

13. Daneev A.V., Rusanov V.A., Sharpinskii D.Yu. Nestatsionarnaya realizatsiya Kalmana-Mesarovicha v konstruksiyakh operatora Releya-Rittsa [Unsteady Kalman-Mesarovich implementation in the constructions of the Rayleigh-Ritz operator]. *Kibernetika i sistemnyi analiz* [Cybernetics and System Analysis], 2007, No. 1, pp. 82–91.

14. Szykh V.N., Mukhopad A.Yu. Assotsiativnyi avtomat adaptivnogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami na osnove neironnykh setei [The associative automaton of adaptive control of technological processes on the basis of neural networks]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Herald of Novosibirsk State Technical University], 2014, No. 1 (54), pp. 34–45.

15. Szykh V.N. Iteratsionno-relaksatsionnyi metod nelineinogo sinteza regulyatorov [The iterative-relaxation method of nonlinear synthesis of controllers]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Telemechanics], 2005, No. 6, pp. 47–58.

16. Mukhopad Yu.F., Pashkov NN, Szykh V.N. Adaptivnyi podkhod k neironnomu upravleniyu odnim klassom absolyutno ustoychivyykh sistem [An adaptive approach to neural control of one class of absolutely stable systems]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2011, No. 8-1, pp. 139–147.

17. Daneev A.V., Rusanov V.A., Rusanov M.V., Szykh V.N. K aposteriornomu modelirovaniyu nestatsionarnyykh giperbolicheskikh sistem [On a posteriori modeling of non-stationary hyperbolic systems]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2018, Vol. 20, No. 1 (81), pp. 106–113.

18. Szykh V.N. Iteratsionno-relaksatsionnyi metod priblizhenno-optimal'nogo sinteza regulyatorov [The iterative-relaxation method of approximate optimal synthesis of regulators]. *Doklady Akademii Nauk* [Papers of the Academy of Sciences], 2000, Vol. 371, No. 5, pp. 574–576.

19. Ageev A.M., Szykh V.N. Sintez optimal'nykh regulyatorov sistemy upravleniya samoletom cherez reshenie obratnoi zadachi AKOR [Synthesis of optimal controllers for an airplane control system by solving the inverse problem of analytical design of optimal controllers]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Herald of Novosibirsk State Technical University], 2014, No. 3 (56), pp. 7–22.

Информация об авторах

Данеев Алексей Васильевич – д. т. н., профессор кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: daneev@mail.ru

Данеев Роман Алексеевич – к. т. н., доцент кафедры информационно-правовых дисциплин, Восточно-Сибирский институт МВД России, г. Иркутск, e-mail: romasun@mail.ru

Сизых Виктор Николаевич – д. т. н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: szykh_vn@mail.ru

Information about the authors

Aleksei V. Daneev – Doctor of Engineering Science, Professor of the Subdepartment of Information Systems and Information Protection, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: daneev@mail.ru

Roman A. Daneev – Associate Professor of the Subdepartment of Information and Legal Disciplines, East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, e-mail: romasun@mail.ru

Viktor N. Szykh – Doctor of Engineering Science, Professor of the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: szykh_vn@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).150-157

УДК 656.2

Модель оптимизации работы городских логистических систем с учетом стратегии краткосрочного планирования

О. А. Лебедева✉

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

✉ kravhome@mail.ru

Резюме

Городская логистика направлена на решение задач экономического и социального развития городских грузовых перевозок. Основная цель исследования заключается в изучении отдельных заинтересованных сторон и решения поставленной задачи как компонента интегрированной логистической системы. Это подразумевает координацию грузоотправителей, перевозчиков и маршрутов следования, а также объединение отправок грузов нескольких клиентов и перевозчиков в одном и том же транспортном средстве. Городская логистика стремится оптимизировать системы городского транспорта. Общая цель планирования работы системы городской логистики – это эффективная эксплуатация системы при одновременном обеспечении спроса с минимально возможным воздействием на условия городского движения, что соответствует классической цели тактического планирования для систем грузовых перевозок с консолидацией. Статья направлена на решение задачи интегрированного краткосрочного планирования операций и управления ресурсами для общего случая, включающего двухуровневую структуру распределения. Общая цель исследования состоит в том, чтобы уменьшить влияние движения грузовых транспортных средств на условия жизни населения (снизить заторы и повысить мобильность) с минимизацией ущерба для городской социально-экономической деятельности. Более узкой целью является контроль за грузовыми транспортными средствами, работающими в городской черте, и сокращение их количества посредством повышения эффективности грузоперевозок и уменьшения порожних поездок. Общая математическая форму-

лировка задачи дает возможность получения вариантов перспективных путей решения и позволяет осуществить разработку методологических подходов для использования в планировании.

Ключевые слова

городская логистика, грузовые перевозки, комплексное краткосрочное планирование и управление, проектирование транспортной сети, маршрутизация

Для цитирования

Лебедева О. А. Модель оптимизации работы городских логистических систем с учетом стратегии краткосрочного планирования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 150–157. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).150-157

Информация о статье

поступила в редакцию: 02.03.2020, поступила после рецензирования: 15.03.2020, принята к публикации: 25.03.2020

The model of optimization of work of urban logistic systems taking into account the short-term planning strategy

O. A. Lebedeva✉

Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

✉ kravhome@mail.ru

Abstract

Urban logistics is aimed at solving the problems of economic and social development of urban freight transportation. The main objective of the study is to study individual stakeholders and solve the problem as a component of an integrated logistic system. This implies the coordination of shippers, carriers and routes, as well as the consolidation of shipments of goods of several customers and carriers in the same vehicle. Urban logistics seeks to optimize urban transport systems. The general goal of planning the work of the urban logistics system is the efficient operation of the system while ensuring demand with the least possible impact on urban traffic conditions, which corresponds to the classical goal of tactical planning for consolidated freight transportation systems. The article is aimed at solving the problem of integrated short-term planning of operations and resource management, for the general case, including a two-level distribution structure. The overall objective of the study is to reduce the impact of the movement of freight vehicles on the living conditions of the population (reduce congestion / increase mobility) while minimizing damage to urban socio-economic activities. More specifically, the goal is to control and reduce the number of freight vehicles operating in the city, by increasing the efficiency of freight transportation and reducing the number of empty journeys. The general mathematical formulation of the problem makes it possible to obtain options for promising solutions and allows the development of methodological approaches for use in planning.

Keywords

urban logistics, freight transport, integrated short-term planning and management, transport network design, routing

For citation

Lebedeva O. A. Model' optimizatsii raboty gorodskikh logisticheskikh sistem s uchetom strategii kratkosrochnogo planirovaniya [The model of optimization of work of urban logistic systems taking into account the short-term planning strategy]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 66, No. 2, pp. 150–157. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).150-157

Article Info

Received: 02.03.2020, Revised: 15.03.2020, Accepted: 25.03.2020

Введение

Экономическая и социальная составляющая в функционировании городской среды связана с процессом транспортировки, способствующим удовлетворению потребностей населения. К таким потребностям относят: снабжение магазинов, доставку сотрудников к месту приложения труда и отдыха, транспортировку товаров, работу жилищно-коммунальных хозяйств. Практически все предприятия, расположенные в городской среде, нуждаются в перемещении товаров. Тем не менее грузовые перевозки также являются серьезным фактором, мешающим городской жизни. Грузовые транспортные

средства конкурируют с личными и общественными, снижая пропускную способность улиц, загрязняя окружающую среду [1–4]. Статистические данные мирового масштаба свидетельствуют о том, что грузовые транспортные средства занимают около 30 % пропускной способности городских улиц во Франции, причем две трети от этого числа составляют припаркованные транспортные средства, осуществляющие доставку. В Лондоне одни из самых высоких показателей по выбросам веществ в атмосферу приходится на грузовые перевозки. Эти факторы влияют на качество жизни городского населения, производительность работы предприятий, рас-

положенных в городских зонах, и цепочки поставок с их участием. Количество грузовых транспортных средств в городской черте, растет быстрыми темпами. Основными факторами, способствующими этому, являются практика производства и распределения, основанная на низких запасах и своевременных поставках, а также стремительный рост электронной торговли, который генерирует значительные объемы индивидуальных поставок [5–10].

Особенности грузовых перевозок

Решение задач, посвященных проблемам городских грузовых перевозок берет начало с 1970-х гг. Этот период связан с регулированием дорожного движения в городах, ограничивающим влияние грузовых перевозок на автомобильное движение путем сокращения количества транспортных средств большой грузоподъемности. С 1975 г. до конца 1980-х гг. отмечается низкая активность. Следующий этап с 1990 г. связан с проблемами дорожного движения и ознаменован проведением обследований дорожного движения, деятельностью по сбору данных, исследовательскими проектами и экспериментами. Первоначальные разработки проходили в основном в странах Европейского союза и Японии. Исследования позволяли произвести количественную оценку городских грузовых перевозок, в частности, с низкой нагрузкой на транспортные средства и большим количеством порожних ездов. Анализ исследований по городской логистике показал, что оптимизация распределения, приведет к уменьшению количества грузовых транспортных средств и более эффективному их использованию. Интеграция инфраструктуры может улучшить работу транспортных систем и сократить движение грузового транспорта. Основными направлениями деятельности городской логистики является консолидация и координация. Деятельность по консолидации проводится в городских транспортных терминалах, где транспортные средства дальнего следования осуществляют погрузку / разгрузку груза, затем товар сортируют и распределяют. Распределительные центры могут быть автономными объектами, расположенными рядом с городскими или кольцевыми автомагистралями, или частью воздушных, железнодорожных или навигационных терминалов. Распределительные центры могут рассматриваться как интермодальные платформы с расширенными функциональными возможностями для обеспечения скоординированных и эффективных грузовых перевозок в городской черте. Таким образом, терминалы являются важным шагом на пути организации городских грузовых перевозок.

Общая цель исследования состоит в том, чтобы уменьшить влияние движения грузовых транспортных средств на условия жизни населения (снизить заторы и выбросы, повысить мобильность) с минимизацией ущерба городской социально-

экономической деятельности. Более узкой целью является контроль и сокращение количества грузовых транспортных средств, работающих в городской черте, посредством повышения эффективности грузоперевозок и сокращения количества порожних поездок, рассматривая каждую партию, предприятие и транспортное средство как компоненты интегрированной логистической системы. Современная логистика нацелена на анализ, планирование и управление интегрированными и скоординированными физическими и электронными потоками в потенциальную партнерскую сеть. Именно с этой точки зрения термин «городская логистика» подчеркивает необходимость оптимизированной консолидации товаров различных грузоотправителей и перевозчиков в одном и том же транспортном средстве для координации перевозок в городской среде.

Основная часть

Общая цель планирования работы системы городской логистики – это эффективная эксплуатация при одновременном обеспечении спроса с минимально возможным воздействием на условия городского движения, что соответствует классической цели тактического планирования для систем грузовых перевозок [11–13]. Грузовые перевозки достаточно часто осуществляются в зависимости от спроса на перевозку, а не на регулярной основе, поэтому необходимо применять, кроме аналоговых алгоритмов и методы случайного планирования [14, 15].

Поэтому относительно данного вида перевозок чаще всего решаются задачи краткосрочного планирования. Процесс планирования направлен на удовлетворение требований грузоотправителей с оптимальным выбором транспортного средства, графика отправления, маршрутизации в режиме реального времени [16–22].

Для решения этой задачи рассмотрим модель двухуровневой системы городской логистики, где спрос удовлетворяется за счет интегрированной деятельности двух транспортных систем. Таким образом, модели краткосрочного планирования включают в себя два основных компонента. Первый касается времени отправления городского транспорта, т. е. расписания и маршрутов. Второй касается вопросов маршрутизации и составления расписания городских грузовых перевозок для обеспечения своевременной доставки товаров.

Изначально задается структура логистической системы, где установлены пункты потребления и их характеристики; грузоотправители и грузополучатели; транспортные коридоры; типы, количество и характеристики транспортных средств; спрос и дополнительные потребности обрабатываются в режиме реального времени. Известны характеристики спроса – объем, тип товара, временной интервал для доставки груза грузополучателю. Внедрен электронный

бизнес, обеспечивающий сбор данных, связанных с транспортной загрузкой, производится эффективный обмен информацией между участниками.

Планирование выполняется для $t = 1, \dots, T$ периодов. Период планирования является относительно небольшим, в большинстве случаев до 12 ч. Для упрощения процесса моделирования принимаем: не более одного отъезда в течение исследуемого периода (исключим определение неотрицательных целочисленных переменных) и время разгрузки для городских транспортных средств – целые кратные длины периода. Пусть $\delta(\Gamma)$ – время, необходимое для разгрузки индивидуального транспортного средства или высадки пассажиров из общественного транспорта типа Γ , а $\delta(v)$ – время загрузки (при условии непрерывной работы) грузового транспорта типа v . Время в пути изменяется с условиями движения в конкретной городской зоне и зависимости от часа суток. В зависимости от последнего аспекта может изменяться и маршрут с учетом правил дорожного движения и загрузки улично-дорожной сети. Поэтому предполагаем, что время прохождения $\delta_{ij}(t)$ между всеми парами точек i, j (отправления, назначения) в системе основано на данных статистики или моделирования.

Предлагаемый подход заключается в определении типов подвижного состава с идентификацией грузов, которые могут перевозиться на одном транспортном средстве.

Рассмотрим набор транспортных организаций $R = \{r\}$. Организация r управляет транспортным средством типа $(\tau) \in \Gamma$, и отправляет подвижной состав во внешнюю зону $e(r) \in \varepsilon$, транспортировка включает доставку до одного или нескольких объектов и возврат в зону $\bar{e}(r)$, возможно отличную от $e(r)$. Упорядоченный набор объектов, включенных в маршрут, обозначается

$\sigma(r) = \{s_i \in S, i = 1, \dots, |\sigma(r)|\}$, так, что если r посещает объект i перед объектом j , то $i < j$. Стоимость, связанная с эксплуатацией услуги $r \in R$, обозначается $k(r)$ и включает денежные затраты на транспортировку с учетом непредвиденных затрат в случае транспортных заторов на участках маршрута.

Определяется маршрут в городской улично-дорожной сети с учетом подъездных путей и транспортных коридоров $\sigma(r)$. Пусть $t(r)$ – период, когда подвижной состав покидает место стоянки $e(r)$ для выполнения заказа. Затем транспортное средство прибывает к первому объекту на своем маршруте $s_1 \in \sigma(r)$ в период $t_1(r) = t(r) + \sigma_{e(r)s_1(r)}(t(r))$, что составляет время, необходимое для прохождения соответствующего расстояния с учетом заторов в период $t(r)$. Транспортное средство покидает объект в период $t_1(r) + \delta(t)$ после доставки груза. График обслуживания

r задается набором $\{t_i(r), i = 0, 1, \dots, |\sigma(r)| + 1\}$, где $t_0(r) = t(r)$, $t_i(r) = t_{i-1}(r) + \sigma(r) + \sigma_{s_{i-1}(r)s_i(r)}(t(r))$ и $i > 0$, то период, когда автомобиль достигает объекта $s_i \in \sigma(r)$, а завершает поездку во внешней зоне $\bar{e}(r)$ в период $t_{|\sigma(r)|+1}$.

Пусть $W = \{w\}$ – набор допустимых сегментов для городских грузовых перевозок. Сегмент $w \in W(v)$ для городского грузового транспорта типа $v(w) \in V$, $W = U_v W(v)$ запускается в период $t(w)$ на первом объекте и последовательно производится объезд других пунктов маршрута. Упорядоченный набор точек объезда обозначается $\sigma(w) = \{s_l \in S, l = 1, \dots, |\sigma(w)|\}$, так что если w посещает объект l до объекта j , то $l < j$. На каждом объекте маршрута грузовой транспорт принимает товар для доставки группе клиентов $C_l(w)$. Обозначим в качестве части маршрута $leg\ l$ сегмент, который начинается с объекта s_l , обслуживает клиентов $C_l(w)$, а затем переходит к объекту s_{l+1} (или в гараж $g(w)$, когда объект s_l последний в очередности объезда $\sigma(w)$). Набор $L(w)$ содержит все пути проезда маршрута в сегменте w , отсортированные в том же порядке, что и $\sigma(w)$.

Ниже показан сегмент, где st и (gt) – пары (объект, период) и (g, t) (гараж, период) соответственно: $s_1 = s$, $s_2 = s'$ и $s_2 \in \sigma(w)$ и $C_1(w) = \{i, k, j, \dots, f\}$ и $C_2(w) = \{a, b, c, \dots, d\}$.

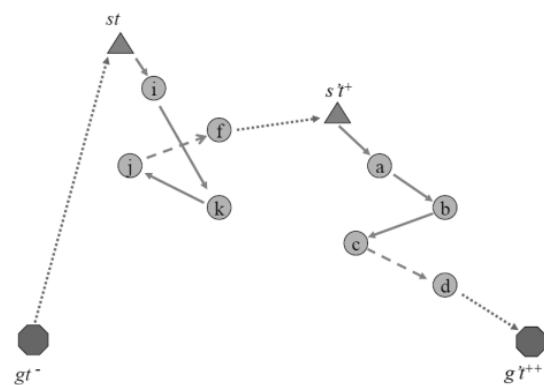


Рис. Взаимодействие двух видов городского транспорта (индивидуального и общественного) с грузовым. Взаимодействие индивидуального и общественного транспорта с грузовым
Fig. Interaction of two types of urban transport (individual and public). Interaction of individual and public transport with freight transport

Пунктирные линии обозначают поступление из склада (не входящего в исследуемый сегмент), порожний пробег от первого объекта ко второму и нулевой пробег от последней точки до гаража. Пусть $t_1(w)$ – период, когда городские грузовые перевозки осуществляются в сегменте w , объекта $s_1 \in (w)$. Пусть $\delta_l(w)$, $l \in L(w)$ – общее время, необходимое для обслуживания клиентов $C_l(w)$, а также поездки от последнего клиента к следующему объекту в сегменте (или гаражную службу), когда $l = |\sigma(w)|$. Затем приводится график работы сегмента $w \in W(v)$ по множеству $\{t_l(w), l = 0, 1, \dots, |\sigma(w)| + 1\}$, где время начала работы равно времени прибытия на первый объект в последовательности $t(w) = t_1(w)$ и $t_l(w) = t_{l-1}(w) + \delta(v) + \delta_l(w)$, $l = 2, \dots, |\sigma(w)| + 1$, с периодом времени пребывания автомобиля в гаражную службу $t_{|\sigma(w)|+1}(w) = t(g(w))$; $t_0(w)$ – время выезда из гаражной службы. Общая продолжительность (без нулевого пробега из гаража) сегмента $w - \sigma(w)$.

Задание на перевозку $h \in H(v)$ ($H = U_v H(v)$) из последовательности сегментов $\sigma(h) = \{w_i \in W(v), i = 1, \dots, |\sigma(h)|\}$, где время между двумя транспортировками в разных сегментах включает время отстоя в гараже. Множество всех маршрутов включенных в путевой лист, обозначается $C_1(h) = U_{w \in (h)} C_1(w)$. Затраты на эксплуатацию грузового транспорта обозначаются соответственно как $k_1(w)$, $k(w)$ и $k(h)$, где $k(h) = \sum_{w \in (h)} k(w)$ и $k(w) = \sum_{l \in L(w)} k_1(w)$. «Фиксированная» стоимость включена в $k(w)$ для учета проезда вне зависимости от величины сегмента. Аналогичная стоимость включена в $k(h)$, чтобы учесть время ожидания на складах между объездом двух сегментов. Груз перевозится из внешних зон (других городов) к клиентам по маршрутам, каждый из которых состоит из транспортировки, перегрузочной операции на объекте и окончательного распределения по маршруту на грузовом подвижном составе меньшей грузоподъемности. Пусть $M(d) = \{m\}$ – набор маршрутов, которые могут использоваться для удовлетворения спроса клиентов $d \in D$. Движение по маршруту $m \in M(d)$ выполняется в соответствии с расписанием, отправленные

происходит из внешней зоны $e(d) \in \varepsilon$ в городских транспортных средствах $r(m) \in R$ при $t_e(m) = t(r(m)) > t(d)$; прибытие на объект $s(m) \in \sigma(r(m))$ в период $t_s^{in}(m) = t_{s(m)}(r(m))$; учет факта, что транспортировка осуществляется вместе с нагрузками от других клиентов $C_{l(w(h(m)))}(w(h(m)))$ из сегмента $l(h(m))$ в сегмент $w(h(m))$ задания $h(m) \in H(v)$; отклонение от $s(m)$ в период $t_s^{out}(m) = t_{l(w(h(m)))}(w(h(m))) + \delta(v)$; и прибытие к конечному клиенту $c(d)$ в соответствии с графиком. Типы транспортных средств $r(r(m)) \in T(p(d))$ и $V \in (p(d))$ соответствуют спросу $p(d) \in P$.

Когда клиенты располагаются во внешней зоне, транспортные средства могут быть отправлены непосредственно в данный сегмент. В таком случае обслуживание аналогично случаю одноуровневых систем городской логистики, и маршруты не включают компонент городского транспорта. Производится выбор маршрута и графика работы. Для упрощения модели считается, что все маршруты включают услугу r_0 из внешней зоны (при ее отсутствии данный параметр равен нулю). Это эквивалентно предположению, что каждая внешняя зона включает в себя виртуальный объект, обслуживаемый маршрутом r_0 . Определены три набора переменных для выбора услуг:

- $p(r) = 1$, если услуга $r \in R$ выбрана, 0 в противном случае;
- $\varphi(h) = 1$, если задание $h \in H(v)$ выполняется, 0 в противном случае;
- $\xi(m) = 1$, если используется маршрут $m \in M(d)$ спроса $d \in D$, 0 в противном случае.

Целью формулировки является минимизация количества транспортных средств в городской черте при одновременном удовлетворении спроса двух логистических объектов:

$$\text{minimize } k(r)p(r) + \sum_{h \in H} k(h)\varphi(h). \quad (1)$$

Целевая функция (1) вычисляет общую стоимость эксплуатации системы как сумму затрат на выбранные городские транспортные услуги:

$$\sum_{d \in D} \sum_{m \in M(d,r)} \text{vol}(d)\tau(m) \leq u_r p(r), \quad r \in R. \quad (2)$$

Соотношение (2) направлено на ограничение пропускной способности, когда загрузка каждой услуги $r \in R$ равна сумме объемов перевозки всех маршрутов:

$$\sum_{d \in D} \sum_{m \in M(d,r)} vol(d) \xi(m) \leq u_v \varphi(h),$$

$$l \in C_l(w), h \in H. \quad (3)$$

Аналогичным образом ограничение (3) обеспечивает пропускную способность городского грузового транспорта на каждом участке: $M(d, l, h) = \{m \in M(d) / l(h(m)) = l, l \in C_l(h)\}$, $h \in H$. Эти ограничения являются принудительными при проектировании сети:

$$\sum_{m \in M(d)} \xi(m) = 1, d \in D \quad (4)$$

Уравнение (4) показывает, что каждое условие должно быть удовлетворено одним маршрутом. Для каждого объекта s и периода t определяется набор транспортных средств $R(s, t) = \{r \in R \mid s \in \sigma(r) \text{ и } t_s(r) = t\}$, которые достигают объекта s в период t , и набор маршрутов грузового транспорта $H(s, t) = \{h \in H / s \in (w)\}$, которые загружаются на объекте s в период $tw \in \sigma(h)$ и $ts(w) = t$.

$$\sum_{t-\delta(\tau)+1, r \in R(s,t)} p(r) \leq \pi_s, s \in S, t = 1, \dots, T; \quad (5)$$

$$\sum_{t-\delta(\tau)+1, h \in H(s,t)} \varphi(r) \leq \lambda_s, s \in S, t = 1, \dots, T. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) обеспечивают ограничение пропускной способности и для индивидуального и общественного транспорта, и для грузовых автомобилей соответственно. Согласованность одновременно присутствующих на объектах транспортных средств обеспечивается наложением спроса на маршрут:

$$\sum_{h \in H(v)} \varphi(h) \leq n_v, v \in V. \quad (7)$$

Выражение (7) ограничивает количество одновременно выполняемых перевозок доступным количеством транспортных средств каждого типа.

Заключение

Городская логистика является одним из вариантов сбалансированного распределения грузовых перевозок в городской черте, а также позволяет решить экологические, социальные и экономические задачи, связанные с данным видом деятельности.

Основная идея заключается в скоординированной доставке грузов от грузоотправителей к грузополучателям через средства консолидации – городские распределительные центры. Исследование посвящено процессу оптимизации и интегрированному краткосрочному планированию и управлению ресурсами на примере двухуровневой системы городской логистики. В такой системе распределительные центры используют для перегрузки грузов с транспортных средств большей грузоподъемности на автомобили меньшей грузоподъемности, так как их проезд возможен в городской черте. Решение задачи выбора маршрутов и планирования отправок для транспортных средств двух логистических систем возможно при строгой координации и временной синхронизации, которая, относится к классу многоуровневых, неоднородных проблем маршрутизации с заданным временным промежутком. Общая математическая формулировка задачи, дает возможность получения вариантов перспективных путей решения и позволяет осуществить разработку методологических подходов для использования в планировании.

Список литературы

1. Лебедева О.А., Крипак М.Н. Моделирование грузовых перевозок в транспортной сети // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2016. № 10. С. 182–184.
2. Антонов Д.В., Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149–155.
3. Лебедева О.А., Крипак М.Н. Развитие городских грузовых систем с учетом концепции городского планирования / Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. Т. 1. № 1. С. 244–247.
4. Полтавская Ю.О. Применение геоинформационных систем для обеспечения устойчивого развития транспортной системы города / В сборнике: Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине Сборник научных трудов VI Международной научной конференции. Под редакцией О.Г. Берестневой, В.В. Спицына, А.И. Труфанов, Т.А. Гладковой. 2019. С. 164–167.
5. Полтавская Ю.О. Оптимизация транспортной сети на основе минимума общих затрат на доставку грузов // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 178–183.
6. Шаров М.И., Михайлов А.Ю., Дученкова А.В. Пример оценки транспортной доступности с использованием программного продукта РТВ «VISUM» // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2013. № 1(4). С. 133–138.
7. Лебедева О.А. Анализ проектирования транспортных зон на основе моделирования сети // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 172–177.
8. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Иванков А.Н. Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2011. 176 с.
9. Lebedeva, O., Kripak, M., Gozbenko, V. Increasing effectiveness of the transportation network through by using the automation of a Voronoi diagram. Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. Pp. 427–433.
10. Crainic T.G., Gendreau M. and Potvin J.-Y. Intelligent Freight-Transportation Systems: Assessment and the Contribution of Operations Research. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2008. forthcoming.

doi:10.1016/j.trc.2008.07.002.S. Bera and K.V. Krishna Rao “Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art”, *European Transport*, 2011. No. 49. Pp. 3–23.

11. Crainic T.G. Network Design in Freight Transportation. *European Journal of Operational Research*, 2000. No. 122(2). Pp. 272–288.

12. Crainic T.G. and Florian M. National Planning Models and Instruments. *INFOR*, 2008. No. 46(4). Pp. 81–90.

13. Гозбенко В.Е., Иванков А.Н., Колесник М.Н., Пашкова А.С. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажира и грузопотоков. Депонированная рукопись № 330-B2008 17.04.2008.

14. Кузьмин О.В., Леонова О.В. О полиномах Тушара. В сборнике: Асимптотические и перечислительные задачи комбинаторного анализа сборник научных трудов. Печатается по решению редакционно-издательского совета Иркутского государственного университета. Иркутск, 1997. С. 101-109.

15. Кузьмин О.В., Старков Б.А. Бинарные матрицы с арифметикой треугольника Паскаля и символные последовательности. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Математика. 2016. Т. 18. С. 38-47.

16. L. Dablanc. Goods Transport in Large European Cities: Difficult to Organize, Difficult to Modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(3):280–285, 2007.

17. Desrosiers J., Dumas Y., Solomon M.M. and Soumis F. Time Constrained Routing and Scheduling. In M. Ball, Magnanti T.L., Monma C.L. and Nemhauser G.L., editors, *Network Routing*, volume 8 of *Handbooks in Operations Research and Management Science*, pages 35–139. North-Holland, Amsterdam, 1995.

18. Friedrich M., Haupt T. and K. Nökel. Freight Modelling: Data Issues, Survey Methods, Demand and Network Models. presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, 2003.

19. Gentili M. Visiting a Network of Services with Time Constraints. *Computers & Operations Research*, 2003. No. 30(8). Pp. 1187–1217.

20. Kohler U. An Innovating Concept for City-Logistics. In *Proceedings 4th World Congress on Intelligent Transportation Systems*, Berlin (CD ROM), 1997.

21. Magnanti T.L. and Wong R. Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms. *Transportation Science*, 1984. No. 18(1). Pp. 1–55.

22. Лебедева О.А., Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К. Моделирование транспортной сети с учетом компрессионной оценки матрицы корреспонденций. Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2019. № 4 (51). С. 28-33.

References

1. Lebedeva O.A., Kripak M.N. Modelirovanie gruzovykh perevozok v transportnoi seti [Modeling of freight traffic in the transport network]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Angarsk State Technical University], 2016, No. 10, pp. 182–184.

2. Antonov D.V., Lebedeva O.A. Osnovnye printsipy razvitiya transportnykh sistem gorodov [Basic principles of development of urban transport systems]. *Vestnik Angarskoi gosudarstvennoi tekhnicheskoi akademii* [Bulletin of Angarsk State Technical Academy], 2014, No. 8, pp. 149–155.

3. Lebedeva O.A., Kripak M.N. Razvitie gorodskikh gruzovykh sistem s uchetom kontseptsii gorodskogo planirovaniya [Development of urban cargo systems taking into account the concept of urban planning]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Collection of scientific papers of Angarsk State Technical University], 2016, Vol. 1, No. 1, pp. 244–247.

4. Poltavskaya Yu.O. Primenenie geoinformatsionnykh sistem dlya obespecheniya ustoychivogo razvitiya transportnoi sistemy goroda [Application of geographic information systems to ensure sustainable development of the city's transport system]. V sbornike: *Informatsionnye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noi sfere i meditsine. Sbornik nauchnykh trudov VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [In the collection: Information technologies in science, management, social sphere and medicine. Collection of scientific papers of the VI International scientific conference]. In Berestneva O.G., Spitsyn V.V., Trufanov A.I., Gladkova T.A. (eds.) 2019, pp. 164–167.

5. Poltavskaya Yu.O. Optimizatsiya transportnoi seti na osnove minimuma obshchikh zatrat na dostavku gruzov [Optimization of the transport network based on the minimum total cost of cargo delivery]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Angarsk State Technical University], 2019, No. 13, pp. 178–183.

6. Sharov M.I., Mikhaylov A.Yu., Duchenkova A.V. Primer otsenki transportnoi dostupnosti s ispol'zovaniem programmnoy produkta PTV “VISUM” [An example of assessing transport accessibility using the PTV "VISUM" software product]. *Izv. vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [News of universities. Investments. Building. Property], 2013, No. 1(4), pp. 133–138.

7. Lebedeva O.A. Analiz proyektirovaniya transportnykh zon na osnove modelirovaniya seti [Analysis of the design of transport zones based on network modeling]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Angarsk State Technical University], 2019, No. 13, pp. 172–177.

8. Gozbenko V.Ye., Kripak M.N., Ivankov A.N. Sovershenstvovanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev [Improvement of freight forwarding services for cargo owners]. *Irkutsk: IrGUPS Publ.*, 2011, 176 p.

9. Lebedeva O.A., Kripak M.N., Gozbenko V.E. Increasing effectiveness of the transportation network through by using the automation of a Voronoi diagram. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 427–433.

10. Crainic T.G., Gendreau M. Potvin J.-Y. Intelligent Freight-Transportation Systems: Assessment and the Contribution of Operations Research. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2008. forthcoming, doi:10.1016/j.trc.2008.07.002.

11. Crainic T.G. Network Design in Freight Transportation. *European Journal of Operational Research*, 2000, No. 122(2), pp. 272–288.
12. Crainic T.G. and Florian M. National Planning Models and Instruments. *INFOR*, 2008, No. 46(4), pp. 81–90.
13. Gozbenko V. E., Ivankov A. N., Kolesnik M. N., Pashkova A. S. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchedom moshchnosti passazhiro i gruzopotokov. Deponirovannaya rukopis' No. 330-V2008 17.04.2008 [Methods of forecasting and optimizing the transport network, taking into account the capacity of passenger and cargo flows. Deposited manuscript No. 330-V2008 April 17, 2008].
14. Kuz'min O. V., Leonova O. V. O polinomakh Tushara. [On the Touchard polynomials]. *Asimptoticheskie i perechislitel'nye zadachi kombinatornogo analiza sbornik nauchnykh trudov* [Asymptotic and enumerative problems in combinatorial analysis, collection of scientific works]. Published by the decision of the editorial and publishing council of Irkutsk State University. Irkutsk, 1997, pp. 101-109.
15. Kuz'min O. V., Starkov B. A. Binarnye matritsy s arifmetikoi treugol'nika Paskalya i simvol'nye posledovatel'nosti. [Binary matrices with Pascal's triangle arithmetic and symbolic sequences]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Mathematics], 2016, Vol. 18, pp. 38-47.
16. Dablanc L. Goods Transport in Large European Cities: Difficult to Organize, Difficult to Modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2007, No. 41(3), pp. 280–285.
17. Desrosiers J., Dumas Y., Solomon M.M. and Soumis F. Time Constrained Routing and Scheduling. In Ball M., Magnanti T.L., Monma C.L. and Nemhauser G.L. (eds.) *Network Routing*, volume 8 of *Handbooks in Operations Research and Management Science*, pages 35–139. North-Holland, Amsterdam, 1995.
18. Friedrich M., Haupt T. and K. N'okel. Freight Modelling: Data Issues, Survey Methods, Demand and Network Models. Presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, 2003.
19. Gentili M. Visiting a Network of Services with Time Constraints. *Computers & Operations Research*, 2003, No. 30(8), pp. 1187–1217.
20. Kohler U. An Innovating Concept for City-Logistics. In *Proceedings 4th World Congress on Intelligent Transportat Systems*, Berlin (CD ROM), 1997.
21. Magnanti T.L. and Wong R. Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms. *Transportation Science*, 1984, No. 18(1), pp. 1–55.
22. Lebedeva O. A., Gozbenko V. E., Kargapol'tsev S. K. Modelirovanie transportnoi seti s uchedom kompressionnoi otsenki matritsy korrespondentsii [Transport network modeling, taking into account the compression estimation of the correspondence matrix]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State University of Railway Transport], 2019, No. 4 (51), pp. 28-33.

Информация об авторах

Лебедева Ольга Анатольевна – к. т. н., доцент, доцент кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: kravhome@mail.ru

Information about the authors

Ol'ga A. Lebedeva – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Assoc. Prof. at the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: kravhome@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).157-163

УДК 656.073.9

К вопросу о необходимости проведения сравнительной оценки беспилотного грузового транспортного средства методом критериального анализа

А. А. Доронина, Д. А. Поночевный ✉

Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ ivc.engec@mail.ru

Резюме

В статье проводится сравнение беспилотных грузовиков методом критериального анализа, позволяющего количественно и качественно оценить различные модели беспилотных транспортных средств в российских реалиях. Были оценены такие показатели, как мощность транспортного средства, степень его автономности, тип двигателя, грузоподъемность, запас хода, стоимость модели и др. Предметом исследования выбран метод критериального анализа, объектом исследования – грузовой беспилотный транспорт. Поставленная задача решается в работе путем применения современных методов анализа и сбора данных (наблюдение, аналитический, структурно-функциональные и системные методы, а также сравнительный анализ), а также различных методов с использованием моделей искусственного интеллекта после оценки специфики российского рынка грузоперевозок. На сегодняшний день сущность перевозочного процесса сводится к необходимости подготовки определенного набора данных для их четкого ранжирования и более точной обработки. Проведенное исследование по оценке наиболее оптимального варианта при выборе беспилотного транспортного средства