



Декомпозиция задачи маршрутизации по эвристикам метода Кларка–Райта



Сергей ПРОСОВ
Sergey N. PROSOV

Екатерина КУЗЬМЕНКО
Ekaterina A. KUZMENKO



Просов Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия.

Кузьменко Екатерина Александровна – студентка Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия.

Decomposition of the Routing Problem based on the Clarke–Wright Heuristic Method

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 196)

Статья посвящена декомпозиции задачи маршрутизации транспорта по эвристическим оценкам метода Кларка–Райта. Предложена процедура проектирования развозочной автотранспортной системы по критерию минимизации суммарного общего пробега различными формализованными методами декомпозиции, в частности, с помощью алгоритма «функций выгоды» и формирования зон (кластеров, подмножеств, «кустов») обслуживания транспортного средства. Наглядно показаны преимущества предлагаемого метода по сравнению с методом «по матрице кратчайших расстояний» на примере доставки десяти единиц груза от поставщика десяти потребителям по одной грузовой единице. Эффект от сокращения суммарного пробега на построенных маршрутах составил 9,45 %.

Ключевые слова: задача маршрутизации транспорта, метод Кларка–Райта, «функция выгоды», кластер, метод декомпозиции, эвристическая оценка, матрица кратчайших расстояний.

Планированием перевозок мелкопартионных грузов занимается логистика транспорта. В общем понятии логистика – это планирование, контроль и управление транспортировкой, складированием и другими операциями, совершаемыми в процессе доведения сырья и материалов до предприятия, внутризаводской их переработки, доведения произведённой продукции до потребителя, а также передачей, хранением и обработкой сопутствующей информации.

Задачей транспортной логистики является обеспечение технической и технологической сопряжённости участников транспортного процесса, согласование их экономических интересов, использование единых систем планирования. При этом особое внимание планированию перевозок мелкопартионных грузов объясняется всё большим развитием торговых сетей, огромным количеством точек доставки. Такие перевозки обычно характерны для больших городов и имеют ряд особенностей:

- непостоянное обеспечение полной загрузки автотранспортного средства на всём пути следования;

- повышение тарифов перевозчиками из-за неполной загрузки подвижного состава;

- как правило, короткие расстояния между получателями на маршрутах;

- необходимость в повышенном внимании со стороны рабочих при комплектовании партий грузов;

- трудоёмкость выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Эти особенности обуславливают прежде всего высокие тарифы перевозок мелкопартионных грузов. На себестоимость транспортировки значительное влияние оказывают пути следования подвижного состава, протяжённость которых непосредственно зависит от степени компактности взаимного расположения потребителей в зоне обслуживания каждого автомобиля и очередности объезда корреспондирующих точек в сменно-суточных заданиях водителей. А отсюда и возрастает потребность в методиках маршрутизации транспорта, формирования рациональных маршрутов движения, позволяющих выполнять доставку грузов с наименьшей транспортной составляющей в конечной стоимости товаров.

Формулировка задачи маршрутизации звучит следующим образом: необходимо заданным парком подвижного состава эффективно доставить груз от отправителя к получателям с учётом заданных технических, технологических и организационных ограничений. В ходе решения задачи определяется схема рационального закрепления потребителей за поставщиком, при которой потребности грузополучателей будут полностью удовлетворены с минимальными транспортными издержками.

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ

При планировании перевозок используются точные и приближённые классы методов решения. Для получения точных результатов используются методы:

- перебора вариантов;
- линейного и динамического программирования;

- ветвей и границ.

Приближённые решения получают методами:

- случайного поиска;

- локальной оптимизации;

- эвристическими;

- эволюционными и прочими.

Для алгоритмов точных методов характерно получение оптимального результата по заданному критерию оптимизации, но за длительное время (часто несовместимое со временем, отведённым на сменно-суточное планирование). Поэтому такие методы применяются только при решении задач небольшой размерности и с небольшим числом (отсутствием) ограничений.

Что касается приближённых решений, то, безусловно, главным их недостатком является то, что точного решения они не дают, но это компенсируется быстротой расчётов для задач больших размерностей с множеством технических, технологических и организационных ограничений. Из класса приближённых методов на практике наибольшее применение находят эвристические и локальной оптимизации, каждый из которых способен показать наилучшую эффективность в решении задачи широким диапазоном факторов, задаваемых для планирования.

СМЕННО-СУТОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

В общем виде задача больших размерностей при сменно-суточном планировании развозочных маршрутов решается в три этапа.

На первом этапе осуществляют декомпозицию (разбиение) множества потребителей на подмножества (кластеры, зоны, наборы, «кусты»), в каждом из которых не нарушены предельные границы заданных ограничений. Далее перечислены существующие и предлагаемый формализованные и эвристические методы проведения декомпозиции задачи построения маршрутов в зависимости от заданных ограничений, критерия оптимизации и предполагаемого алгоритма решения:

- по карте местности, основанные на визуальной оценке приоритета включения пунктов в «куст»;

- по графу модели транспортной сети (МТС) и наименьшей сумме длин рёбер до включаемых в набор точек;

- по матрице кратчайших расстояний (МКР);

- по кратчайшей связывающей сети (КСС);



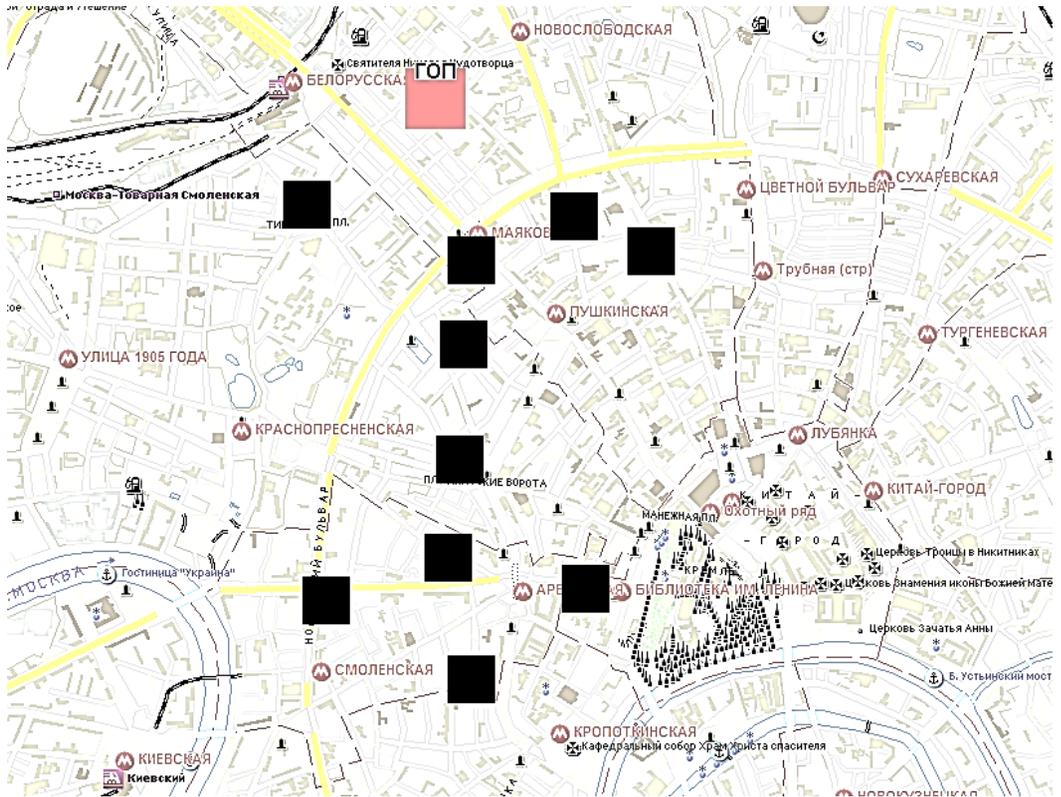


Рис. 1. Дислокация поставщика и потребителей грузов.

- по секторам с жёсткими территориальными границами, предварительно нанесёнными на схему (карту, план) района перевозок и обычно охватывающими центральную часть города и основные магистрали;
- по распределению на минимально возможное количество единиц подвижного состава всего объёма представленного к перевозке груза;
- методом Свира;
- по модели транспортной задачи линейного программирования;
- по набору пунктов в «кусты» с помощью эвристик метода «функций выгоды» (Кларка–Райта).

На втором этапе определяется очерёдность объезда пунктов в подмножествах (кластерах, зонах, «кустах»).

На третьем этапе формируются сменно-суточные задания водителям.

Очевидно, что эффективность решения задачи во многом зависит от выбранного метода декомпозиции, осуществляемого на первом этапе планирования, по степени компактности взаимного расположения потребителей в зоне обслуживания каж-

дого автомобиля и алгоритма формирования маршрутов объезда пунктов.

АЛГОРИТМ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Изложим процедуру действий на примере. Задан пункт производства однородных видов продукции (ГОП) и десять, плотно расположенных друг к другу, грузопоглощающих пунктов (ГПП) с объёмами потребления по одной единице груза (рис. 1). Грузоёмкость одного автомобиля пять грузовых единиц. Задана матрица кратчайших расстояний между точками. Необходимо сформировать по критерию минимума суммарного общего пробега систему развозочных маршрутов при доставке грузов из ГОП в ГПП.

Проведём решение задачи приёмом декомпозиции по матрице кратчайших расстояний. Вначале по МКР включается в «куст» наиболее удалённый от ГОП потребитель. К имеющемуся пункту добавляется второй, ближайший к нему, затем третий, имеющий наименьшее расстояние или от первого, или от второго. И так далее действия продолжаются для всех уже имеющихся в подмножестве грузополучателей

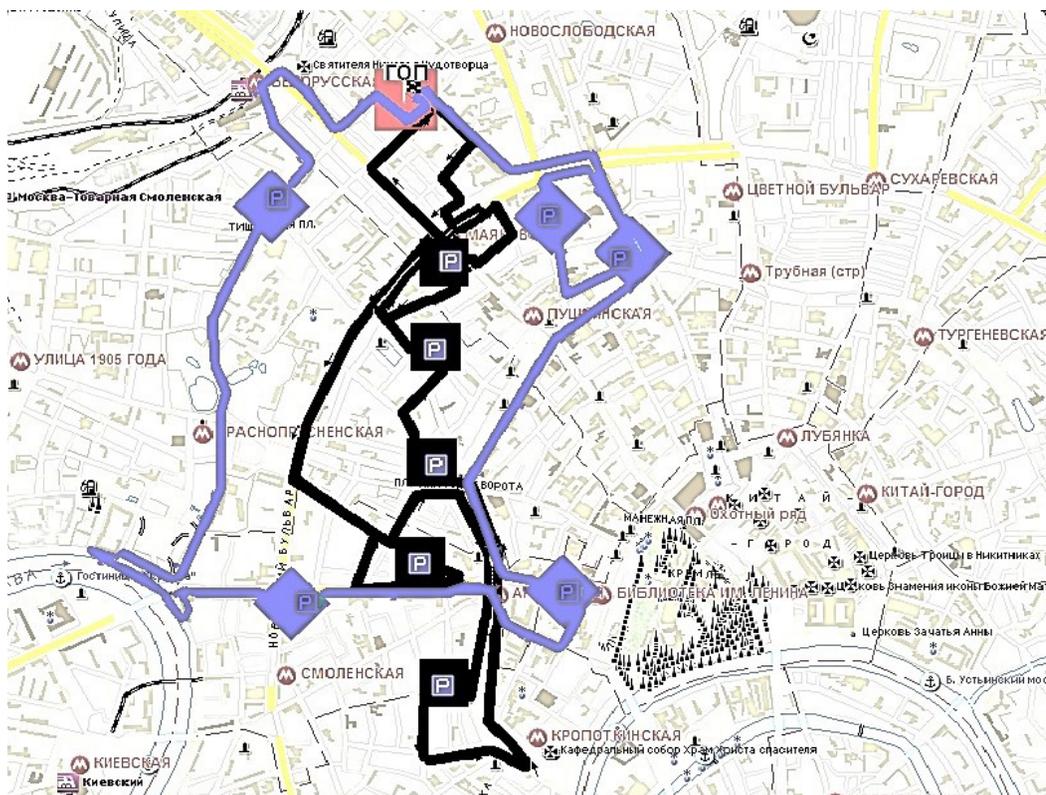


Рис. 2. Маршруты для «кустов», сформированных методом декомпозиции по матрице кратчайших расстояний.

по принципу минимального расстояния между точками с проверкой на удовлетворение заданным ограничениям.

В режиме сменно-суточного планирования маршрутов одним из сложных для реализации на этапе декомпозиции становится ограничение по времени оборота на маршрутах в сравнении с временем нахождения автомобилей в наряде. Предложено на каждом шаге построения «куста» осуществлять прогнозирование времени оборота будущего маршрута. Рационально эту операцию проводить по электронным атласам автодорог, имеющих в своём составе маршрутизатор для автоматической прокладки траектории движения по улицам и автодорогам с учётом организации дорожного движения. Таким образом, до включения потребителя груза в подмножество пунктов, планируемых к обслуживанию конкретным автомобилем, проверяется возможность расширения границ формируемой зоны обслуживания транспортного средства.

По завершению формирования «куста» переходят к построению маршрута выбран-

ном к использованию методом получения приближённого (точного) решения. При отсутствии ограничений на время доставки (временных окон) маршрут фактически уже построен на первом этапе планирования, а при наличии таковых может потребоваться корректировка с заменой части имеющихся в кластере ГПП. Рекомендуется до начала формирования «куста» предусмотреть резервное время нахождения автомобиля в наряде.

Применительно к данному примеру сформировано два маршрута с общим пробегом $L_{\text{общ}} = 15,3 + 14,33 = 29,6$ км (рис. 2). Наглядно видно, что представленное решение не рационально, так как в обеих траекториях движения содержатся значительно удалённые от ГОП точки, что приводит к необоснованным, завышенным значениям их суммарной протяжённости.

Далее проведём решение задачи приёмом декомпозиции по эвристикам метода Кларка–Райта. Дополнительно к исходной информации необходимо рассчитать матрицу эвристик (оценок, «функций выго-



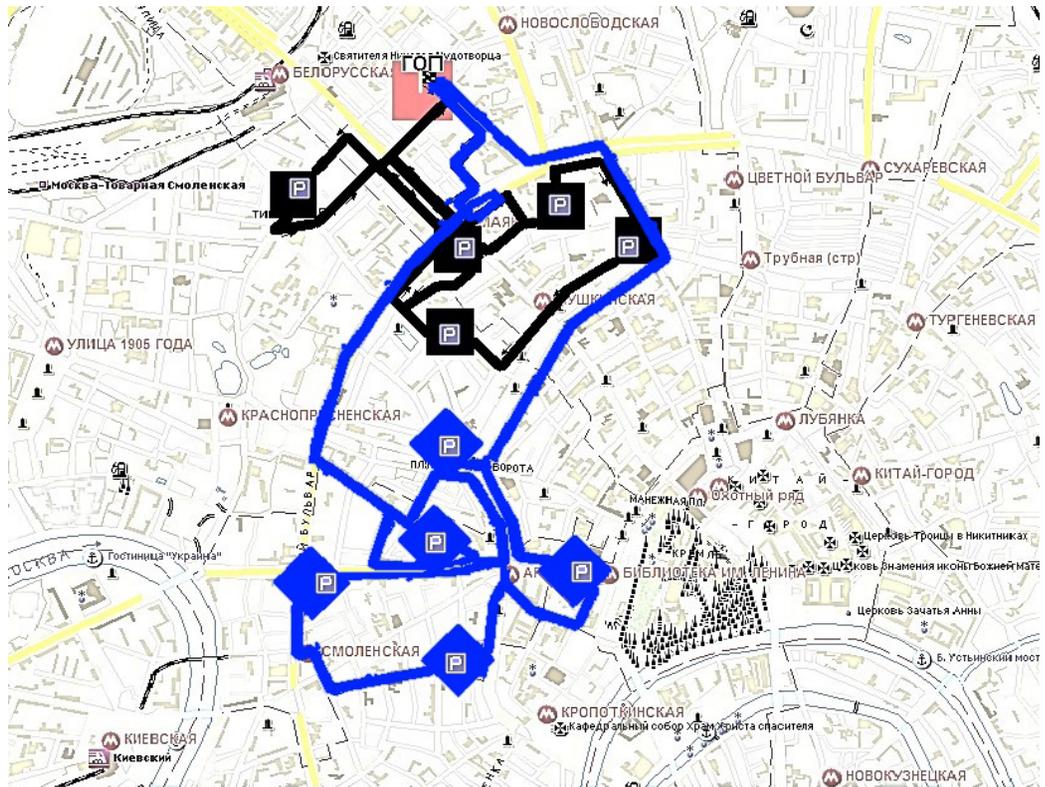


Рис. 3. Маршруты для «кустов», сформированных способом декомпозиции по эвристикам.

ды», выигрышей). Вначале, как и в первом случае, по МКР включается в «куст» наиболее удалённый от ГОП потребитель. К имеющемуся пункту добавляется вершина, объединение которой, в пару с уже включённой, имеет максимальную оценку. Затем с имеющимися в кластере двумя точками определяется пара с наибольшей оценкой или от объединения с первым пунктом, или со вторым. Потом из трёх ГПП, имеющих в «кусте», формируются пары вершин и определяется пункт с наибольшей оценкой. И так действия продолжают для всех уже находящихся в подмножестве грузополучателей по принципу максимального численного значения эвристики, а в случае равенства «функций выгоды», то и наименьшего расстояния между пунктами.

Подключение очередного потребителя груза в «куст» проводится после проверки на удовлетворение заданным техническим, технологическим и организационным ограничениям. В отличие от декомпозиции по матрице кратчайших расстояний, где необходимость включения точек в кластер оце-

нивается только взаимным расположением вершин относительно друг друга, предлагаемый метод учитывает и дислокацию пунктов по отношению к грузообразующему пункту. Формирование подмножества заканчивается, когда невозможно подключить очередной пункт без нарушения заданных ограничений или все ГПП обслужены.

В итоге сформировано два маршрута с пробегом $L_{\text{общ}} = 15,3 + 11,5 = 26,8$ км (рис. 3). Эффект от сокращения суммарного пробега для вновь сформированного сменно-суточного плана составляет 9,45 %.

На рассмотренном примере можно заметить, что применение эвристики метода Кларка–Райта может повысить эффективность решения задачи за счёт комплексной оценки расположения пунктов по отношению друг к другу и пункту производства продукции.

Для проверки алгоритма декомпозиции проведён тестовый расчёт для практической задачи сменно-суточного планирования.

Имеется один ГОП и 84 ГПП. Грузоподъёмность автомобиля — 1,5 т, время

погрузки — 30 мин., разгрузки — 12 мин., время нахождения автомобиля в наряде не нормировано (но не более 10 часов), время подготовительно-заключительных операций — 18 мин. Заданы массы доставляемых грузов и технические скорости в зависимости от расположения пунктов потребления на территории Москвы. Необходимо сформировать по критерию минимума суммарного общего пробега систему развозочных маршрутов при доставке грузов из ГОП в грузопоглощающие пункты.

Контрольный расчёт с использованием метода декомпозиции по матрице кратчайших расстояний показал, что следует иметь семь маршрутов доставки груза с общим пробегом 963,9 км. Расчётом с декомпозицией по эвристикам получено семь маршрутов с суммарным общим пробегом — 963,5 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контрольные расчёты подтверждают предположение об эффективности использования предложенного приёма декомпозиции. Есть смысл продолжить работу по его исследованию путём формирования статистической базы сравнительных расчётов на различных вариантах исходных данных.

Предлагается сформулировать рекомендации по вариантам применения различных методов декомпозиции при решении задач маршрутизации транспорта в зависимости от структуры, достоверности и объёма исходной информации, задаваемой для планирования, а также плотности дислокации клиентуры в регионе транспортного обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксёнова О. А., Просов С. Н. Модель задачи о назначениях в эвристических алгоритмах маршрутизации транспорта с временными интервалами доставки // Вестник МАДИ. — 2017. — № 3. — С. 127–134.
2. Атрохов Н. А., Андроникова Л. Н. Алгоритм решения задачи перевозок мелких партий грузов с учётом ограничений на движение грузового автомобильного транспорта // Автоматизация и управление в технических системах. — 2015. — № 2. — С. 73–82.
3. Атрохов Н. А., Мороз Д. Г. Альтернативные технологии перевозок мелких партий грузов // Вестник МАДИ. — 2017. — № 4. — С. 92–100.

4. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки: Учеб. пособие. — 5-е изд., испр. — М.: Академия, 2008. — 287 с.

5. Мороз Д. Г., Просов С. Н. Декомпозиционная модель маршрутизации перевозок грузов мелкими партиями с учётом мест хранения подвижного состава // Автотранспортное предприятие. — 2014. — № 5. — С. 47–49.

6. Мороз Д. Г., Просов С. Н. Методические рекомендации по планированию перевозок мелкопартионных грузов с множеством конечных пунктов маршрутной сети // Автоматизация и управление в технических системах. — 2014. — № 12. — С. 103–110.

7. Миргородский М. А., Витвицкий Е. Е., Афанасьев Н. Д. Выбор подвижного состава при перевозке грузов мелкими отправлениями в городах: Монография. — Омск: Полиграфический центр КАН, 2012. — 142 с.

8. Мельникова Т. Е., Филиппова Н. А. Методические материалы практических (семинарских) занятий по дисциплине (модулю) «Теория транспортных процессов и систем». — М.: Техполиграфцентр, 2017—87 с.

9. Просов С. Н. Проектирование автотранспортных систем доставки: Учеб. пособие. — М.: МАДИ, 2017. — 100 с.

10. Филиппова Н. А., Беляев В. М. Методология организации и функционирования систем доставки грузов в северные регионы. — М.: Техполиграфцентр, 2015. — 208 с.

11. Филиппова Н. А., Шилимов М. В., Кошкарев П. П., Сулакова Т. И. Проблемы автомобильного транспорта при движении в крупном городе // Наука сегодня: опыт, традиции, инновации / Материалы международной научно-практ. конференции. — М., 2017. — С. 46–48.

12. Prosov S. N., Gayazova Z. M. A modification of the method called «sum» with the time constraints of delivery of goods // International journal of advanced studies. — 2016. — № 4. — С. 56–62.

13. Aleman R. E., Hill R. R. A tabu search with vocabulary building approach for the vehicle routing problem with split demands // Int. J. Metaheuristics. — 2010. — Vol. 1. — No. 1. — Pp. 55–80.

14. Berbotto L., Garcia S., Nogales F. G. A randomized granular tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem // Annals of Operations Research. — 2014. — Vol. 222. — Pp. 153–173.

15. Duhamel C., Lacomme P., Prodron C. Efficient frameworks for greedy split and new depth first search split procedures for routing problems // Comp. Oper. Res. — 2011. — Vol. 38. — No. 4. — Pp. 723–739.

16. Ropke S., Pisinger D. A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls // European Journal of Operational Research. — 2006. — Vol. 171. — No. 3. — Pp. 750–775.

17. Vacic V., Sobh T. M. Vehicle Routing Problem with Time Windows // International Journal of Computing. — 2004. — Vol. 3. — No. 2. — Pp. 72–80.

18. Vidal T., Crainic T. G., Gendreau M., Prins C. A Unified Solution Framework for Multi-Attribute Vehicle Routing Problems // Eur. J. Oper. Res. — 2014. — Vol. 234. — No. 3. — Pp. 658–673. ●

Координаты авторов: **Просов С. Н.** – sergeypros@mail.ru, **Кузьменко Е. А.** – kateya97@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 02.04.2018, принята к публикации 21.06.2018.



DECOMPOSITION OF THE ROUTING PROBLEM BASED ON THE CLARKE–WRIGHT HEURISTIC METHOD

Prosov, Sergey N., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

Kuzmenko, Ekaterina A., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article is devoted to decomposition of the task of transport routing based on heuristic estimates with the Clarke–Wright method. A procedure is proposed for designing an automobile transport system based on the criterion of minimizing the total mileage by various formalized decomposition methods, in particular, using the

«benefit functions» algorithm and formation of zones (clusters, subsets) of vehicle maintenance. The advantages of the proposed method are clearly shown in comparison with the method of «the shortest distance matrix», at the example of delivery of ten cargo units from a supplier to ten consumers. The effect of reducing the total mileage on the designed routes was 9,45 %.

Keywords: transport routing, Clarke–Wright method, «benefit function», cluster, decomposition method, heuristic estimation, the shortest distances matrix.

Background. *The logistics of transport is involved in planning of small-lot shipments. In general, logistics is planning, control and management of transportation, warehousing and other operations performed in the process of bringing raw materials and materials to the enterprise, in-plant processing, bringing the produced products to the consumer, as well as transfer, storage and processing of related information.*

The task of transport logistics is to ensure technical and technological conjugation of participants in the transport process, harmonize their economic interests, and use common planning systems. At the same time, special attention is paid to planning of shipments of small-batch cargoes due to the increasing development of trade networks, a huge number of delivery points. Such transportation is usually characteristic of large cities and has a number of features:

- failure to provide full loading of the vehicle on the whole route;
- tariff increase by carriers due to incomplete loading of vehicles,
- as a rule, short distances between recipients on routes;
- need for increased attention of employees when collecting lots of goods for delivery;
- labor intensity of loading and unloading operations.

These features determine, first of all, high tariffs for transportation of small-lot cargo. The cost of transportation is significantly influenced by the length of the route covered by vehicles, the length of which directly depends on the degree of compactness of the mutual location of consumers in the service area of each car and the order of the rounds of correspondence points in the shift-daily assignments of drivers. And hence the need for methods of transport routing, formation of rational traffic routes, allowing to carry out the delivery of goods with the lowest transport component in the final cost of goods, also increases.

The wording of the routing task is as follows: it is necessary to effectively deliver cargo from the sender to the recipients given the specified fleet of vehicles, taking into account the specified technical, technological and organizational constraints. In the course of solving the problem, a scheme of rational distribution of consumers regarding the supplier is defined, following which the needs of consignees will be completely satisfied with minimal transport costs.

Objective. *The objective of the authors is to consider the issues of decomposition of the routing task.*

Methods. *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach.*

Results.

Route planning methods

When planning the transportation, exact and approximate classes of methods of solution are used. To obtain accurate results, methods are used:

- enumeration of options;
- linear and dynamic programming;
- branches and borders.

Approximate solutions are obtained by methods:

- random search;
- local optimization;
- heuristic;
- evolutionary and other.

For algorithms of exact methods, it is possible to obtain an optimal result based on a given optimization criterion, but it takes a long time (often incompatible with the time allotted to shift-day planning). Therefore, such methods are used only when solving problems of small dimension and with a small number (absence) of constraints.

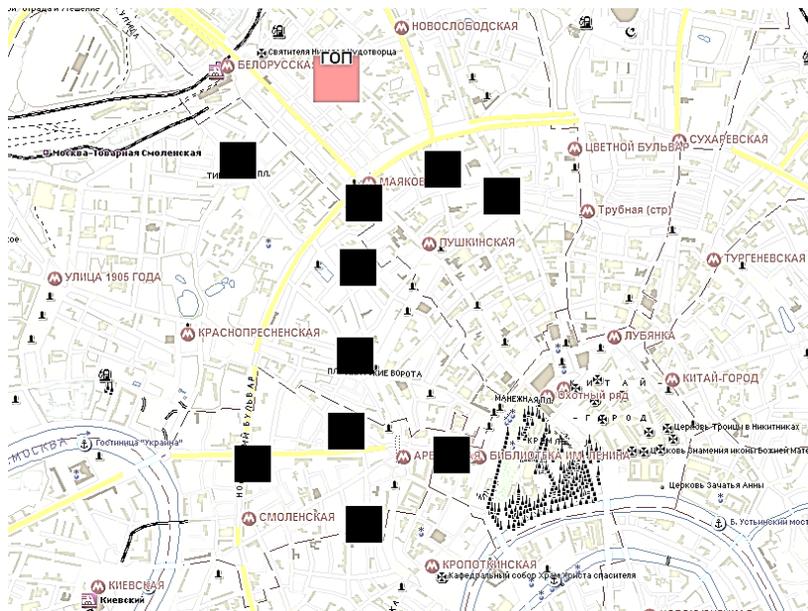
As for approximate solutions, then, of course, their main drawback is that they do not give an exact solution, but this is compensated by the speed of calculations for large-dimensional problems with a multitude of technical, technological and organizational limitations. Among approximate methods, in practice, heuristic and local optimizations are most useful, each of which is able to show the best efficiency in solving a problem using a wide range of factors specified for planning.

Shift-day planning

In general, the problem of large dimensions regarding shift-daily planning of the routes is solved in three stages.

At the first stage, *decomposition (splitting) of a set of consumers into subsets (clusters, zones, sets) is carried out, each of which does not violate the limits of the given constraints. The following are the existing and proposed formalized and heuristic methods for decomposition of the task of constructing routes depending on the given constraints, the optimization criterion and the proposed algorithm for solving:*

- following the map of the area, based on a visual assessment of the priority of including items in the cluster;
- following the transport network model (TNM) graph and the smallest sum of edge lengths to the points included in the set;
- through the shortest distance matrix (SDM);
- through the shortest connecting network (SCN);



Pic. 1. Location of the supplier and consumers of goods.

- through sectors with rigid territorial borders, previously plotted on the scheme (map, plan) of the transportation area and usually covering the central part of the city and the main lines;

- through distribution of the minimum amount of vehicles for the entire volume of cargo presented for carriage;

- by Svir method;

- through the model of the transport problem within linear programming;

- by collecting destination points into the clusters with the help of heuristics of the «benefit functions» method (Clarke–Wright).

At the second stage, the order of the rounds of destination points in subsets (clusters, zones) is determined.

At the third stage shift-daily tasks for drivers are formed.

Obviously, the efficiency of the solution of the problem depends to a large extent on the chosen decomposition method implemented at the first planning stage, in terms of the degree of compactness of the mutual location of consumers in the service area of each vehicle and the algorithm for formation of bypass routes.

Decomposition algorithm

We will outline the procedure for the example. The point of production of homogeneous types of products (GOP) and ten densely located to each other, load-absorbing points (GPP) with consumption volumes for one unit of cargo is set (Pic. 1). The cargo capacity of one car is five cargo units. A matrix of the shortest distances between points is given. It is necessary to form, by the criterion of the minimum of the total mileage, the system of transport routes when delivering goods from GOP to GPP.

We solve the problem by using decomposition method based on the matrix of the shortest distances. Initially, the most remote from the GOP consumer is included in the cluster according to SDM. To the existing point the second is added, which is the nearest to it, then the third, having the smallest distance from either the first or the second. And so on, the actions continue for all consignees

already included in the subset, following the principle of the minimum distance between the points, and checking if decisions satisfy the specified constraints.

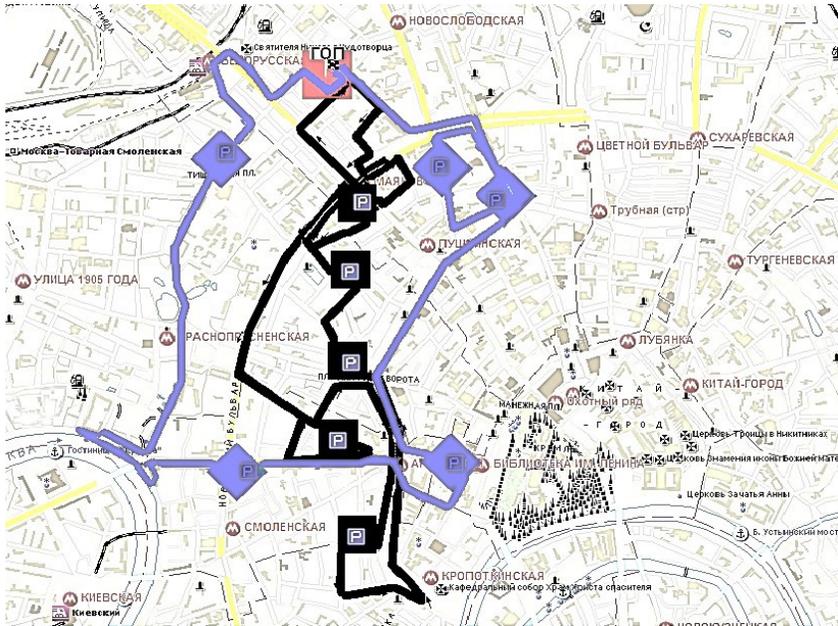
The mode of shift-day planning of routes meets some restrictions, and one of the most difficult for implementation at the stage of decomposition is restriction on the time of turnover on routes in comparison with the time of finding cars on duty. It is offered at each step of construction of the cluster to forecast the time of turnover of the future route. Rationally, this operation should be carried out with electronic atlases of motorways that have a router for automatically plotting the trajectory of traffic along the streets and roads taking into account the organization of traffic. Thus, before the consumer of the goods is included in a subset of the points planned for servicing by a particular car, the possibility of expanding the boundaries of the formed service area of the vehicle is verified.

Upon completion of a cluster, we proceed to construct the route selected by the method of obtaining an approximate (exact) solution. If there are no restrictions on time of delivery (time slots) the route is actually already built at the first planning stage, but if there are required time slots, an adjustment may be required replacing part of the GPP previously included in the cluster. It is recommended that before the starting editing of a cluster to provide for the reserve time of car's stay on duty.

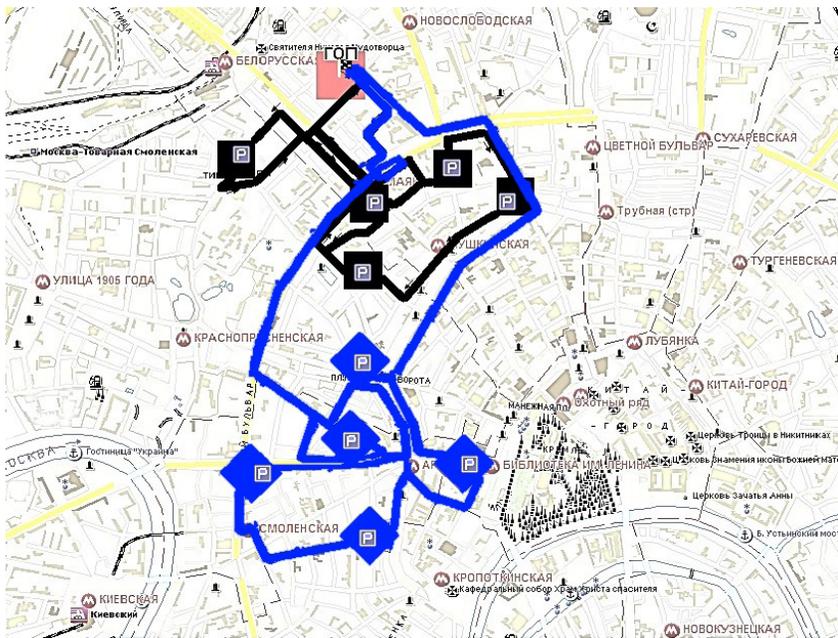
With reference to this example, two routes with a total mileage $L_{tot} = 15,3 + 14,33 = 29,6$ km are formed (Pic. 2). It can be clearly seen that the presented solution is not rational, since the both routes comprise points located very far from GOP, which leads to unreasonable, overestimated values of their total length.

Next, we perform the solution of the problem with decomposition tool using the heuristics of the Clarke–Wright method. In addition to the initial information, it is necessary to calculate the matrix of heuristics (estimates, «benefit functions», wins). At the beginning, as in the first case, the most remote from the GOP consumer is included in the cluster according to SDM. To the available point, a vertex is added, the combination of which, in pair with the already included GPP, has a maximum score. Then, with two points in the cluster, the pair with the highest score is determined, either from the combination





Pic. 2. Routes for clusters formed by the decomposition method by the matrix of the shortest distances.



Pic. 3. Routes for clusters formed by the heuristic decomposition method.

with the first point or with the second one. Then, from three GPP in the cluster, pairs of peaks are formed and the point with the highest rating is determined. And so actions continue for all consignees already in the subset, according to the principle of the maximum numerical value of the heuristic, and in the case of equality of «benefit functions», the smallest distance between points has an advantage.

Connection of the next consumer of cargo to the cluster is carried out after checking for satisfaction of the specified technical, technological and organizational limitations. Unlike decomposition by the shortest

distance matrix, where the need to include points in a cluster is estimated only by the mutual arrangement of vertices relative to each other, the proposed method takes into account the dislocation of points with respect to the load-forming point. The formation of a subset ends when it is impossible to connect the next item without violating the specified constraints or all the GPP are serviced.

As a result, two routes with a run $L_{tot} = 15,3 + 11,5 = 26,8$ km were formed (Pic. 3). The effect of reducing the total mileage for the newly formed shift-daily plan is 9,45 %.

In the example considered, we can see that the application of the heuristics of the Clarke–Wright method can improve the efficiency of solving the problem due to the complex evaluation of location of the points in relation to each other and the point of production.

To test the decomposition algorithm, a test calculation was carried out for the practical task of shift-day planning.

There is one GOP and 84 GPP. The load-carrying capacity of the car is 1,5 tons, the loading time is 30 minutes, the unloading is 12 minutes, the time of car's stay on duty is not normalized (but no more than 10 hours), the time of preparatory-final operations is 18 minutes. The masses of delivered cargoes and technical speeds are set, depending on the location of the consumption points in the territory of Moscow. It is necessary to form by the criterion of the minimum of the total mileage the system of transportation routes when delivering goods from the GOP to the load-absorbing points.

The control calculation using the method of decomposition by the shortest distance matrix showed that it is necessary to have seven routes of cargo delivery with a total run of 963,9 km. Using a calculation with decomposition according to heuristics seven routes with a total combined run of 963,5 km were obtained.

Conclusion. Control calculations confirm the assumption about the effectiveness of using the proposed method of decomposition. It makes sense to continue work on its study by developing a statistical base for comparative calculations using different versions of the original data.

It is offered to formulate recommendations on variants of application of different decomposition methods for solving transport routing tasks, depending on the structure, reliability and volume of the initial information set for planning, as well as the density of clientele location in the transport service region.

REFERENCES

1. Aksenova, O. A., Prosov, S. N. Model of the assignment problem in heuristic algorithms of transport routing with time intervals of delivery [*Model' zadachi o naznacheniya v evristicheskikh algoritmah marshrutizatsii transporta s vremennymi intervalami dostavki*]. *Vestnik MADI*, 2017, Iss. 3, pp. 127–134.
2. Atrokhov, N. A., Andronikova, L. N. Algorithm for solving the problem of transporting small consignments of cargoes taking into account restrictions on the movement of cargo road transport [*Algoritm resheniya zadachi perevozok melkih partii грузов s uchetom ogranichenii na dvizhenie грузового avtomobil'nogo transporta*]. *Avtomatizatsiya i upravlenie v tehnikeskikh sistemah*, 2015, Iss. 2, pp. 73–82.
3. Atrokhov, N. A., Moroz, D. G. Alternative technologies of transportation of small consignments of cargoes [*Alternativnie tehnologii perevozok melkih partii грузов*]. *Vestnik MADI*, 2017, Iss. 4, pp. 92–100.
4. Gorev, A. E. Freight road transportation: study guide [*Gruzovie avtomobil'nie perevozki: Uchebnoe posobie*]. 5th ed., rev. Moscow, Academia publ., 2008, 287 p.
5. Moroz, D. G., Prosov, S. N. Decomposition model of routing cargo transportation in small lots taking into account the storage of rolling stock [*Dekompozitsionnaya model' marshrutizatsii грузов melkimi partijami s uchetom mest*

hraneniya podvizhnogo sostava]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2014, Iss. 5, pp. 47–49.

6. Moroz, D. G., Prosov, S. N. Methodical recommendations on planning of small-lot cargo transportation with a lot of final points of the route network [*Metodicheskie rekomendatsii po planirovaniyu perevozok melkopartiionnyh грузов s mnozhestvom konechnykh punktov marshrutnoi seti*]. *Avtomatizatsiya i upravlenie v tehnikeskikh sistemah*, 2014, Iss. 12, pp. 103–110.

7. Mirgorodsky, M. A., Vitvitskiy, E. E., Afanasyev, N. D. Selection of rolling stock for carriage of goods by small shipments in the cities: Monograph [*Vybor podvizhnogo sostava pri perevozke грузов melkimi opravkami v gorodakh: Monografiya*]. Omsk, Polygraphic center of KAN, 2012, 142 p.

8. Melnikova, T. E., Filippova, N. A. Methodical materials of practical (seminar) classes on discipline (module) «Theory of transport processes and systems» [*Metodicheskie materialy prakticheskikh (seminarskikh) zanyatii po distsipline (modulyu) «Teoriya transportnykh protsessov i sistem»*]. Moscow, Techpoligraphcentr publ., 2017, 87 p.

9. Prosov, S. N. Designing of motor transportation delivery systems: study guide [*Proektirovanie avtotransportnykh sistem dostavki: Ucheb. posobie*]. Moscow, MADI publ., 2017, 100 p.

10. Filippova, N. A., Belyaev, V. M. Methodology of organization and functioning of cargo delivery systems in the northern regions [*Metodologiya organizatsii i funktsionirovaniya sistem dostavki грузов v severnie regiony*]. Moscow, Techpoligraphcentr publ., 2015, 208 p.

11. Filippova, N. A., Shilimov, M. V., Koshkarev, P. P., Suslakova, T. I. Problems of road transport during traffic in a large city [*Problemy avtomobil'nogo transporta pri dvizhenii v krupnom gorode*]. In: Science today: experience, traditions, innovations / Proceedings of international scientific and practical conference. Moscow, 2017, pp. 46–48.

12. Prosov, S. N., Gayazova, Z. M. A modification of the method called «sum» with the time constraints of delivery of goods. *International journal of advanced studies*, 2016, No. 4, pp. 56–62.

13. Aleman, R. E., Hill, R. R. A tabu search with vocabulary building approach for the vehicle routing problem with split demands. *International Journal of Metaheuristics*, 2010, Vol. 1, Iss. 1, pp. 55–80.

14. Berbotto, L., Garcia, S., Nogales, F. G. A randomized granular tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, 2014, Vol. 222, pp. 153–173.

15. Duhamel, C., Lacomme, P., Prodhon, C. Efficient frameworks for greedy split and new depth first search split procedures for routing problems. *Comp. Oper. Res*, 2011, Vol. 38, Iss. 4, pp. 723–739.

16. Ropke, S., Pisinger, D. A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 171, Iss. 3, pp. 750–775.

17. Vacic, V., Sobh, T. M. Vehicle Routing Problem with Time Windows. *International Journal of Computing*, 2004, Vol. 3, Iss. 2, pp. 72–80.

18. Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., Prins, C. A Unified Solution Framework for Multi-Attribute Vehicle Routing Problems. *Eur. J. Oper. Res*, 2014, Vol. 234, Iss. 3, pp. 658–673. ●

Information about the authors:

Prosov, Sergey N. – Ph.D. (Eng), associate professor of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, sergeypros@mail.ru.

Kuzmenko, Ekaterina A. – student of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, kateya97@mail.ru.

Article received 02.04.2018, accepted 21.06.2018.

