration) сочетает послойное расширение путей и фильтрацию доминируемых меток, что соответствует классу labeling-алгоритмов для задач многокритериальных путей [3, 6–8].

Для каждой вершины $v \in V$ поддерживается множество меток $L(v)$. Метка соответствует некоторому допустимому пути из s в v и хранит вектор аддитивных критериев ($c1$, ..., cm). При расширении метки вдоль дуги $a = (v, u)$ формируется новая метка с покомпонентно увеличенными значениями критериев. Если новая метка нарушает хотя бы одно пороговое ограничение из множества K_lim, она отбрасывается. В противном случае выполняется ее включение в $L(u)$ и последующая фильтрация по доминированию.

Псевдокод алгоритма BS&F приведен ниже.

```
Вход: граф Gτ = (V, Aτ), начальная вершина s, конечная вершина t, пороги T_k
Выход: множество меток L(t) - оценки парето-оптимальных допустимых путей

для всех v ∈ V: L(v) ← ∅
L(s) ← {(0, ..., 0)}
Q ← очередь вершин; поместить s в Q

пока Q не пуста:
    v ← извлечь из Q
    для каждой дуги a = (v, u) ∈ Aτ:
        для каждой метки ℓ ∈ L(v):
            ℓ' ← ℓ + c(a)
            если ℓ' нарушает хотя бы одно ограничение: продолжить
            L(u) ← FILTR( L(u) ∪ {ℓ'} )
        если L(u) изменилось: поместить u в Q

для каждой конечной метки в L(t):
    восстановить полный путь p
    вычислить схемный коммерческий результат R(p)
    удалить путь, если он нарушает коммерческие правила или R(p) < R_min

вернуть множество недоминируемых схем
```

Ключевым обстоятельством является то, что процедура фильтрации удаляет только доминируемые альтернативы, а потому не может отбросить путь, принадлежащий множеству $P^*\tau(s, t)$. В то же время учет коммерческого результата $R(p)$ вынесен за пределы операции дугового сложения: он определяется после восстановления полного пути, что методически корректно при неаддитивном характере тарифа и дохода. Тем самым алгоритм BS&F решает именно ту часть задачи, где применимы аддитивные критерии, а коммерческая оценка выполняется на уровне готовой схемы.

В худшем случае число парето-оптимальных путей может расти экспоненциально с размером графа и числом критериев. Поэтому область эффективного применения алгоритма ограничивается небольшим количеством критериев и разумно выбранными порогами. Для задач нормирования рабочего парка – это условие обычно выполняется: на практике достаточно учитывать 2–4 ключевых технологических критерия, среди которых время оборота и порожний пробег являются обязательными.

Оптимизационная модель нормирования рабочего парка

Пусть для каждого интервала τ построено множество схем $J\tau = \{p1, p2, ..., pJ\tau\}$. Каждая схема $j \in J\tau$ является конкретным путем в графе $G\tau$ и потому однозначно задает свои технологические показатели, коммерческий результат и структуру выполняемых перевозочных операций. Обозначим через $xj\tau$ количество вагонов, направляемых по схеме j на интервале τ. Через $aij\tau$ обозначим число перевозок типа i, которое способен выполнить один вагон при реализации схемы j на интервале τ, а через $Qi\tau$ – требуемый объем перевозок данного типа.

Тогда базовая задача нормирования рабочего парка на скользящем горизонте планирования может быть записана в форме (5).

$$\min\ \Sigma\tau\ \Sigma j\ xj\tau \quad \text{при условиях} \quad \Sigma j\ aij\tau\ xj\tau \geq Qi\tau, \quad i = 1, ..., I;\ \ \tau = 1, ..., H; \quad xj\tau \in Z+. \qquad (5)$$

Именно коэффициенты $aij\tau$ формируются по найденным логистическим схемам, поэтому модель (5) не является отдельной постановкой, не связанной с этапом построения маршрутов. Напротив, она представляет второй этап единого метода: на первом этапе генерируются допустимые парето-схемы, на втором этапе выбирается их комбинация, минимизирующая требуемый рабочий парк при покрытии заданного плана перевозок.

Если необходимо явно учитывать динамику расположения вагонов между интервалами, вводятся межпериодные балансовые ограничения по узлам сети. Обозначим через $nv\tau$ число вагонов, доступных в узле v в начале интервала τ, а через $bvj\tau$ – чистое изменение числа вагонов в узле v при выполнении одной схемы j на данном интервале. Тогда межпериодный баланс записывается соотношением (6)

$$nv,\tau + 1 = nv,\tau + \Sigma j\ bvj\tau\ xj\tau, \quad v \in V, \quad \tau = 1, ..., H - 1. \qquad (6)$$

Модель (6) показывает, что колебания объемов заявок во времени действительно переводят задачу в динамическую постановку. Однопериодная схема расчета является лишь частным случаем при $H = 1$. На практике возможно применение метода скользящего горизонта: для каждого нового интервала заново формируется граф $G\tau$, пересчитывается множество допустимых схем $J\tau$ и затем решается задача (5) с учетом имеющихся межпериодных запасов вагонов.

Согласование интересов оператора и перевозчика осуществляется за счет состава критериев и ограничений. Например, порожний пробег может быть включен в критерийную векторную оценку схем, в жесткие пороговые ограничения или в дополнительную цель отбора схем. Это позволяет исключать коммерчески приемлемые, но нерациональные с точки зрения маршрутов продвижения варианты, ухудшающие эксплуатационные показатели перевозчика.

Отдельный аспект связан с неопределенностью времен следования и параметров перевозочного процесса. Строгий учет такой неопределенности может выполняться методами стохастического программирования и робастной оптимизации [9–14]. В настоящей статье рассмотрена детерминированная базовая постановка; при необходимости стохастические эффекты могут быть отражены через сценарный набор графов $G\tau$ или через консервативные пороги T_k.

Иллюстративный пример

Для демонстрации логики метода рассмотрим упрощенный пример, в котором для обращения вагона между узлами A и C на месячном интервале сформированы три допустимые схемы (таблица). Для всех схем коммерческий результат $R(p)$ вычисляется после построения полного пути; при этом по аддитивным критериям учитываются время оборота, порожний пробег и переменные эксплуатационные затраты.

Схема	Последовательность узлов	Время оборота, сут.	Порожний пробег, км	Переменные затраты, усл. ед.	Статус
S1	*A-B-C-A*	4,2	118	1,00	парето-оптимальна
S2	*A-D-C-A*	3,8	162	1,07	парето-оптимальна
S3	*A-B-D-C-A*	5,1	190	1,12	доминируется

В приведенном примере схема S3 проигрывает двум другим альтернативам по всем технологическим показателям и поэтому исключается уже на этапе фильтрации. Для месячного объема перевозок 120 повагонных отправок локальная оценка по формуле (4) дает примерно $120 \cdot 4{,}2/30 \approx 17$ вагонов для схемы *S*1 и $120 \cdot 3{,}8/30 \approx 16$ вагонов для схемы S2. Если для перевозчика установлен предел порожнего пробега 150 км, в допустимом множестве остается только схема S1; если предел увеличен до 170 км, в мастер-задачу (5) поступают обе схемы S1 и S2, и далее выбор зависит от дополнительных коммерческих и технологических ограничений. Тем самым пример наглядно показывает, каким образом первый этап метода формирует набор допустимых колонок для второго этапа нормирования парка.

Выводы

1 Показано, что формула Литтла применима в рассматриваемой задаче только как локальная агрегированная оценка для отдельной схемы или однородного класса схем. В качестве прямой глобальной модели для неоднородной и нестационарной железнодорожной сети она недостаточна.

2 Предложено формализовать сложность управления вагонным парком через интервально зависимую графовую модель $G\tau = (V, A\tau)$, в которой сезонность, технологические окна, ограничения инфраструктуры и иные возмущения отражаются изменением множества допустимых дуг и их параметров.

3 Уточнено, что свойство аддитивности относится только к эксплуатационным критериям схемы – времени, порожнему пробегу, переменным затратам и т. п. Тарифный или доходный результат схемы должен вычисляться после построения полного пути, а не суммироваться по отдельным участкам.

4 Описан алгоритм BS&F, обеспечивающий построение множества допустимых парето-оптимальных схем и фильтрацию доминируемых альтернатив. Это позволяет формировать управляемое по объему множество кандидатов для последующего расчета.

5 Показана логическая связь между этапом построения схем и этапом нормирования рабочего парка: найденные парето-оптимальные схемы выступают допустимыми колонками в задаче целочисленного программирования на скользящем горизонте планирования.

6 Введение порожнего пробега в состав критериев и ограничений позволяет формализованно согласовывать интересы оператора и перевозчика. Небольшой иллюстративный пример демонстрирует практическую работоспособность предложенного подхода.

Список литературы/References

1 **Little, J. D. C.** A Proof for the Queuing Formula L = λW / J. D. C. Little // Operations Research. – 1961. – Vol. 9 (3). – P. 383–387. – DOI 10.1287/opre.9.3.383.

2 Fundamentals of Queueing Theory / D. Gross, J. F. Shortle, J. M. Thompson, C. M. Harris. – 4th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2008. – 528 p. – ISBN 978-0-471-79127-0.

3 **Ehrgott, M.** Multicriteria Optimization / M. Ehrgott. – Berlin : Springer-Verlag, 2005. – 323 p. – ISBN 3-540-21398-8.

4 A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II / K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, T. Meyarivan // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2002. – Vol. 6 (2). – P. 182–197. – DOI 10.1109/4235.996017.

5 **Dijkstra, E. W.** A note on two problems in connexion with graphs / E. W. Dijkstra // Numerische Mathematik. – 1959. – Vol. 1. – P. 269–271. – DOI 10.1007/BF01386390.

6 Introduction to Algorithms / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein. – 3rd ed. – Cambridge, MA : MIT Press, 2009. – 1292 p. – ISBN 978-0-26253-305-8.

7 **Preparata, F. P.** Computational Geometry: An Introduction / F. P. Preparata, M. I. Shamos. – New York : Springer-Verlag, 1985. – 390 p. – ISBN 0-387-96131-3.

8 Algorithms and methods for solving scheduling problems and other extremum problems on large-scale graphs / S. V. Chernyshev, E. A. Cherepanov, E. V. Pankratiev, A. M. Chepovskii // Journal of Mathematical Sciences. – 2005. – Vol. 128 (6). – P. 3487–3495.

9 **Birge, J. R.** Introduction to Stochastic Programming / J. R. Birge, F. Louveaux. – New York : Springer, 2011. – 485 p.

10 **Shapiro, A.** Lectures on Stochastic Programming : Modeling and Theory / A. Shapiro, D. Dentcheva, A. Ruszczyński. – Philadelphia : SIAM, 2009. – DOI 10.1137/1.9780898718751.

11 Applications of Stochastic Programming / S. W. Wallace, W. T. Ziemba (eds.). – Philadelphia : SIAM, 2005. – 709 p. – ISBN 978-0-89871-555-2.

12 **King, A. J.** Modeling with Stochastic Programming / A. J. King, S. W. Wallace. – New York : Springer, 2012. – DOI 10.1007/978-0-387-87817-1.

13 **Ben-Tal, A.** Robust Optimization / A. Ben-Tal, L. El Ghaoui, A. Nemirovski. – Princeton, NJ : Princeton University Press, 2009. – 576 p. – ISBN 978-0-691-14368-2.

14 **Kall, P.** Stochastic Programming / P. Kall, S. W. Wallace. – Chichester : John Wiley & Sons, 1994. – 307 p. – ISBN 978-0-471-95108-7.

15 **Martello, S.** Knapsack Problems : Algorithms and Computer Implementations / S. Martello, P. Toth. – Chichester: John Wiley & Sons ; 1990. – ISBN 978-0-471-92420-3.

A. T. Osminin, A. N. Baushev, L. A. Osminin

A METHOD FOR CONSTRUCTING PARETO-OPTIMAL LOGISTIC SCHEMES FOR CAR MOVEMENT AND ITS APPLICATION FOR STANDARDIZATION OF THE WORKING FLEET

Abstract. The paper proposes a two-stage approach to norming the working fleet of freight cars of operating companies under nonstationary traffic conditions. At the first stage, for a fixed planning interval, the set of feasible Pareto-optimal logistic schemes is generated in a directed transportation graph using additive operational criteria such as turnaround time, empty mileage, variable operating costs and other technological indicators. It is shown that the tariff or revenue effect of the scheme is non-additive and therefore has to be evaluated after constructing the complete route, rather than as the sum of the values for individual arcs. At the second stage, a rolling-horizon optimization model is solved to minimize the required working fleet while satisfying period-by-period transportation demand and, if needed, inter-period wagon-balance constraints. Little's formula is used only as a local aggregate estimate for an individual scheme and not as a direct computational model for a heterogeneous nonstationary rail network. A small illustrative example is provided to demonstrate the logical link between the scheme-generation stage and the fleet standardization stage.

Keywords: rail freight transportation, working railcar fleet, logistic scheme, multi-criteria optimization, Pareto optimality, empty mileage, rolling horizon planning, linear programming.

For citation: Osminin, A. T. A method for constructing Pareto-optimal logistic schemes for car movement and its application for standardization of the working fleet / A. T. Osminin, A. N. Baushev, L. A. Osminin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2026. – No. 1. – P. 219–225. – DOI 10.46973/0201–727X_2026_1_219.

Сведения об авторах

Осьминин Александр Трофимович
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),
кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: at@osminin.com

Information about the authors

Osminin Aleksandr Trofimovich
Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University (PSTU),
Chair “Operational Management”,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: at@osminin.com

Баушев Алексей Николаевич
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),
кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
кандидат физико-математических наук, доцент, научный сотрудник,
e-mail: banban2008@yandex.ru

Осьминин Леонид Александрович
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),
кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
кандидат технических наук,
научный сотрудник,
e-mail: leonid@osminin.com

Baushev Aleksey Nikolaevich
Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University (PSTU),
Chair “Operational Management”,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Research Fellow,
e-mail: banban2008@yandex.ru

Osminin Leonid Aleksandrovich
Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University (PSTU),
Chair “Operational Management”,
Candidate of Engineering Sciences,
Researcher,
e-mail: leonid@osminin.com