УДК 656.13

О.М. Шикульская, Т.У. Есмагамбетов*
*ГАОУ АО ВПО «АИСИ», *АГУ*

РЕШЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ С УЧЕТОМ СОСТОЯНИЯ И ЗАГРУЖЕННОСТИ ДОРОГ

В известных работах маршрут доставки груза оценивается по пройденному транспортным средством пути, но при этом не учитывается множество других факторов, влияющих на время доставки. С целью их учета авторами были введены новые понятия, разработана математическая модель, позволяющая оптимизировать организацию доставки груза с учетом расстояния, вероятной скорости продвижения транспортного средства в зависимости от качества дороги, интенсивности потока транспорта и погодных условий.

Ключевые слова: транспортная логистика, математическая модель, оптимизация задач, маршрут, доставка груза, скорость продвижения, транспортная задача

Работа посвящена решению проблемы оптимизации транспортной логистики с учетом состояния и загруженности дорог.

Руководителям различного уровня в любой сфере деятельности приходится решать оптимизационные задачи. Процессы анализа и проектирования, управления и планирования, распределения ресурсов и производства должны быть направлены на поиск оптимального решения в соответствии принятыми приоритетами и потребностями.

Ускорение оборачиваемости средств в значительной мере влияет на эффективность деятельности организаций и зависит от эффективности движения материальных и финансовых ресурсов, информационного обеспечения процессов. Исследованием этих вопросов занимается логистика.

Значительное влияние на прибыль компании оказывают производственные издержки, которые необходимо оптимизировать. В связи с этим логистика выступает как скрытый ресурс, предоставляющий компании конкурентное преимущество [1—6].

В условиях развития и становления рыночных отношений строительство в большей мере по сравнению с другими отраслями экономики восприимчиво к логистике [7, 8]. Доля транспортных издержек в стоимости конечного продукта по строительству весьма значительна по сравнению с другими отраслями, не считая сельского хозяйства, что является важным стимулом для развития транспортной логистики в строительстве.

Выбор оптимальных маршрутов движения транспортных средств с учетом различных факторов позволяет эффективно управлять грузопотоками, рационально использовать производительность транспортных средств, сократить, или по крайней мере не увеличивать транспортный парк и сократить расходы на его обслуживание. По различным оценкам с транспортными издержками связано от 30 до 50 % всех затрат на логистику. Маршрутизация транспортных

© Шикульская О.М., Есмагамбетов Т.У., 2015

средств при условии соблюдения сроков поставок позволяет не только минимизировать эксплуатационные затраты, но и в 1,5...2 раза сократить складские запасы.

Этим обусловлена актуальность исследований, направленных на определение объемов грузоперевозок, количество единиц используемого транспорта, рационализацию маршрутов движения, сокращение суммарных затрат на транспортировку [9—15].

Решение оптимизационных задач транспортной логистики предполагает проведение глубокого анализа и учет значительного количества факторов, что невозможно без использования математического аппарата и информационных технологий. Авторы проанализировали известные математические методы, применяемые в логистике [16—29].

Модели транспортной задачи и задач маршрутизации являются основными при решении задач по оперативному планированию грузовых автомобильных перевозок.

Экономико-математическая модель классической транспортной задачи в общем виде представлена формулами [28]:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij} \to \min; \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = a_i \left(i = \overline{1, n} \right); \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = b_j \left(j = \overline{1, m} \right); \tag{3}$$

$$\forall x_{ij} \geq 0; \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = \sum_{j=1}^{m} b_j, \tag{5}$$

где i — количество поставщиков; j — количество потребителей; n — количество пунктов отправления; m — количество пунктов назначения; c_{ij} — элементы целевой функции; x_{ij} — количество продукции, перевозимой из пункта отправления A_i в пункт назначения B_j; a_i — ограничения по предложению, т.е. запас продукции в пункте отправления A_i; b_j — ограничения по спросу, т.е. спрос на продукцию в пункте назначения B_j.

В рассмотренной модели предполагается, что суммарные запасы равны суммарным потребностям (5). В закрытой модели транспортной задачи запасы и потребности совпадают, в противном случае модель является открытой. Для открытой модели рассматривают два случая, если суммарные запасы превышают суммарные потребности и когда суммарные потребности превышают суммарные запасы:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i > \sum_{j=1}^{m} b_j; \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_i < \sum_{j=1}^{m} b_j. \tag{7}$$

Решение транспортных задач на основе открытой модели осуществляется путем ее приведения к закрытой модели. Если суммарные запасы превышают суммарные потребности (6), добавляется фиктивный потребитель B_{n+1}, потребность которого определяется по формуле

$$B_{n+1} = \sum_{i=1}^{n} a_i - \sum_{j=1}^{m} b_j. \quad (8)$$

В противном случае, когда суммарные потребности превышают суммарные запасы (7), добавляется фиктивный поставщик A_{m+1}, запасы которого определяются по формуле

$$A_{m+1} = \sum_{j=1}^{m} b_j - \sum_{i=1}^{n} a_i. \quad (9)$$

Минимум транспортной работы в тонно-километрах, затраты времени или стоимость перевозки являются критериями оптимальности в транспортной задаче. Все три параметра зависят от пройденного транспортным средством пути. Первый критерий определяется по формуле (1). Второй критерий рассчитывают как сумму отношений пройденного каждым транспортным средством расстояния к его средней скорости. Значение третьего критерия вычисляется по формуле

$$P = (a + bS)Q, \quad (10)$$

где P — издержки, необходимые для перевозки груза на заданное расстояние; a — постоянные издержки, необходимые для выполнения определенного объема перевозок; b — переменные издержки на один километр; S — расстояние перевозки; Q — объем перевозок.

Таким образом, независимо от выбранного критерия оптимальности необходимо определить пройденный транспортным средством путь.

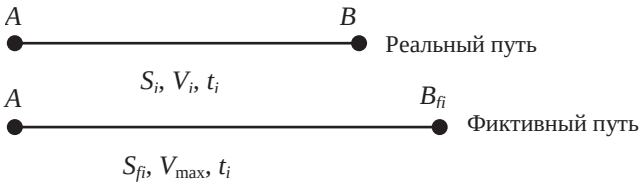
Для решения транспортных задач широкое применение нашел распределительный метод. Он имеет несколько разновидностей, которые в основном отличаются способом выявления оптимального решения. Наиболее известны три метода: Хичкова, Креко и модифицированный распределительный метод или метод потенциалов [28].

Метод потенциалов позволяет решить транспортную задачу за конечное число итераций, начиная с некоторого опорного плана перевозок.

На основе анализа известных моделей транспортировки установлено, что маршрут доставки груза в них оценивается только по пройденному транспортным средством пути. При этом не учитывается множество факторов, влияющих на время доставки груза, таких как вид транспортного средства, интенсивность транспортного потока, пропускная способность дороги, погодные и сезонные условия, время суток и др. В связи с этим создание математической модели, учитывающей влияние указанных факторов на время доставки грузов, приобретает особую значимость.

При создании такой модели нецелесообразно отказываться от известных хорошо проработанных экономико-математических методов. Необходимо только внести в них коррективы, позволяющие повысить их точность за счет введения дополнительных параметров. С этой целью введены понятия «фиктивное расстояние» S_{fi} и «проводимость участка дороги» G_i по аналогии с

электрической проводимостью [30—32]. В известных методах минимального элемента и потенциалов, применяемых последовательно при решении транспортной задачи, заменяем реальное расстояние на фиктивное. Фиктивное расстояние S_{fi} — это путь, который k-е транспортное средство могло бы пройти за время прохождения реального пути по хорошей дороге с максимально допустимой скоростью (рис.). Значение S_{fi} определяется по формулам (10)—(12). Проводимость G_i показывает, во сколько раз снижается скорость движения транспортного средства по i-му участку дороги по отношению к максимально допустимой, разрешенной правилами дорожного движения скорости, вследствие низкого качества дороги (13).



Преобразование реального пути в фиктивный: S_i — однородный участок дороги, обладающий определенной пропускной способностью

Время, затраченное транспортным средством на первом участке пути, определяется по формуле

$$t_i = \frac{S_i}{V_i}. \quad (11)$$

Время, которое должно было затратить транспортное средство при прохождении второго участка пути, определяется формулой

$$t_i = \frac{S_{fi}}{V_{\max}}, \quad (12)$$

t_i = const, следовательно

$$\frac{S_{fi}}{S_i} = \frac{V_{\max}}{V_i}; \quad (13)$$

$$G_i = \frac{V_{\max}}{V_i}, \quad (14)$$

где $V_{\max}$ — максимально допустимая скорость на i-м участке пути

$$V_{\max} = \begin{cases} V_k, & V_k \le V_{pdd}; \\ V_{pdd}, & V_k > V_{pdd}, \end{cases} \quad (15)$$

где V_{pdd} — максимально допустимая скорость, определяемая правилами дорожного движения, на рассматриваемом участке дороги; V_k — максимальная скорость, которую позволяет развить k-е транспортное средство.

С помощью спутниковой навигационной системы GPS определяются данные о скоростных ограничениях на i-м участке дороги.

«Фиктивное расстояние» S_{fi} можно вычислить по формуле

$$S_{fi} = \frac{S_i}{G_i}. \quad (16)$$

Математическая модель выбора оптимального маршрута V_{om} может быть представлена в виде следующей совокупности:

$$V_{om} = \{O, V_{inp}, V_{out}, P\}, \quad (17)$$

где O — объект моделирования (процесс выбора оптимального маршрута); V_{inp} — набор входных параметров (набор маршрутов); V_{out} — набор выходных параметров; P — правило перевода (перевод качественных параметров в количественные).

Определим параметры математической модели.

Входными являются три параметра:

$$V_{inp} = \{M, S, G_i\}, \quad (18)$$

где M — совокупность маршрутов; S — длина пути; G_i — «проводимость» (пропускная способность) i-го участка пути.

Критерий пропускной способности («проводимость») i-го участка дороги G_i имеет сложную структуру. Его компоненты (качество дороги и интенсивность потока транспорта) относятся к различным типам данных (качественным, количественным):

$$G_i = \{K_{kd}, K_{ip}\}, \quad (19)$$

где K_{kd} — критерий, характеризующий качество дороги, определяется по формуле (20); K_{ip} — критерий, характеризующий интенсивность транспортного потока в зависимости от времени суток и сезона (21).

$$K_{kd} = \{K_{iob}, K_{sd}\}, \quad (20)$$

где K_{iob} — показатель инженерного оборудования и обустройства дороги; K_{sd} — показатель эксплуатационного содержания дорог.

$$K_{ip} = f(S_z, t_d), \quad (21)$$

где S_z — коэффициент сезонного интервала; t_d — коэффициент интервала времени суток.

Функция $f(S_z, t_d)$ представлена табличной зависимостью, полученной экспериментально для i-го участка пути с использованием системы ГЛОНАСС (табл. 1, 2).

Выходные параметры представлены выражением

$$V_{out} = \{S_f\}, \quad (22)$$

где S_f — оценочная функция для каждого маршрута.

Формула (23) описывает правила перевода качественных критериев в количественные:

$$G_i = K_{ip} K_{kd}. \quad (23)$$

Проводимость $G_i = [0, 1]$ является безразмерной величиной.

$$K_{kd} = K_{iob} K_{sd}. \quad (24)$$

Показатели K_{iob}, K_{sd} определяют качество и состояние дороги. K_{iob} — показатель инженерного оборудования и обустройства дороги. Он показывает соответствие основных элементов инженерного оборудования и обустройства

дорог требованиям стандартов. К основным элементам инженерного оборудования и обустройства дорог относятся ограждения, дорожные знаки, разметка, пересечения автомобильных дорог с автомобильными и железными дорогами, примыкания, площадки отдыха и автобусные остановки, пешеходные дорожки и тротуары в населенных пунктах, освещение. K_{sd} — эксплуатационное состояние дороги, которое представляет собой степень соответствия ее переменных показателей нормативным требованиям. Элементами, определяющими эксплуатационное состояние дороги, являются прочность дорожной одежды, сцепные качества, ровность и шероховатость покрытия, состояние инженерного оборудования, состояние разметки, фактически используемая ширина проезжей части и обочин и т.д. Нормативные значения коэффициентов K_{iob} и K_{sd} принимают в соответствии с действующими нормативно-техническими документами[1]. Они определяются на основании статистических исследований, проведенных федеральным дорожным агентством министерства транспорта Российской Федерации «Росавтодор».

Критерий качества дороги K_{kd} имеет числовой тип данных. $K_{kd} = [0, 1]$.

В модели используются качественные критерии K_{kd}^{f} и K_{iob}^{f}, полученные из коэффициентов K_{kd} и K_{iob} с использованием соотношений (25) и (26).

$$K_{kd}^{f} = \begin{cases} \text{аварийное, если } 0 \le K_{kd} < 0{,}25; \\ \text{неудовлетворительное, если } 0{,}25 \le K_{kd} < 0{,}5; \\ \text{удовлетворительное, если } 0{,}5 \le K_{kd} < 0{,}75; \\ \text{нормальное, если } 0{,}75 \le K_{kd} \le 1. \end{cases} \quad (25)$$

Значение нормативной величины показателя инженерного оборудования и обустройства K_{iob} принимается равным единице.

$$K_{iob}^{f} = \begin{cases} \text{соответствует норме, если } 0{,}9 \le K_{iob} < 1; \\ \text{недопустимое состояние, если } 0 \le K_{iob} < 0{,}9. \end{cases} \quad (26)$$

Значение коэффициента K_{sd} определяют по результатам оценки фактического уровня содержания дороги за последний год.

$$K_{sd}^{f} = \begin{cases} \text{аварийное, если } 0 \le K_{sd} < 0{,}25; \\ \text{неудовлетворительное, если } 0{,}25 \le K_{sd} < 0{,}5; \\ \text{удовлетворительное, если } 0{,}5 \le K_{sd} < 0{,}75; \\ \text{нормальное, если } 0{,}75 \le K_{sd} \le 1. \end{cases} \quad (27)$$

$$K_{ip} = S_z t_d. \quad (28)$$

Коэффициенты S_z и t_d из формулы (21) вычисляются на основе статистических данных, получаемых с помощью ГЛОНАСС, по формулам (29), (30). В табл. 1 и 2 представлены данные, полученные в результате предварительного эксперимента, проводимого в течение пяти дней каждого сезона на однородном по состоянию участке шоссе.

[1] ОДН 218.0.006—2002. Утв. распоряжением Минтранса России № ИС-840-р от 03.10.2002 г.

Табл. 1. Информация для коэффициента сезона

Сезоны года	Скорость на исследуемом участке пути, км/ч				S_z
	1	2	n	V_{cred}	
Летний	90	87	90	89	0,99
Осенний	87	75	84	82	0,91
Зимний	75	65	70	70	0,78
Весенний	87	80	85	84	0,93

Табл. 2. Информация для коэффициента интервала суток

Время суток	Скорость на исследуемом участке пути, км/ч				t_d
	1	2	n	V_{cred}	
00:00—06:00	90	90	87	89	0,99
06:00—08:00	85	87	80	84	0,93
08:00—10:00	77	78	75	77	0,85
10:00—17:00	82	84	76	81	0,90
17:00—19:00	77	78	75	77	0,85
19:00—00:00	88	87	86	87	0,97

$$S_z = \frac{V_{cred}}{V_{\max}}; \tag{29}$$

$$t_d = \frac{V_{cred}}{V_{\max}}, \tag{30}$$

где V_{cred} — средняя скорость на участке дороги определяется по формуле (31) по данным табл. 1 и 2; $V_{\max}$ — максимально возможная скорость на участке дороги (в рассматриваемом случае $V_{\max}$ = 90 км/ч). Для формулы (29) данные берутся из табл. 1, для формулы (30) — из табл. 2.

$$V_{sred} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i}{n}. \tag{31}$$

Для проверки адекватности модели будет проводиться эксперимент с использованием системы ГЛОНАСС. Мощность генеральной совокупности N очень велика — определяется потоком автомобильного транспорта. Поэтому исследование будет проводиться по выборке мощностью n: $n < N$. Элементы выборки формируются следующим образом: необходимая информация будет собираться с 20 однородных по состоянию участков маршрутов доставки грузов с использованием системы ГЛОНАСС в течение пяти произвольно выбранных дней каждого сезона, в процессе эксперимента будут производиться измерения с 20 маршрутов в день по каждому участку. Таким образом, мощность выборки n составит 8000 наборов данных. Сформированные элементы выборки будут использованы для вычисления коэффициентов S_z и t_d, применяемых для определения критерия оптимальности маршрута.

Методика расчета коэффициентов транспортной задачи с учетом введенных понятий заключается в следующем. В качестве показателя критерия опти-

мальности c_{ij} будем использовать сумму фиктивных расстояний однородных участков данного маршрута, вычисляемых по формуле (16) через проводимость. Условие оптимальности будет определяться по формуле (1).

Для расчета проводимости *k*-го участка маршрута G_k необходимо получить коэффициенты K_{iob}, K_{sd}, S_z, и t_d. Коэффициенты K_{iob}, K_{sd} определяют по результатам оценки инженерного оборудования и обустройства дороги и фактического уровня содержания дороги за последний год. Коэффициенты S_z и t_d вычисляются на основе статистических данных, получаемых с помощью ГЛОНАСС по формулам (29), (30).

Для оценки состояния дорог используются качественные критерии K_{kd}^f, K_{iob}^f и K_{iob}^f, полученные по формулам (25)—(27).

Затем необходимо рассчитать критерий, характеризующий интенсивность транспортного потока в зависимости от времени суток и сезона K_{ip} по формуле (19), и критерий качества дороги K_{kd} по формуле (23). И по ним определяется проводимость по формуле (22). Фиктивное расстояние участка маршрута вычисляется по формуле (15).

Когда известны все фиктивные расстояния однородных участков маршрута, вычисляют показатель критерия оптимальности этого маршрута c_{ij} как сумму фиктивных расстояний однородных участков данного маршрута.

Затем последовательно применяем известные методы минимального элемента и потенциалов, заменив реальное расстояние на фиктивное. Если модель открытая, приводим ее к закрытой.

В дальнейшем для реализации разрабатываемой модели необходимая информация будет собираться с однородных по состоянию участков возможных маршрутов доставки грузов с использованием системы ГЛОНАСС в течение 7...10 произвольно выбранных дней каждого сезона. Изначально будет исследовано порядка 100 участков дорог. Измерения будут производиться на 20 маршрутах в день по каждому участку. Таким образом будет получено и обработано порядка 80000 наборов данных. Постепенно база данных будет пополняться и обновляться. Авторы рекомендуют обновлять данные раз в три года.

Таким образом, авторы разработали математическую модель, которая позволяет оптимизировать организацию доставки груза с учетом различных факторов: пройденного транспортным средством пути, вероятной скорости продвижения транспортного средства в зависимости от качества дороги, интенсивности потока транспортных средств, погодных условий. На основе модели планируется создание системы поддержки принятия решений по формированию оптимального маршрута логистического продвижения груза. В настоящее время разработан алгоритм и информационно-логическая модель системы.

Библиографический список

1. *Старкова Н.О., Саввиди С.М., Сафонова М.В.* Тенденции развития логистических услуг на современном мировом рынке // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 85 (01). С. 428—437.

2. Logistics Performance Index. International LPI // World Bank official site. Режим доступа: http://lpi.worldbank.org/international. Дата обращения: 27.04.2015.

3. EU Logistics Action Plan. 2007 // European Commission official site. Режим доступа: http://ec.europa.cu/transport/logistics/indcx_cn.html. Дата обращения: 22.04.2015.

4. *Хаиров Б.Г.* Формирование отношений властных и предпринимательских структур региона на принципах логистического администрирования // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. Вып. 5 (27). С. 148—152.

5. *Старкова Н.О., Рзун И.Г., Успенский А.В.* Исследование зарубежного опыта формирования логистических систем // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 99 (05). С. 1062—1085.

6. *Кизим А.А.* Эффективность складской логистики на основе WMS-систем // Экономика устойчивого развития. 2013. № 13. С. 134—142.

7. *Дружинин П.В., Пономарев А.Я., Кабанов А.Н.* Модернизация системы транспортной логистики, сервиса и аутсорсинга региональных градостроительных систем // Технико-технологические проблемы сервиса. 2011. № 4 (18). С. 82—87.

8. *Олейников Д.А.* Кластерный подход к организации инвестиционно-строительного комплекса региона: логистический аспект // Интеграл. 2011. № 5. С. 70—71.

9. *Litman Todd.* Towards more comprehensive and multi-modal transport evaluation // VTPI. Режим доступа: http://www.vtpi.org/comp_evaluation.pdf. summarized in JOURNEYS, September 2013, pp. 50—58 (www.ltaacademy.gov.sg/journeys.htm).

10. *Litman Todd*. The new transportation planning paradigm // ITE Journal. 2013. Vol. 83. No. 6. Pp. 20—28. Режим доступа: http://digitaleditions.sheridan.com/publication/?i=161624.

11. *Шевченко К.И., Шевченко И.В., Пономаренко Л.В.* Региональный аспект инвестирования в транспортную отрасль в условиях глобализации // Экономика устойчивого развития. 2012. № 11. С. 223—229.

12. *Хаирова С.М.* Использование концепций логистики и инновационного подхода в управлении при формировании региональной транспортно-логистической системы // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2011. Вып. 4 (22). С. 85—88.

13. *Хаирова С.М.* Маркетинговое и логистическое обеспечение услуг транспортно-экспедиционных организаций региона // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. Вып. 2 (24). С. 136—140.

14. *Соколов С.С., Соколова М.А.* Экономико-математическая модель повышения прибыльности грузоперевозок // Региональная информатика (РИ — 2010) : тр. XII Междунар. конф) (г. Санкт-Петербург, 20—22 октября 2010 г.). СПб., 2010. С. 216.

15. *Ныркoв А.П., Вайгандт Н.Ю.* Контроль целостности данных при мониторинге транспортных средств // Журнал университета водных коммуникаций. 2013. Вып. 1 (17). С. 54—60.

16. *Jiwon Kim, Hani S.* Mahmassani. Compound Gamma representation for modeling travel time variability in a traffic network // Transportation Research Part B: Methodological. 2015. Vol. 80. Pp. 40—63.

17. *Amit Kumar, Srinivas Peeta.* A day-to-day dynamical model for the evolution of path flows under disequilibrium of traffic networks with fixed demand // Transportation Research Part B: Methodological. 2015. Vol. 80. Pp. 235—256.

18. *Omar J. Ibarra-Rojas, Ricardo Giesen, Yasmin A.* Rios-Solis. An integrated approach for timetabling and vehicle scheduling problems to analyze the trade-off between level of service and operating costs of transit networks // Transportation Research Part B: Methodological. 2014. Vol. 70. Pp. 35—46.

19. *Litman Todd.* The mobility-productivity paradox: exploring the negative relationships between mobility and economic productivity // Presented at the International Transportation Economic Development Conference, 9—11 April 2014, Dallas, Texas. Режим доступа: https://www.vtpi.org/ITED_paradox.pdf.

20. *Ныркова А.П., Соколова М.А., Соколов С.С.* Экономико-математические модели перегрузочных процессов на транспорте // Водный транспорт России: инновационный путь развития : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (6—7 октября 2010 г.). СПб. : СПГУВК, 2011. Т. 3. С. 136—139.

21. *Ныркова А.П., Соколов С.С., Ежгуров В.Н., Мальцев В.А.* Эффективные информационные модели транспортных процессов // Научные труды SWorld. 2012. Т. 13. Вып. 4. С. 38—42.

22. *Benedetto Barabino, Sara Salis, Bruno Useli.* Fare evasion in proof-of-payment transit systems: Deriving the optimum inspection level // Transportation Research Part B: Methodological. 2014. Vol. 70. Pp. 1—17.

23. *Jack Haddad, Mohsen Ramezani, Nikolas Geroliminis*. Cooperative traffic control of a mixed network with two urban regions and a freeway // Transportation Research Part B: Methodological. 2013. Vol. 54. Pp. 17—36.

24. *Xiaopeng Li, Xin Wang, Yanfeng Ouyang*. Prediction and field validation of traffic oscillation propagation under nonlinear car-following laws // Transportation Research Part B: Methodological. 2012. Vol. 46. Issue 3. Pp. 409—423.

25. *Du M., Cheng L., and Rakha H.* Sensitivity analysis of combined distribution-assignment model with applications // Transportation Research Record. 2012. No. 2284. Pp. 10—20.

26. *Govinda R. Timilsina and Hari B. Dulal*. Urban road transportation externalities: costs and choice of policy instruments // World Bank Research Observer. 2011. Vol. 26. No. 1. February. Pp. 162—191. Режим доступа: http://tinyurl.com/pnh6zpx.

27. *Kara Kockelman, T. Donna Chen and Brice Nichols*. The economics of transportation systems: A Reference for Practitioners. Center for Transportation Research. 2013. Режим доступа: www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/0_6628_P1.pdf.

28. *Аникина И.А., Шикульская О.М.* Анализ инструментария для логистических исследований // Инновационные информационные технологии : материалы международной научно-практической конференции (г. Прага, 23—27 апреля 2012 г.) / под ред. С.У. Увайсова. М. : МИЭМ, 2012. С. 505—508.

29. *Аникина И.А., Шикульская О.М.* Анализ методов, моделей и алгоритмов, применяемых в логистических исследованиях // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 1 (17). С. 82—87.

30. *Zaripova V., Petrova I.* System of conceptual design based on energy-informational model // Progress in Systems Engineering, Proceedings of the 23rd International Conference on Systems Engineering. August, 2014. Las Vegas, NV : Series: Advances in Intelligent Systems and Computing, 2015. Vol. 330. Pp. 365—373.

31. *Petrova I., Shikulskaya O., Shikulskiy M.* Conceptual modeling methodology of multifunction sensors on the basis of a fractal approach // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 875—877. Pp. 951—956.

32. *Аникина И.А., Шикульская О.М.* Оптимизация логистического продвижения грузов с учетом состояния и загруженности дорог // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (г. Сочи, 1—10 октября 2013 г.) / под ред. А.Н. Тихонова, С.У. Увайсова, И.А. Иванова. М. : МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. С. 508—510.

Поступила в редакцию в октябре 2015 г.

Об авторах: **Шикульская Ольга Михайловна** — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела научно-исследовательской деятельности, **Астраханский инженерно-строительный институт (ГАОУ АО ВПО «АИСИ»)**, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18, shikul@mail.ru;

Есмагамбетов Тимур Улыкманович — аспирант кафедры информационных технологий, **Астраханский государственный университет (АГУ)**, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20 а, timur198300@mail.ru.

Для цитирования: *Шикульская О.М., Есмагамбетов Т.У.* Решение оптимизационных задач транспортной логистики с учетом состояния и загруженности дорог // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 160—173.

O.M. Shikul'skaya, T.U. Esmagambetov

OPTIMIZING TRANSPORT LOGISTICS TAKING INTO ACCOUNT THE STATE OF ROADS AND ROAD TRAFFIC

The choice and use of rational routes at strict observance of deliveries terms help to achieve not only minimization of operational expenses, but also to reduce commodity and production stocks in warehouses by 1,5...2 times. Therefore special relevance is gained by the works allowing precisely calculating the volumes of a cargo transportation, to count the quantity of transport units necessary for providing cargo flow, to define the rational routes of transportation, and also to reduce total costs of transportation.

On the basis of the analysis of the known mathematical methods applied in transport logistics, the authors drew a conclusion that the route of freight delivery is estimated according to the distance passed by the vehicle. However the time of freight delivery depends not only on distance, but also on a set of other factors, such as vehicle type, road capacity, intensity of transport stream, weather conditions, season and others.

For taking note of additional factors when optimizing a freight delivery route the method of analogy and similarity is used by the authors. The transportation parameters were estimated by analogy with an electric chain. For this purpose the authors entered the new concepts "fictitious distance" and "conductivity of the road". The mathematical model allowing optimizing the organization of freight delivery taking into account not only distances, but also the probable speed of the vehicle movement depending on the road quality, intensity of transport stream and weather conditions is developed. Further development of the system of decision-making support while choosing the optimum route of cargo delivery is planned.

Key words: transport logistics, mathematical model, task optimization, route, cargo delivery, driving speed, transportation problem

References

1. Starkova N.O., Savvidi S.M., Safonova M.V. Tendentsii razvitiya logisticheskikh uslug na sovremennom mirovom rynke [Tendencies of the Development of Logistic Services in the Modern World Market]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Network Electronic Scientific Magazine of the Kuban State Agricultural University]. 2013, no. 85 (01), pp. 428—437. (In Russian)

2. Logistics Performance Index. International LPI. World Bank official site. Available at: http://lpi.worldbank.org/international. Date of access: 27.04.2015.

3. EU Logistics Action Plan. 2007. European Commission official site. Available at: http://ec.europa.cu/transport/logistics/indcx_cn.html. Date of access: 22.04.2015.

4. Khairov B.G. Formirovanie otnosheniy vlastnykh i predprinimatel'skikh struktur regiona na printsipakh logisticheskogo administrirovaniya [Formation of the Relations of Power and Enterprise Structures of the Region on the Principles of Logistic Administration]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy]. 2012, no. 5 (27), pp. 148—152. (In Russian)

5. Starkova N.O., Rzun I.G., Uspenskiy A.V. Issledovanie zarubezhnogo opyta formirovaniya logisticheskikh sistem [Research of the foreign experience of logistic systems formation]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Network Electronic Scientific Magazine of the Kuban State Agricultural University]. 2014, no. 99 (05), pp. 1062—1085. (In Russian)

6. Kizim A.A. Effektivnost' skladskoy logistiki na osnove WMS-sistem *sistem* [Efficiency of Warehouse Logistics on the Basis of WMS Systems]. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya* [Economy of the Sustainable Development]. 2013, no. 13, pp. 134—142. (In Russian)

7. Druzhinin P.V., Ponomarev A.Ya., Kabanov A.N. Modernizatsiya sistemy transportnoy logistiki, servisa i autsorsinga regional'nykh gradostroitel'nykh sistem [Modernization of a System of Transport Logistics, Service and Outsourcing of Regional Town-Planning Systems]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa* [Technical and Technological Problems of Service]. 2011, no. 4 (18), pp. 82—87. (In Russian)

8. Oleynikov D.A. Klasternyy podkhod k organizatsii investitsionno-stroitel'nogo kompleksa regiona: logisticheskiy aspekt [Cluster Approach to the Organization of an Investment and Construction Complex of the Region: Logistic Aspect]. Integral. 2011, no. 5, pp. 70—71. (In Russian)

9. Litman Todd. Towards More Comprehensive and Multi-Modal Transport Evaluation. VTPI. Available at: http://www.vtpi.org/comp_evaluation.pdf. Summarized in JOURNEYS, September 2013, pp. 50—58 (www.ltaacademy.gov.sg/journeys.htm).

10. Litman Todd. The New Transportation Planning Paradigm. ITE Journal. 2013, vol. 83, no. 6, pp. 20—28. Available at: http://digitaleditions.sheridan.com/publication/?i=161624.

11. Shevchenko K.I., Shevchenko I.V., Ponomarenko L.V. Regional'nyy aspekt investirovaniya v transportnuyu otrasl' v usloviyakh globalizatsii [Regional Aspect of Investment into Transport Branch in the Conditions of Globalization]. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya* [Economy of a Sustainable Development]. 2012, no. 11, pp. 223—229. (In Russian)

12. Khairova S.M. Ispol'zovanie kontseptsiy logistiki i innovatsionnogo podkhoda v upravlenii pri formirovanii regional'noy transportno-logisticheskoy sistemy [The Use of the Concepts of Logistics and Innovative Approach in Management When Forming Regional Transport and Logistic System]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy]. 2011, no. 4 (22), pp. 85—88. (In Russian)

13. Khairova S.M. Marketingovoe i logisticheskoe obespechenie uslug transportno-ekspeditsionnykh organizatsiy regiona [Marketing and Logistic Support of the Services of Forwarding Organizations of the Region]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy]. 2012, no. 2 (24), pp. 136—140. (In Russian)

14. Sokolov S.S., Sokolova M.A. Ekonomiko-matematicheskaya model' povysheniya pribyl'nosti gruzoperevozok [Economic-Mathematical Model of Profitability Increase of Cargo Transportation]. *Regional'naya informatika (RI — 2010) : trudy XII Mezhdunarodnoy konferentsii (g. Sankt-Peterburg, 20—22 oktyabrya 2010 g.)* [Regional Informatics (*RI-2010*)] : Materials of the 12th International Conference (Saint Petersburg, October 20—22, 2010)]. Saint Petersburg, 2010, p. 216. (In Russian)

15. Nyrkov A.P., Vaygandt N.Yu. Kontrol' tselostnosti dannykh pri monitoringe transportnykh sredstv [Control of Data Integrity When Monitoring the Vehicles]. *Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy* [Magazine of the University of Water Communications]. 2013, no. 1 (17), pp. 54—60. (In Russian)

16. Jiwon Kim, Hani S. Mahmassani. Compound Gamma Representation for Modeling Travel Time Variability in a Traffic Network. Transportation Research Part B: Methodological. 2015, vol. 80, pp. 40—63. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2015.06.011.

17. Amit Kumar, Srinivas Peeta. A Day-To-Day Dynamical Model for the Evolution of Path Flows Under Disequilibrium of Traffic Networks with Fixed Demand. Transportation Research Part B: Methodological. 2015, vol. 80, pp. 235—256. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2015.07.014

18. Omar J. Ibarra-Rojas, Ricardo Giesen, Yasmin A. Rios-Solis. An Integrated Approach for Timetabling and Vehicle Scheduling Problems to Analyze the Trade-Off Between Level of Service and Operating Costs of Transit Networks. Transportation Research Part B: Methodological. 2014, vol. 70, pp. 35—46. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2014.08.010.

19. Litman Todd. The Mobility-Productivity Paradox: Exploring the Negative Relationships between Mobility and Economic Productivity. Presented at the International Transportation Economic Development Conference, 9—11 April 2014, Dallas, Texas. Available at: https://www.vtpi.org/ITED_paradox.pdf.

20. Nyrkov A.P., Sokolova M.A., Sokolov S.S. Ekonomiko-matematicheskie modeli peregruzochnykh protsessov na transporte [Economic-Mathematical Models of Reloading Processes on Transport]. *Vodnyy transport Rossii: innovatsionnyy put' razvitiya : sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (6—7 oktyabrya 2010 g.)* [Water Transport of Russia: Innovative Way of Development. Materials of the International Scientific and Practical Conference (October 6—7, 2010)]. Saint Petersburg, SPGUVK Publ., 2011, vol. 3, pp. 136—139. (In Russian)

21. Nyrkov A.P., Sokolov S.S., Ezhgurov V.N., Mal'tsev V.A. Effektivnye informatsionnye modeli transportnykh protsessov [Effective Information Models for Transport Processes]. *Nauchnye trudy SWorld* [Scientific Works of SWorld]. 2012, vol. 13, no. 4, pp. 38—42. (In Russian)

22. Benedetto Barabino, Sara Salis, Bruno Useli. Fare Evasion in Proof-Of-Payment Transit Systems: Deriving the Optimum Inspection Level. Transportation Research Part B: Methodological. 2014, vol. 70, pp. 1—17. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2014.08.001.

23. Jack Haddad, Mohsen Ramezani, Nikolas Geroliminis. Cooperative Traffic Control of a Mixed Network with Two Urban Regions and a Freeway. Transportation Research Part B: Methodological. 2013, vol. 54, pp. 17—36. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2013.03.007.

24. Xiaopeng Li, Xin Wang, Yanfeng Ouyang. Prediction and Field Validation of Traffic Oscillation Propagation under Nonlinear Car-Following Laws. Transportation Research Part B: Methodological. 2012, vol. 46, issue 3, pp. 409—423. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2011.11.003.

25. Du M., Cheng L., and Rakha H. Sensitivity Analysis of Combined Distribution-Assignment Model with Applications. Transportation Research Record. 2012, no. 2284, pp. 10—20. DOI: http://dx.doi.org/10—20. 10.3141/2284-02.

26. Govinda R. Timilsina and Hari B. Dulal. Urban Road Transportation Externalities: Costs and Choice of Policy Instruments. World Bank Research Observer. 2011, vol. 26, no. 1, February, pp. 162—191. Available at: http://tinyurl.com/pnh6zpx.

27. Kara Kockelman, T. Donna Chen,Brice Nichols. The Economics of Transportation Systems: A Reference for Practitioners. Center for Transportation Research, 2013. Available at: www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/0_6628_P1.pdf.

28. Anikina I.A., Shikul'skaya O.M. Analiz instrumentariya dlya logisticheskikh issledovaniy [The Analysis of Tools for Logistic Researches]. *Innovatsionnye informatsionnye tekhnologii : materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Praga, 23—27 aprelya 2012 g.)* [Innovative Information Technologies. Materials of the International Scientific and Practical Conference (Praha, April 23—27, 2012)]. Moscow, MIEM Publ., 2012, pp. 505—508. (In Russian)

29. Anikina I.A., Shikul'skaya O.M. Analiz metodov, modeley i algoritmov, primenyaemykh v logisticheskikh issledovaniyakh [Analysis of the Methods, Models and Algorithms Applied in Logistic Researches]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Magazine: Management and High Technologies]. 2012, no. 1 (17), pp. 82—87. (In Russian)

30. Zaripova V., Petrova I. System of Conceptual Design Based on Energy-Informational Model. Progress in Systems Engineering, Proceedings of the 23rd International Conference on Systems Engineering. August, 2014, Las Vegas, NV, Series: Advances in Intelligent Systems and Computing, 2015, vol. 330, pp. 365—373. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-08422-0_54.

31. Petrova I., Shikulskaya O., Shikulskiy M. Conceptual modeling methodology of multifunction sensors on the basis of a fractal approach. Advanced Materials Research. 2014, vol. 875—877, pp. 951—956. DOI: http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.875-877.951.

32. Anikina I.A., Shikul'skaya O.M. Optimizatsiya logisticheskogo prodvizheniya gruzov s uchetom sostoyaniya i zagruzhennosti dorog [Optimization of Logistic Freights Transportation Taking Into Account a State and Traffic of Roads]. *Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologiy : materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Sochi, 1—10 oktyabrya 2013 g.)* [Innovations on the Basis of Information and Communication Technologies. Materials of the 10th International Scientific and Practical Conference (Sochi, October 1—10, 2013)]. Moscow, MIEM NIU VShE Publ., 2013, pp. 508—510. (In Russian)

About the authors: **Shikul'skaya Ol'ga Mikhaylovna** — Doctor of Technical Science, Professor, chief research worker, Department of Research Activity, **Astrakhan Institute of Civil Engineering (AICE)**, 18 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation; shikul@mail.ru;

Esmagambetov Timur Ulykmanovich — postgraduate student, Department of Information Technologies, **Astrakhan State University (ASU)**, 20a Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russian Federation; timur198300@mail.ru.

For citation: Shikul'skaya O.M., Esmagambetov T.U. Reshenie optimizatsionnykh zadach transportnoy logistiki s uchetom sostoyaniya i zagruzhennosti dorog [Optimizing Transport Logistics Taking into Account the State of Roads and Road Traffic]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 12, pp. 160—173. (In Russian)