

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-331-337>

УДК 658.7/8.004.67

Экономические основы выбора направлений модернизации сети автомобильных дорог

Канд. экон. наук, доц. И. М. Царенкова¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет транспорта (Гомель, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2018
Belarusian National Technical University, 2018

Реферат. Предложен авторский методический подход к выбору рациональных направлений модернизации сети автомобильных дорог с учетом возрастающих потребностей народного хозяйства в современной транспортной инфраструктуре, формирующихся в условиях развития транспортно-логистической системы страны. Исходная информация, необходимая для вариантной разработки проектных решений, содержит данные о существующих транспортно-эксплуатационных характеристиках дорожной сети, внутри- и межрегиональных транспортно-экономических связях, сформированных логистических цепях поставок, сведения по объемам и структуре перевозок и возможным этапам развития отдельных участков автомобильных дорог. При этом исходные данные имеют ту или иную степень неопределенности, что требует принятия проектных решений с учетом возможности изменения информации в некотором интервале. Предлагаемые варианты использования экономических критериев дают возможность оценивать эффективность логистических систем, участники которых осуществляют операции по поставке и перемещению товаров и грузов по конкретным участкам дорожной сети, исходя из их общих целей не только на национальном или региональном уровне, но и на глобальном, при стратегическом планировании. На выбор метода расчета, как и на структуру расчетной модели, степень ее агрегирования существенное влияние оказывают цели исследования. Построение оптимальной схемы модернизации сети автомобильных дорог сводится к определению такой совокупности проектных решений по строительству, реконструкции и ремонту автомобильных дорог с распределением по годам расчетного периода и отдельным участкам сети и такого распределения грузопотоков по ним, при которых сумма приведенных затрат на перевозку всего объема грузов и на модернизацию участков автомобильных дорог в соответствии с размерами перевозок была бы минимальной.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожное хозяйство, реконструкция, строительство, логистическая система, цепи поставок

Для цитирования: Царенкова, И. М. Экономические основы выбора направлений модернизации сети автомобильных дорог / И. М. Царенкова // *Наука и техника*. 2018. Т. 17, № 4. С. 331–337. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-331-337>

Economic Fundamentals for Selecting Directions for Modernization of Highway Network

I. M. Tsarenkova¹⁾

¹⁾Belarusian State University of Transport (Gomel, Republic of Belarus)

Abstract. The paper proposes a methodological approach to selection of rational directions for modernization of highway network while taking into account an increasing requirements of the national economy in a modern transport infrastructure being formed under conditions of the development of national transport and logistics system. The initial data required for variant development of design solutions contain information on existing transport and operational characteristics of the road

Адрес для переписки

Царенкова Ирина Михайловна
Белорусский государственный университет транспорта
ул. Кирова, 34,
246653, г. Гомель, Республика Беларусь
Тел.: +375 232 95-39-67
tsar_irina@mail.ru

Address for correspondence

Tsarenkova Irina M.
Belarusian State University of Transport
34 Kirova str.,
246653, Gomel, Republic of Belarus
Tel.: +375 232 95-39-67
tsar_irina@mail.ru

network, intra- and inter regional transport and economic relations, formed logistics supply chains, volume and structure of transportation and possible development stages for certain sections of highways. In this case initial data have a certain degree of uncertainty that requires to take design decisions with due consideration of the possibility to change information in a certain interval. The proposed options to use economic criteria make it possible to assess efficiency of logistics systems and their participants carry out operations pertaining to supply and handling of products and cargoes on specific sections of a road network and these measures are proceeding from common goals based not only on national or regional level, but also on the global level in the context of strategic planning. Study objectives play a significant role in selection of a calculation method, as well as its structure, a degree of its aggregation. Construction of an optimal scheme for modernization of a highway network presupposes to determine such totality of design solutions for construction, reconstruction and repair of motor roads with year-wise distribution for calculation period and certain network sections and such distribution of their freight flows when an amount of the reduced costs for transportation of the entire volume of products and modernization of motor roads would be minimal in accordance with transportation rates.

Keywords: highway, road facilities, reconstruction, construction, logistics system, supply chains

For citation: Tsarenkova I. M. (2018) Economic Fundamentals for Selecting Directions for Modernization of Highway Network. *Science and Technique*. 17 (4), 331–337. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-331-337> (in Russian)

Введение

В настоящее время происходит пересмотр стратегий развития национальных экономик, в том числе и в части взаимодействия с другими странами, в зависимости от трансформации мировой экономики. Сегодня во многих государствах осуществляется переход к новой координации деятельности экономических субъектов: от рыночно-иерархической координации к кластерно-сетевой, от вертикальной организационной формы к «плоской» горизонтальной [1]. Ставка делается на активное развитие и внедрение инноваций во все отрасли народного хозяйства. Совокупный потенциал наиболее инновационно активных отраслей экономики способствует развитию логистической инфраструктуры, которая обеспечивает комплексное транспортно-распределительное и другое обслуживание, позволяющее интегрировать регионы и страны в единое экономическое пространство, формируя в его пределах инновационную модель экономики [2].

Для Республики Беларусь одной из основных составляющих логистической инфраструктуры являются автомобильные дороги. Современная дорожная сеть страны в своем развитии опирается на стратегии развития Трансъевропейской и Азиатской транспортных сетей [3] и модернизируется в соответствии с направлениями, принятыми в Государственной программе по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017–2020 гг.

Дорожная сеть Беларуси достаточно хорошо развита. Так, по состоянию на 1 января 2017 г.

ее формируют 86896 км автомобильных дорог общего пользования с показателем плотности 418 км на 1000 кв. км территории республики, что является одним из самых высоких среди стран – участниц Содружества Независимых Государств. Однако при этом присутствует большое разнообразие в ее техническом оснащении. По результатам диагностики 2016 г., состояние 29,7 % республиканских автомобильных дорог не соответствует нормативным требованиям, с ограниченной несущей способностью дорожного покрытия до 6 т на ось эксплуатируется 11,5 % республиканских автомобильных дорог. Протяженность местных автомобильных дорог, требующих ремонта, составляет более 30 % от их протяженности. С ограничением несущей способности дорожного покрытия до 6 т на ось эксплуатируется 85,4 % местных автомобильных дорог [4].

Наблюдается различная степень загруженности направлений при неодинаковой структуре и темпах роста грузо- и пассажиропотоков на них. Основная часть транзитных перевозок грузов проходит по направлениям международных транспортных коридоров. По территории республики на этих участках проходят автомобильные дороги М-1 Брест – Минск – граница Российской Федерации, М-8 граница Украины – Гомель – Могилев – Орша – Витебск – граница Российской Федерации и М-5 Минск – Гомель. Важное значение имеют также автомобильные дороги М-10 граница Российской Федерации (Селище) – Гомель – Кобрин, М-6 Минск – Гродно – граница Республики Польша (Брузги) и мн. др. Вышеназванные факторы, наряду с наличием взаимодействующей

щих параллельных направлений местной сети автомобильных дорог, тесной взаимосвязью автомобильных перевозок с другими видами транспорта, обуславливают сложность прогнозирования дальнейшего оптимального развития сети автомобильных дорог.

Выбор направления модернизации сети автомобильных дорог

Существующая дорожная сеть, учитывая требования, предъявляемые мировой экономикой, все в большей степени подвергается структурным преобразованиям, ориентированным на логистику [5]. В таком случае применим иерархический подход [6], предполагающий взаимосвязанные этапы, реализация которых позволит добиться рационального для конкретных экономических условий развития сети автомобильных дорог. На первом этапе требуется разработка стратегии повышения пропускной и провозной способностей, обеспечивающей решение принципиальных вопросов достижения установленного уровня этих показателей для всей сети дорог в целом. Затем в рамках принятых направлений развития данная задача решается для отдельных полигонов или определенных направлений движения грузопотоков. На завершающем этапе разрабатывается конкретный комплекс мероприятий по повышению пропускной и провозной способностей отдельных участков дорог. Таким образом, решение задачи построения рациональной схемы (оптимальной в рамках установленных параметров) развития сети автомобильных дорог сводится к определению такой совокупности проектных решений по строительству, реконструкции и ремонту автомобильных дорог на каждый год расчетного периода (t) по участкам сети (i, j) и такого распределения грузопотоков по ним, при которых сумма приведенных затрат на перевозку всего объема грузов и на модернизацию участков автомобильных дорог в соответствии с размерами перевозок была бы минимальной [7].

Исходная информация для выбора проектного решения по модернизации сети автомобильных дорог отличается некоторой степенью неопределенности. Как правило, имеется диа-

пазон изменения значений исходных данных, например интенсивности движения транспортных средств, состава транспортного потока, объемов перевозки грузов и пассажиров и т. п. Для повышения технико-экономической обоснованности принимаемого варианта целесообразно проверять устойчивость оптимальности принятого решения при различных значениях исходных данных в границах возможного диапазона их колебания [8–10]. При выборе направлений модернизации сети автомобильных дорог в зависимости от характера неопределенности исходной информации могут быть различные случаи.

1. Известны численные значения вероятности возможных величин исходных данных в диапазоне их колебания (например, среднегодовой прогнозной рост интенсивности движения, прогнозные значения объемов перевозок на основе проведения регрессионного анализа). При этом в качестве критерия возможно использовать математическое ожидание показателя оптимизации развития сети [11]. Для суммы приведенных затрат при многоэтапных капитальных вложениях математическое ожидание

$$\Theta(Z_{\text{прив}}) = \sum_{t=1}^T K_t \eta_t + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{n_t} C_{it} P_{it} \eta_t, \quad (1)$$

где $\Theta(Z_{\text{прив}})$ – математическое ожидание приведенных затрат по рассматриваемому варианту; K_t – капитальные вложения в t -й год; η_t – коэффициент дисконтирования; T – расчетный период, за который учитываются расходы по вариантам; t – шаг расчета; C_{it} – эксплуатационные расходы в t -м году, соответствующие вероятности их изменения по варианту i ; P_{it} – вероятность того, что эксплуатационные расходы в t -й год составят C_{it} ; n_t – число возможных вариантов изменения эксплуатационных расходов в t -й год.

В соответствии с этим показателем, критерием выбора наиболее эффективного решения является $\min \Theta(Z_{\text{прив}})$.

2. Численные значения P_{it} не могут быть установлены, однако можно определить степень предпочтения предельных вариантов изменения исходной информации. В этом случае

экономически наиболее эффективный вариант проектного решения может быть найден при минимизации обобщенного минимакса приведенных затрат

$$\alpha = \min_j \left[\beta \min_i \overline{Z_{привij}} + (1 - \beta) \max_i \overline{Z_{привij}} \right], \quad (2)$$

$$i = \overline{1, N_n^{(j)}}; \quad j = \overline{1, N_b},$$

где $\overline{Z_{привij}}$ – i -е значение приведенных затрат для j -го проектного варианта; $N_n^{(j)}$ – число возможных значений приведенных затрат j -го варианта; N_b – то же, сравниваемых вариантов; β – показатель оптимизма, отражающий вероятность такого изменения исходной информации j -го варианта, которое соответствует минимальному значению приведенных затрат, $0 \leq \beta \leq 1$.

3. Когда нельзя отдать предпочтение ни одному значению исходных данных перед другими параметрами во всем диапазоне возможных их колебаний, выбор проектного решения целесообразно производить в соответствии с минимаксными превышениями приведенных затрат. Максимальное превышение приведенных затрат для j -го проектного варианта выражается зависимостью

$$\tau_j = \max \left\{ \begin{array}{l} \max_i \overline{Z_{привij}} - \min_j \max_i \overline{Z_{привij}}; \\ \min_i \overline{Z_{привij}} - \min_j \min_i \overline{Z_{привij}}; \end{array} \right. \quad (3)$$

$$i = \overline{1, N_n^{(j)}}; \quad j = \overline{1, N_b}.$$

Вариант, для которого τ_j минимально, принимается как экономически наиболее эффективный.

При этом критерий оптимальности проектных решений в общем случае может быть представлен в виде следующей функции, имеющей множество вариантов, в зависимости от видов оптимизационных задач

$$S(x_i, t_i) \rightarrow \min(\max), \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

где S – показатель оптимальности проектного решения; x_i – i -е мероприятие; t_i – год осуществления i -го мероприятия; n – число мероприятий.

В зависимости от величины расчетного периода (дальности горизонта расчета) при выбо-

ре рациональных сочетаний реконструкции и ремонта на различных участках сети автомобильных дорог целесообразно использовать разные математические методы. Так, при формировании программы дорожных работ на период, в пределах которого точно известны все исходные параметры, необходимые для принятия и оценки проектных решений, можно использовать детерминированные модели и методы. При разработке стратегии развития дорожной сети на долгосрочный период, когда данные об объемах перевозок, их структуре, стоимостных показателях производства строительно-монтажных работ на дорогах, затратах на последующее содержание и другое носят вероятностный характер, значительно повышается роль стохастических методов расчета.

Стохастический вариант развития сети автомобильных дорог определяется случайным порядком удовлетворения транспортно-экономических связей между участниками различных логистических систем. Случайная величина N_j – порядковый номер удовлетворения очередной логистической цепи поставок, – равномерно распределенная в интервале $[m_0, m_k]$, определяется по формуле

$$N_j = E[\xi_i (\sum m_k - 1)] + 1, \quad (5)$$

где $E[]$ – символ целой части числа; ξ_i – случайная величина, равномерно распределенная в интервале от 0 до 1; m_0, m_k – начальный и конечный номера логистических цепей; $\sum m_k$ – общее число логистических цепей в составе логистической системы, использующей данную сеть автомобильных дорог.

Очередная k -я логистическая цепь, обеспечивающая доведение конкретной партии продукции до потребителя, удовлетворяется таким образом, чтобы принятые мероприятия по модернизации сети автомобильных дорог обеспечили ее функционирование при минимальной сумме приведенных затрат. При этом мероприятия, предусмотренные для наиболее выгодного удовлетворения предыдущих $(k - 1)$ потребностей участников логистических систем в сфере продвижения продукции с использованием автомобильного транспорта, считаются фиксиро-

ванными. Таким образом, возможно последовательное улучшение параметров автомобильных дорог с целью удовлетворения транспортно-экономических связей между участниками логистических систем, повышения эффективности функционирования логистических цепей поставок, что в итоге приведет к формированию очередного варианта развития дорожной сети. При этом возможно предусмотреть предоставление приоритета тем или иным участкам автомобильных дорог.

Переход к логистическим системам требует обоснования экономической эффективности применения определенных транспортных схем доставки грузов от поставщика до потребителя по автомобильным дорогам в рамках формируемых логистических цепей с учетом специфики экономических отношений, реально существующего транспортно-эксплуатационного уровня дорог и технического оснащения транспортных средств. Очередная сформированная логистическая цепь поставки должна удовлетворять свои потребности в перемещении материального потока по дорожной сети с минимальными транспортными затратами за счет строительства новых дорог или реконструкции существующих таким образом, чтобы был обеспечен минимум суммарных приведенных затрат. Поиск оптимального варианта удовлетворения потребности в оптимальных дорожных условиях для перевозки грузов может быть осуществлен методом последовательного улучшения некоторого исходного варианта, имеющего заведомо большое значение $[Z_{\text{прив}}]$, т. е. варианта, наверняка неоптимального. Любой конкретный вариант улучшения технических параметров сети или транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог будет рациональнее исходного. При построении очередного варианта удовлетворения транспортно-экономических связей целесообразно включение в его состав участков дорожной сети, ранее не рассматриваемых для модернизации. Дальнейшее продолжение построения варианта на каждом шаге целесообразно при условии $Z_{\text{прив}(j)} \leq [Z_{\text{прив}}]$, где $Z_{\text{прив}(j)}$ – приведенные затраты по всем рассмотренным на предыдущих шагах участкам.

Важно исключить из рассмотрения те участки автомобильных дорог, которые явно не примут участия в формировании оптимального варианта. Пусть в логистической системе для поставщика l и потребителя m имеется такая область W , выход за которую приводит к неоптимальному решению. Тогда все участки дорог, не принадлежащие W , могут быть исключены из области поиска оптимального варианта. Если при этом затраты, к примеру, на реконструкцию дороги и эксплуатационные расходы на ней составляют $Z_{\text{прив}(l,m)}$, то в область W должны входить лишь те варианты обеспечения связи (l, m) , которые имеют $Z_{\text{прив}(j)} \leq Z_{\text{прив}(l,m)}$. Уравнение границы области W можно определить из условий:

$$Z_{\text{прив}(j)} = Z_{\text{прив}(l,m)}; \quad (6)$$

$$Z_{\text{прив}(j)} = \sum_1^n a_j L_j + C_j L_j; \quad (7)$$

$$Z_{\text{прив}(l,m)} = a_{l,m} L_{l,m} + C_{l,m} L_{l,m}, \quad (8)$$

где $C_j, C_{l,m}$ – эксплуатационные расходы, приходящиеся на 1 км; $a_j, a_{l,m}$ – удельные капитальные вложения, необходимые для обеспечения транспортировки грузов между l, m ; $L_j, L_{l,m}$ – длина маршрута удовлетворения транспортно-экономической связи l, m по кратчайшему направлению и j -му варианту.

Преобразуя (6), получим $L_j(a_j + C_j) = L_{l,m}(a_{l,m} + C_{l,m})$, откуда

$$\lambda = L_j / L_{l,m} = (a_{l,m} + C_{l,m}) / (a_j + C_j). \quad (9)$$

То есть граница области W представляет собой эллипс, в фокусах которого лежат пункты l и m . Параметры этого эллипса определяются по зависимостям:

$$a = \frac{\lambda L_{l,m}}{2}; \quad (10)$$

$$b = \frac{L_{l,m}}{2} \sqrt{\lambda^2 - 1}.$$

Величина λ , а следовательно, и область W могут быть определены для различных вариантов заранее. При этом перебор возможных путей удовлетворения потребностей участников логистических систем в обеспечении оптимальными дорожными условиями при перевозке грузов по автомобильным дорогам и выбор наивыгоднейшего из них необходимо осуществлять таким образом, чтобы избежать повторного просчета экономических показателей по участкам дорог, входящим в состав различных маршрутов.

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время усложняется процесс реализации товаров. Эта задача решается путем уменьшения цены или повышения качества товаров. Наиболее быстрыми темпами цена продукции может быть снижена за счет транспортной составляющей. Главной задачей логистической системы является обеспечение минимальных издержек на всей логистической цепи с целью получения конкурентоспособной продукции в пункте ее потребления. Одним из путей достижения поставленной цели служит выбор оптимального маршрута перевозки по критерию минимальных транспортных затрат. Область решения данной задачи находится в прямой зависимости от транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог и их пропускной и провозной способностей, что, в свою очередь, требует поиска оптимального варианта развития дорожной сети в соответствии с возрастающими объемами перевозок. Предлагаемый подход базируется не только на минимизации общих затрат на материальное распределение товаров с обеспечением максимальной прибыли от логистических операций всех участников, но и на учете социальных, экологических и политических аспектов при максимальном соотношении выгод и затрат. Экономическая оценка эффективности логистических систем основана на взаимосвязи двух сторон логистической цепи доставки грузов: предъявляемых рынком объемов перевозок и обеспечивающих эти перевозки дорожных условий. Такой метод дает возможность ре-

шить существующие проблемы методологического и технического характера, связанные с отсутствием хорошо отлаженного организационно-экономического механизма, позволяющего определять и корректировать взаимное влияние схем доставки грузов и дорожных условий их реализации на конечную цену товара.

2. Предлагается методический подход к оптимизации развития сети автомобильных дорог, использующий современный математический аппарат. Анализ принципиальных решений, полученных при оптимизации развития полигонов дорожной сети, позволяет перейти к задаче увеличения пропускной и провозной способностей участков автомобильных дорог на конкретных направлениях перевозки грузов. Затем разрабатываются рекомендации по развитию отдельных участков автомобильных дорог с учетом повышения их транспортно-эксплуатационных качеств. Заключительный этап поиска оптимального варианта развития дорожной сети связан с взаимной увязкой полученных решений в масштабе всей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтов, И. В. «Новая экономика» – основа трансформаций в Беларуси / И. В. Войтов, И. В. Новикова // *Новости науки и технологий*. 2017. Т. 41, № 2. С. 58–61.
2. Логинава, Е. В. Развитие логистической инфраструктуры как фактор формирования инновационной модели экономики в условиях нестабильности / Е. В. Логинава, П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // *Новости науки и технологий*. 2016. Т. 38, № 3. С. 16–23.
3. *Транспортно-логистическая система Республики Беларусь: теория, методология, практика* / под общ. и науч. ред. Р. Б. Ивутья. Волгоград: Сфера, 2016. 292 с.
4. Государственная программа по развитию и содержанию автомобильных дорог в Республике Беларусь на 2017–2020 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 18 сентября 2017 г., № 699 // *Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь*. Режим доступа: <http://www.pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2017/september/25645/>. Дата доступа: 01.10.2017.
5. Царенкова, И. М. Развитие системы перевозки грузов по автомобильной дороге на основе принципов логистики / И. М. Царенкова // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2017. Т. 5, № 71. С. 19–27. <https://doi.org/10.15802/stp2017/114541>.

6. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; перевод с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
7. Царенкова, И. М. Основы развития логистических систем в дорожном хозяйстве / И. М. Царенкова. Гомель: БелГУТ, 2017. 211 с.
8. Харчистов, Б. Ф. Методы оптимизации / Б. Ф. Харчистов. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. 140 с.
9. Baidya, A. Models for Solid Transportation Problems in Logistics Using Particle Swarm Optimisation Algorithm and Genetic Algorithm / A. Baidya, U. K. Bera, M. Maiti // *International Journal of Logistics Systems and Management*. 2017. Vol. 27, No 4. P. 487. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005788>.
10. Rybakov, D. S. Total Cost Optimisation Model for Logistics Systems of Trading Companies / D. S. Rybakov // *International Journal of Logistics Systems and Management*. 2017. Vol. 27, No 3. P. 318. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005118>.
11. Зудилова, Т. В. Методы моделирования и оптимизации в инфокоммуникационных системах и сетях / Т. В. Зудилова. СПб.: Символ-Плюс, 2013. 131 с.
- Поступила 27.03.2018
Подписана в печать 28.06.2018
Опубликована онлайн 27.07.2018
- REFERENCES
1. Voitov I. V., Novikova I. V. (2017) "New Economy" – Basis of Transformations in Belarus. *Novosti Nauki i Tekhnologii = Science and Technology News*, 41 (2), 58–61 (in Russian).
2. Loginova E. V., Popov P. V., Miretsky I. Yu. (2016) Development of Logistics Infrastructure as Factor for Formation of Innovative Model in Economics under Conditions of Instability. *Novosti Nauki i Tekhnologii = Science and Technology News*, 38 (3), 16–23 (in Russian).
3. Ivut' R. B. (ed.), Kisel' T. R., Popov P. V., Khartovskii V. E., Shevchenko O. V. (2016) *Transport and Logistics System of the Republic of Belarus: Theory, Methodology, Practice*. Volgograd, Publishing House "Sphera". 292 (in Russian).
4. The State Programme for Development and Maintenance of Roads in the Republic of Belarus for 2017–2020: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, September 18, 2017, No 699. *National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus*. Available at: <http://www.pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2017/sepember/25645/> (Accessed 1 October 2017) (in Russian).
5. Tsarenkova I. M. (2017) Development of Cargo Transportation System while Using Automobile Roads on the Basis of Logistics Principles. *Nauka ta Progres Transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo Nacional'nogo Universitetu Zalizničnogo Transportu = Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 5 (71), 19–27 (in Russian). <https://doi.org/10.15802/stp2017/114541>.
6. Saaty T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill. 287.
7. Tsarenkova I. M. (2017) *Main Principles for Development of Logistics Systems in Road Sector*. Gomel, Belarusian State University of Transport. 211 (in Russian).
8. Kharchistov B. F. (2004) *Optimization Methods*. Taganrog, Taganrog State University of Radioengineering. 140 (in Russian).
9. Baidya A., Bera U. K., Maiti M. (2017) Models for Solid Transportation Problems in Logistics Using Particle Swarm Optimisation Algorithm and Genetic Algorithm. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 27 (4), 487. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005788>.
10. Rybakov D. S. (2017) Total Cost Optimisation Model for Logistics Systems of Trading Companies. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 27 (3). 318. <https://doi.org/10.1504/ijlsm.2017.10005118>.
11. Zudilova T. V. (2013) *Methods for Modeling and Optimization in Information and Communication Systems and Networks*. Saint-Petersburg, Simvol-Plus Publ. 131 (in Russian).
- Received: 27.03.2018
Accepted: 28.06.2018
Published online: 27.07.2018