

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>  
Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>  
URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/124TVN614.pdf>  
DOI: 10.15862/124TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/124TVN614>)

**УДК 519.6, 656.022.1**

**Мартынова Юлия Алексеевна**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Россия, Томск<sup>1</sup>  
Ассистент  
E-Mail: [martynova@tpu.ru](mailto:martynova@tpu.ru)

**Мартынов Ярослав Андреевич**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Россия, Томск  
Ассистент  
E-Mail: [martynovya@tpu.ru](mailto:martynovya@tpu.ru)

## **Формализация задачи организации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта**

---

<sup>1</sup> 634034, г. Томск, ул. Советская, 84/3, Институт кибернетики ТПУ

**Аннотация.** Пассажирский транспорт относится к числу важнейших отраслей жизнеобеспечения города, от функционирования которого зависят качество жизни населения, эффективность работы отраслей экономики города и возможность использования ее градостроительного и социально-экономического потенциала. За последние годы во многих городах России значительно изменилась структура спроса на пассажирские перевозки, а также вырос уровень автомобилизации населения, что привело к значительной загрузке улично-дорожной сети. Все это предопределяет необходимость оптимизации стихийно сложившейся системы городского пассажирского транспорта, не отвечающей потребностям сегодняшнего дня. В данной статье на основе анализа работ в области построения рациональных маршрутных сетей пассажирского транспорта выделено три основных подхода, определены их недостатки и достоинства. В качестве наиболее эффективного выбран подход частичной автоматизации и дальнейшей экспертной оценки полученных результатов. Однако, для применения этого подхода требуется формализация задачи и разработка конкретных алгоритмов, которые в дальнейшем смогут быть применены на практике. Также в статье приводится обзор численных методов решения транспортных задач и в качестве примера подробно рассмотрен алгоритм муравьиных колоний.

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт; маршрутная сеть; задача маршрутизации транспорта; метаэвристические численные методы; алгоритм муравьиных колоний.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Мартынова Ю.А., Мартынов Я.А. Формализация задачи организации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6  
<http://naukovedenie.ru/PDF/124TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI:  
10.15862/124TVN614

Развитие городов определяется взаимосвязью роста городских территорий, численности населения, планировки и размещения различных функциональных зон. Уровень развития городов зависит от организации и технических возможностей транспортных систем. Создание эффективной транспортной системы города – это сложная комплексная проблема, включающая ряд задач, различных по значимости, сложности и трудоемкости, среди которых определение маршрутов движения ГПТ, обоснование типа, вида и количества подвижного состава по каждому маршруту, распределение маршрутов по перевозчикам, разработка расписания и оптимизация режимов движения на маршруте и т.д.

Формирование маршрутной сети является важным этапом разработки эффективной транспортной системы города [1]. От того, насколько рационально разработана маршрутная сеть, насколько удачно и гармонично она интегрирована в транспортную сеть города, зависят удовлетворение населения перевозками и эффективность работы транспортных компаний. Под маршрутной сетью подразумевается совокупность всех маршрутов движения пассажирского транспорта на территории города, района и т.д. Маршрут движения, в свою очередь, представляет собой путь движения транспортного средства между начальным и конечным остановочными пунктами в соответствии с расписанием.

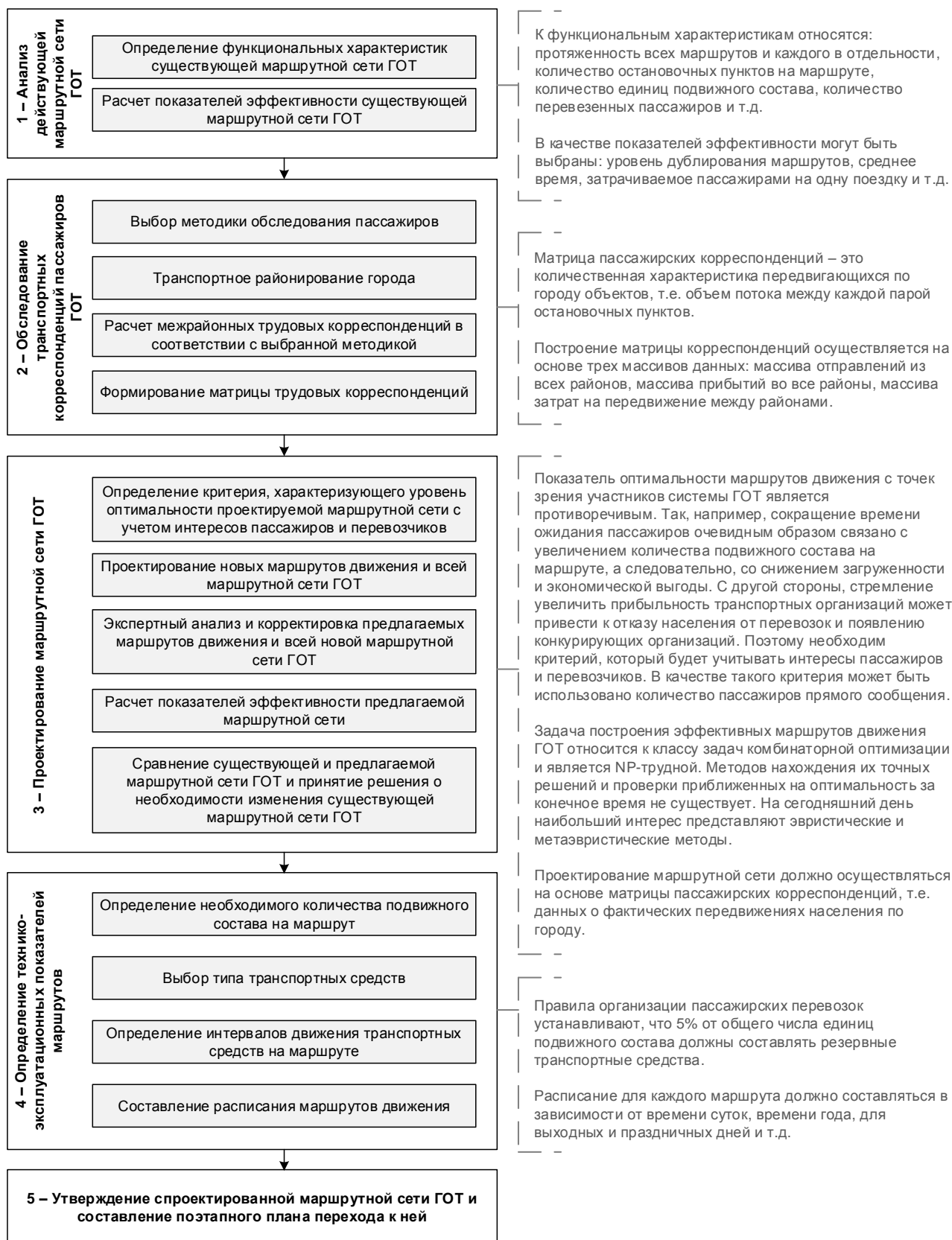
В нашей стране вопросами развития городского транспорта и городских путей сообщения начали интересоваться еще в конце XIX века. Одни из первых работ в данной области принадлежат Гиршсону Г.А., Зильберталю А.Х., Александрову А.П., Бронштейну Л.А., Полякову А.А., Ларионову В.С. [2-4]. Подводя итог работам того периода, можно сделать вывод, что основное внимание исследователей уделено формированию комплекса требований, предъявляемых к маршрутным схемам. Методы построения маршрутов движения и рекомендации по формированию маршрутных сетей в работах того периода рассмотрены поверхностно, сформулированы лишь общие положения по их проектированию. Однако уже тогда, авторы сформулировали предположение, что для удовлетворения потребностей городского населения в перевозках, формирование сети маршрутов должно происходить на основе данных о фактических перемещениях населения по территории города, т.е. матрице пассажирских корреспонденций. Также в работах того периода впервые сформулированы критерии оптимизации городских маршрутных сетей, среди которых – кратчайший путь между начальным и конечным пунктом маршрута, минимальное время, затрачиваемое на перемещения всеми пассажирами и т.д.

В середине XX века с развитием экономико-математических методов начался новый этап в формировании научных знаний о функционировании систем городского пассажирского транспорта. Наиболее известными авторами этого периода являются Геронимус Б.Л., Джумаев Д., Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущев М.В., Болоненков В.Г., Либерман С.Ю., Спиринов И.В., Глик Ф.Г., Блатнов М.Д., Ольховский С.Ю., Яворский В.В. и др. [5-10].

На основе анализа работ многих исследователей предложена обобщающая методика формирования рациональной маршрутной сети города (рисунок 1) [11], позволяющая практически полностью удовлетворить потребности населения в поездках. Применение такой методики для крупного города с плотной застройкой позволит организовать эффективную маршрутную систему, сглаживающую транспортные проблемы города.

Все существующие подходы к проектированию рациональных маршрутных сетей ГПТ можно разделить на три группы:

- Автоматизированное проектирование маршрутов пассажирского транспорта на основе формализованных математических моделей;
- Частичная автоматизация процесса построения маршрутов пассажирского транспорта, и экспертная оценка результатов специалистом;
- Принятие решений на основе опыта и неформализованного анализа экспертов.



*Рис. 1. Методика проектирования маршрутной сети городского общественного транспорта (ГОТ)*

Применение жестко формализованных математических моделей дает оптимальное решение с точки зрения строго заложенного в программу алгоритма, однако при таком подходе невозможно учесть сложившиеся в городе традиции и привычки пассажиров, экологическую обстановку и другие требования, не поддающиеся формальному описанию. Поэтому наиболее эффективным считается второй подход, при котором эксперт проводит анализ полученных результатов и принимает окончательное решение.

Основой всего проектирования являются определение величины пассажиропотоков по направлениям транспортных корреспонденций, в свою очередь определяемые на основе транспортных расчетных районов. Чем правильнее территория города разделена на транспортные районы, тем правильнее (точнее) величины пассажиропотоков. И, тем самым, в наибольшей степени маршрутная сеть общественного пассажирского транспорта отвечает потребностям населения города.

Для решения задачи проектирования маршрутных сетей ГПТ необходимо представить ее в виде математической модели.

Транспортную сеть опишем в виде ориентированного графа  $G(V, E)$ , где  $V$  – множество вершин (остановочные пункты),  $E$  – множество дуг сети (реальный участок дороги, связывающий остановочные пункты). Направление дуги определяет ход следования автотранспорта. Магистралы с двусторонним движением соответственно имеют парные противоположно ориентированные дуги.

При исследовании потокообразующих факторов во множестве вершин  $V$  выделим два подмножества: первое  $S \subseteq V$  содержит пункты, порождающие потоки, элементы множества  $S$  назовем источниками; второе  $D \subseteq V$  содержит пункты, поглощающие потоки, элементы множества  $D$  назовем стоками. Применительно к задаче моделирования потоков, порождаемых ежедневной трудовой миграцией для утренних часов пик, источниками являются спальные районы и пригороды, стоками – деловые районы города. Множество всех потокообразующих пар представим в виде декартова произведения  $W = \{w = (i, j) : i \in S, j \in D\}$ .

Каждой паре «источник-сток»  $w = (i, j) \in W$  соответствует свой спрос на перевозку  $\rho_w$  – общий объем пользователей, которые из пункта  $i$  должны прибыть в пункт  $j$ . Набор  $\{\rho_w : w \in W\}$  называется матрицей корреспонденций.

Путем (маршрутом) в сети  $G$ , соединяющим вершины  $i$  и  $j$ , назовем последовательность дуг  $e_1 = (i \rightarrow k_1), e_2 = (k_1 \rightarrow k_2) \dots e_l = (k_{l-1} \rightarrow k_l), e_{l+1} = (k_l \rightarrow j)$ , где  $e_t \in E$  при всех  $t = 1, \dots, l+1$ .

Предполагается отсутствие петель и циклов в маршрутах. Обозначим через  $P_w$  множество альтернативных маршрутов, следуя которым для каждой пары  $w = (i, j) \in W$  исходящий из источника  $i$  поток достигает стока  $j$ . Совокупность всех путей в сети  $G$  обозначим через  $P = \bigcup_{w \in W} P_w$ .

Пусть  $x_p$  – это величина потока идущего по пути  $p \in P$ . Традиционно для транспортных задач потоковые переменные должны быть неотрицательными и удовлетворять балансовым ограничениям. Поэтому для каждой пары  $w$  потоки  $x_p, p \in P_w$ , должны принадлежать

$$X_w = \{x_p \geq 0 : p \in P_w, \sum_{p \in P_w} x_p = \rho_w\}$$

множеству

Объединим величины  $x_p$  в вектор  $x = (x_p : p \in P)$ . Тогда допустимой областью для вектора  $x$  является множество, образованное как декартово произведение всех  $X_w$ :

$$X = \prod_{w \in W} X_w = \{ x \geq 0 : \sum_{p \in P_w} x_p = \rho_w, w \in W \} \quad (1)$$

Преодоление каждого из путей  $p \in P$  сопровождается некоторыми затратами (время, топливо, деньги, амортизация автомобиля, износ дороги и т.п.). Количественная характеристика таких затрат зависит от интенсивности и плотности движения в сети. Как правило, в моделях рассматриваются временные или финансовые затраты. Обозначим через  $G_p$  – удельные затраты пользователей на проезд по пути  $p$ . Поскольку на затраты по одному маршруту могут влиять загрузка других путей УДС, то в общем случае  $G_p$  представляют собой функции от загрузки всей сети, т.е.  $G_p = G_p(x)$ .

Решение подобных транспортных задач зачастую сводится к решению вариационных неравенств, а в частном случае оптимизационной задачи, что позволяет адаптировать численные методы для их решения.

В настоящее время известно достаточно много методов решения задачи маршрутизации транспорта. Задача маршрутизации транспорта является обобщением известной задачи коммивояжера, при котором необходимо построить сразу несколько замкнутых маршрутов, проходящих через некоторую общую вершину (депо). Эти задачи относятся к классу задач комбинаторной оптимизации и являются NP-трудными. Методов нахождения их точных решений и проверки приближенных на оптимальность за конечное время не существует. Существует точный алгоритм для решения задачи маршрутизации транспорта на основе метода ветвей и границ, но в силу быстрого роста времени вычислений его невозможно применять для задач с более чем 25-30 вершинами.

В последнее время наибольший интерес проявляется к приближенным алгоритмам (таблица 1). В начале 60-х годов XX века активное развитие получили эвристические методы, в наши дни, называемые классическими. В последние двадцать лет основные усилия были направлены на развитие так называемых метаэвристических методов. Эти методы не являются законченными эвристиками, готовыми для практического применения, они представляют собой некоторый метод для построения законченной эвристики для конкретной задачи. Большинство этих методов основаны на наблюдениях за живой и неживой природой. Их отличительная особенность заключается в способности преодоления точки локального оптимума для продолжения поиска, поэтому потенциально в сравнении с классическими эвристиками метаэвристические методы способны находить более качественные решения.

**Таблица 1**

**Приближенные методы решения задачи маршрутизации транспорта**

Тип метода	Классификация методов	Используемые алгоритмы
Эвристические (классические) методы	Конструктивные методы	– Алгоритм Кларка-Райта (Clarke and Wright); – Последовательный алгоритм вставки Моля-Джеймсона (Mole and Jameson); – Последовательный алгоритм вставки Кристофидеса-Мингоzzi-Тосса (Christofides, Mingozzi and Toth).
	Двухфазные методы	– Алгоритм заметания (sweep algorithm); – Алгоритм Фишера-Джекумера (Fisher and Jaikumar); – Алгоритм Брамела-Симчи-Леви (Bramel-Simchi-Levi); – Алгоритм лепестков.
	Улучшающие методы	– Оптимизация отдельных маршрутов; – Улучшение нескольких маршрутов.
Метаэвристические методы	Поиск с исключениями (Taboo search)	– Алгоритм Османа (Osman); – Алгоритм Генро-Герца-Лапорте (Taburoute); – Алгоритм Тейлорда (Taillard); – Алгоритм Ксю-Келли (Xu and Kelly); – Алгоритм Риго-Рокарола (Rego and Roucairol).
	Моделируемый отжиг (Simulated Annealing)	-
	Детерминированный отжиг (Deterministic Annealing)	– Пороговое принятие (Threshold accepting); – Ход от рекорда к рекорду (Record to record travel).
	Генетический алгоритм (Genetic algorithm)	-
	Алгоритм на основе муравьиных колоний (Ant Systems)	-
	Нейронные сети (Neural Network)	-

Одним из методов решения задач поиска оптимальных маршрутов на графах является алгоритм оптимизации подражанием муравьиной колонии, иначе Муравьиный алгоритм (англ. Ant Colony Optimization, ACO). Суть подхода заключается в использовании модели поведения муравьёв, ищущих путь от колонии к источнику пищи, и представляет собой метаэвристическую оптимизацию.

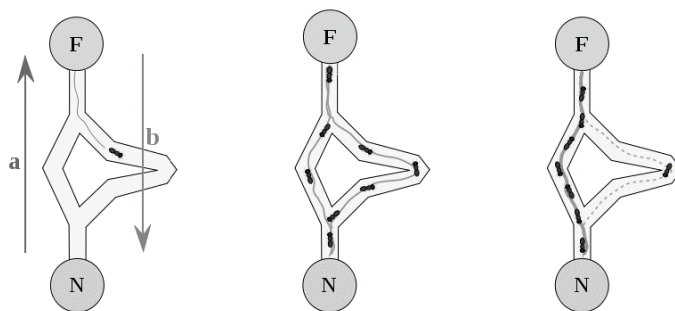
Отправной точкой в изучении алгоритма послужили эксперименты по изучению поведения реальных муравьёв, проводимые Госсом (1989 г.) и Денеборгом (1990 г.) [12]. Однако первым, кто формализовал поведение муравьёв и выработал стратегию решения для задачи о кратчайших путях, стал Марко Дориго (Университет Брюсселя, Бельгия, 1992 г.). Ему же приписывается авторство алгоритма [4].

Преимуществами данного алгоритма можно назвать высокую эффективность по сравнению с другими методами глобальной оптимизации (например, нейронные сети, генетические алгоритмы), адаптируемость и масштабируемость, а также гарантированную сходимость, что позволяет получить оптимальное решение независимо от размерности графа.

Муравьиный алгоритм относится к категории алгоритмов роевого интеллекта и моделирует поведение муравьиной колонии. Муравьи – это социальные насекомые, способные образовывать коллективы (колонии). Именно коллективная система позволяет эффективно решать задачи динамического характера, которые не могли бы быть выполнены отдельными элементами системы без наличия соответствующего внешнего управления и координации. Основу поведения муравьиной колонии составляет способность самоорганизации, позволяющая быстро адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и обеспечивающая достижение общих целей колонии на основе низкоуровневого взаимодействия.

Взаимодействие происходит посредством феромонов, которыми отдельные особи помечают пройденный ими путь. Чем больше феромонов, тем чаще используется тропа, что указывает на оптимальность маршрута с точки зрения его длины.

Рассмотрим поведение муравьев на конкретном примере (рисунок 2). Задача состоит в том, чтобы найти оптимальный путь от гнезда (N) до цели (источника пищи, F).



*Рис. 2. Поиск оптимального пути муравьиной колонией*

Логично предположить, что изначально муравьи будут обходить препятствие как слева, так и справа с равной вероятностью. Однако те представители колонии, которые случайно выберут кратчайший путь, преодолеют расстояние от начальной точки до цели и обратно за более короткий промежуток времени, а значит, за несколько передвижений этот путь больше обогатится феромонами. А поскольку ориентиром при движении для муравьев служит именно феромон, то путь с большей концентрацией будет выбран остальными членами колонии.

Муравьиный алгоритм можно описать следующей последовательностью действий [14]:

1. Создание муравьёв. Способ размещения муравьев является определяющим и зависит от условий задачи: все муравьи могут быть помещены в одну точку, либо в разные. Также в момент создания муравьев необходимо задать начальный уровень феромона, характеризующийся некоторым небольшим положительным числом. Это необходимо для обеспечения ненулевой вероятности перехода в следующую точку на начальном шаге.
2. Поиск решения. Маршрут представляет собой совокупность вершин графа. Вероятность перехода из вершины  $i$  в вершину  $j$  определяется по следующей формуле:



$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{h \notin tabu_k} \tau_{ih}^\alpha \cdot \eta_{ih}^\beta}, & \text{если } j \notin tabu_k \\ 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\tau_{ij}$  – количество феромона на ребре  $(i, j)$ , «обоняние» муравья;

$\eta_{ij}$  – привлекательность ребра  $(i, j)$ ,  $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ ,  $d_{ij}$  – расстояние между вершинами  $i$  и  $j$ , «зрение» муравья;

$\alpha, \beta$  – регулируемые параметры, определяющие важность составляющих (вес ребра и уровень феромонов) при выборе пути;

$tabu_k$  – список уже посещенных вершин, «память» муравья.

При  $\alpha = 0$  алгоритм вырождается в жадный, т.к. выбор ближайшей вершины производится без учета количества феромона. При  $\beta = 0$  выбор основывается только на величине феромона, не учитывается длина пути.

3. Обновление феромонов. После того, как все муравьи закончили свой путь, количество феромона должно обновиться. Этот процесс состоит из двух этапов: сначала необходимо уменьшить значение феромона на всех дугах на определенную константную величину, затем увеличить уровень феромона на тех ребрах, которые посещали муравьи.

Имитация испарения феромона производится по формуле:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \tau_{ij}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – параметр, контролирующий интенсивность испарения феромона.

Параметр  $\rho$  позволяет избежать бесконечного накопления феромонов на ребрах пути, что в свою очередь приведет к тому, что алгоритм не будет «забывать» плохие решения, полученные ранее. В случае если ребро не было выбрано муравьями, то связанный с ним уровень феромона с каждой итерацией будет экспоненциально уменьшаться.

После испарения, все муравьи изменяют уровень феромона на ребрах, которые они посетили. Для ребра  $(i, j)$  количество откладываемого феромона задается в виде:

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k, \quad (4)$$

где  $\Delta \tau_{ij}^k$  – количество феромона, откладываемого  $k$ -ым муравьем на ребре, которое он посетил.

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L, & \text{если ребро } (i, j) \in L \\ 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где  $Q$  – константа, искусственно добавляющая феромон;

$L$  – общая длина пройденного пути.

Согласно (5), чем лучше путь, тем больше феромона будет принадлежать ребрам этого пути. В общем случае, ребра, которые используются большим количеством муравьев и которые являются частью наиболее короткого пути, получают больше феромонов, и поэтому наиболее часто будут выбираться муравьями в следующих итерациях.

Этот итерационный процесс будет продолжаться до выполнения определенного условия завершения:

- выполнено заданное количество итераций;
- все заданное количество муравьев завершило поиск;
- достигнуто требуемое качество решения;
- истек квант процессорного времени.

### **Вывод**

Важнейшей составляющей транспортной инфраструктуры, во многом определяющей динамику развития современного города, является маршрутная система пассажирского транспорта. В процессе развития города его маршрутная система нуждается в периодическом пересмотре. Это может быть связано с многочисленными текущими изменениями в расселении жителей, сменой расположения мест приложения труда, модернизацией улично-дорожной сети города.

Перепроектирование маршрутной сети ГПТ (или разработка новой рациональной маршрутной сети) – трудоемкий процесс, включающий несколько этапов работ. Наиболее эффективным подходом решения данной задачи является ее автоматизация, но с участием эксперта, который проводит анализ полученных результатов и принимает окончательное решение. Однако автоматизация задач данной отрасли требует проведения научных исследований с целью их формализации и разработки алгоритмов, пригодных для использования на практике.

В статье приведено формальное математическое описание задачи проектирования маршрутной сети и на основе проведенного анализа численных методов их решения, сделан вывод, что наиболее перспективными на сегодняшний день являются метаэвристические методы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Харитонов В.А. К вопросу о путях решения транспортных проблем городской среды // Вестник МГСУ. – 2009. – №3. – С. 71-74.
2. Зильберталь А.Х. Трамвайное хозяйство. – М.: Гострансиздат. – 1932.
3. Зильберталь А.Х. Проблемы городского пассажирского транспорта. – М.: Гострансиздат. – 1937.
4. Александров А.П., Бронштейн Л.А., Поляков А.А. Городской пассажирский транспорт. – М., 1939. – 58 с.
5. Геронимус Б.Л. Математико-статистический метод выборочного обследования пассажиропотоков / Б.Л. Геронимус, Д.Д. Джумаев. – Автомобильный транспорт. – 1966. – №4, С. 43-44.
6. Антошвили М.Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / М.Е. Антошвили, Г.А. Варелопуло, М.В. Хрущев – М.: Транспорт, 1974. – 104 с.
7. Хрущев М.В. Методы общей и локальной маршрутизации автобусного транспорта в городах: монография / М.В. Хрущев. – М.: ГУУ, 1999. – 168 с.
8. Блатнов М.Д. Пассажирские автомобильные перевозки. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с.
9. Глик Ф.Г. Интерактивное конструирование маршрутной системы городского пассажирского транспорта // Градостроительство. – Вып. 39. – Киев: Будивельник, 1987. – С. 100–106.
10. Ольховский С.Ю. Моделирование функционирования и развития маршрутизированных систем городского пассажирского транспорта: монография / С.Ю. Ольховский, В.В. Яворский. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 138 с.
11. Мартынова Ю.А. Анализ опыта проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. - №2 (март-апрель).
12. S. Goss, S. Aron, J.L. Deneuborg, Self-organized shortcuts in the Argentine ant // Naturwissenschaften. – vol. 76, 1989. – P. 579-581.
13. M. Dorigo, Optimization, learning and natural algorithm, Ph.D. thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992.
14. M. Dorigo, Th. Stützle, Ant Colony Optimization, 2004. Massachusetts Institute of Technology, 306 pp.
15. Кочегурова Е.А., Мартынов Я.А., Мартынова Ю.А., Цапко С.Г., Алгоритм муравьиных колоний для задачи проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник СибГУТИ. 2014. № 3. С. 89 – 100.
16. Мартынова Ю.А. Анализ опыта проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Интернет-журнал Науковедение. 2014. №2 (21). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/65TVN214.pdf>
17. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия ТПУ. 2013. №5. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-sostavleniya-marshrutov-obschestvennogo-transporta-pri-sozdanii-avtomatizirovannoy-sistemy-podderzhki-prinyatiya>

В список литературы внесены правки 15.03.2017.

**Рецензент:** Цапко Сергей Геннадьевич, доцент, к.т.н., ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», институт кибернетики

**Martynova Yulia Alekseevna**

National Research Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk  
E-Mail: [martynova@tpu.ru](mailto:martynova@tpu.ru)

**Martynov Yaroslav Andreevich**

National Research Tomsk Polytechnic University  
Russia, Tomsk  
E-Mail: [martynovyaa@tpu.ru](mailto:martynovyaa@tpu.ru)

## Urban transit network design formalization

**Abstract.** Passenger transport is one of the most important branches of city life support, the functioning of which depend on the quality of life of the population, the efficiency of the economic sectors of the city and the use of its urban and socio-economic potential. In recent years, in many cities of Russia has changed the structure of demand for passenger transport, as well as the increased level of motorization of the population, which led to a significant load of the road network. All this predetermines the need to optimize the existing system of spontaneous urban passenger transport that does not meet the needs of today. In this, paper, based on the analysis of work in the field of construction of rational route networks of passenger transport is divided into three main approaches identified their advantages and disadvantages. The most effective approach is selected partial automation and further expert evaluation of the results. However, this approach requires a formalization of tasks and the development of specific algorithms, which subsequently can be applied in practice. The article also provides an overview of numerical methods for solving transport problems in detail as an example of the algorithm of ant colonies.

**Keywords:** urban passenger transport; transit (route) network; vehicle routing problem; meta-heuristic methods; ant colony algorithm.

## REFERENCES

1. Kharitonov V.A. K voprosu o putyakh resheniya transportnykh problem gorodskoy sredy // Vestnik MGSU. – 2009. – №3. – S. 71-74.
2. Zil'bertal' A.Kh. Tramvaynoe khozyaystvo. – M.: Gostransizdat. – 1932.
3. Zil'bertal' A.Kh. Problemy gorodskogo passazhirskogo transporta. – M.: Gostransizdat. – 1937.
4. Aleksandrov A.P., Bronshteyn L.A., Polyakov A.A. Gorodskoy passazhirskiy transport. – M., 1939. – 58 s.
5. Geronimus B.L. Matematiko-statisticheskiy metod vyborochnogo obsledovaniya passazhiropotokov / B.L. Geronimus, D.D. Dzhumaev. – Avtomobil'nyy transport. – 1966. – №4, S. 43-44.
6. Antoshvili M.E. Organizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozk s primeneniem matematicheskikh metodov i EVM / M.E. Antoshvili, G.A. Varelopulo, M.V. Khrushchev – M.: Transport, 1974. – 104 s.
7. Khrushchev M.V. Metody obshchey i lokal'noy marshrutizatsii avtobusnogo transporta v gorodakh: monografiya / M.V. Khrushchev. – M.: GUU, 1999. – 168 s.
8. Blatnov M.D. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki. – M.: Transport, 1981.– 222 s.
9. Glik F.G. Interaktivnoe konstruirovaniye marshrutnoy sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta // Gradostroitel'stvo. – Vyp. 39. – Kiev: Budivel'nik, 1987. – S. 100–106.
10. Ol'khovskiy S.Yu. Modelirovaniye funktsionirovaniya i razvitiya marshrutizirovannykh sistem gorodskogo passazhirskogo transporta: monografiya / S.Yu. Ol'khovskiy, V.V. Yavorskiy. – Omsk: Izd-vo SibADI, 2001. – 138 s.
11. Martynova Yu.A. Analiz opyta proektirovaniya ratsional'nykh marshrutnykh setey gorodskogo passazhirskogo transporta // Internet-zhurnal «Naukovedenie». – 2014. – №2 (mart-aprel').
12. S. Goss, S. Aron, J.L. Deneuborg, Self-organized shortcuts in the Argentine ant // Naturwissenschaften. – vol. 76, 1989. – P. 579-581.
13. M. Dorigo, Optimization, learning and natural algorithm, Ph.D. thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992.
14. M. Dorigo, Th. Stützle, Ant Colony Optimization, 2004. Massachusetts Institute of Technology, 306 pp.
15. Kochegurova E.A., Martynov Ya.A., Martynova Yu.A., Tsapko S.G., Algoritm murav'inykh koloniy dlya zadachi proektirovaniya ratsional'nykh marshrutnykh setey gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik SibGUTI. 2014. № 3. S. 89 – 100.
16. Martynova Yu.A Analiz opyta proektirovaniya ratsional'nykh marshrutnykh setey gorodskogo passazhirskogo transporta // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2014. №2 (21). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/65TVN214.pdf>
17. Kochegurova E.A., Martynova Yu.A. Optimizatsiya sostavleniya marshrutov obshchestvennogo transporta pri sozdanii avtomatizirovannoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy // Izvestiya TPU. 2013. №5. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-sostavleniya-marshrutov-obshchestvennogo-transporta-pri-sozdanii-avtomatizirovannoy-sistemy-podderzhki-prinyatiya>