

Раздел V. Моделирование сложных систем

УДК 658.512.2.011.5

Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова

ОСОБЕННОСТИ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПО ВРЕМЕНИ*

Рассматриваются новые подходы к решению динамических транспортных задач. Обоснована актуальность и важность решения подобного рода задач для повышения эффективности и развития транспортной инфраструктуры регионов. Приведено описание задачи маршрутизации автотранспорта в терминах теории графов. Предложен вариант классификации транспортных задач. Отмечены особенности различных видов транспортных задач, основные критерии и дополнительно вводимые ограничения. Кратко изложены основные подходы к решению различных видов задач маршрутизации автотранспорта. Особое внимание уделено описанию динамических транспортных задач с ограничением по времени. Перечислены основные элементы таких задач. Введены функции оценки динамической составляющей при решении транспортных задач с ограничением по времени. Сформулирована постановка задачи маршрутизации автотранспорта с ограничением по времени и построена ее математическая модель. На основе проведенного анализа установлено, что такого рода задачи относятся к классу NP-сложных задач и для их эффективного решения необходима разработка новых методов, основанные на использовании различных эвристик. Предложены новые подходы к решению подобных задач на основе гибридных интеллектуальных моделей и эволюционных методов.

Задачи маршрутизации автотранспорта; динамическая транспортная задача с ограничением по времени; эволюционные вычисления; гибридные интеллектуальные методы.

L.A. Gladkov, N.V. Gladkova

FEATURES AND NEW APPROACHES TO THE DECISION OF DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEMS WITH TIME WINDOWS

In article new approaches to the decision of dynamic vehicle routing problems are considered. The urgency and importance of the decision of a similar sort of problems for increase of efficiency and development of a transport infrastructure of regions is proved. The description of a vehicle routing problems (VRP) in terms of the theory of graphs is resulted. The variant of classification of transport problems is offered. Features of various kinds of transport problems, the basic criteria and in addition entered restrictions are noted. The basic approaches to the decision of various kinds of VRP are is short stated. The special attention the description of dynamic vehicle routing problems with time windows is given. Basic elements of such problems are listed. Functions of an estimation of a dynamic component at the decision of vehicle routing problems with time windows are entered. Statement of vehicle routing problems with time windows is formulated and its mathematical model is constructed. On the basis of the spent analysis it is established, that such problems belong to the class of NP-challenges and for their effective decision working out of the new methods, based on use various heuristics is necessary. New approaches to the decision of similar problems on the basis of hybrid intellectual models and evolutionary methods are offered.

Vehicle routing problems; dynamic vehicle routing problem with time windows; evolutionary calculations; hybrid intellectual methods.

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты: № 14-07-00829, № 13-07-12091).

В последние годы с развитием торговых сетей, ростом населения крупных городов, развитием транспортной инфраструктуры в России все более широкое распространение приобретает разработка новых эффективных информационно-вычислительных технологий оптимизации структуры региональных транспортных перевозок [1].

В условиях современного развития информационных технологий, существующие алгоритмы автоматизированного планирования грузоперевозок не справляются с решением или требуют много процессорного времени для поиска эффективных решений. Разработка новых алгоритмов их решения может позволить сократить время поиска решений в задачах большой размерности, и в то же время повысить качество получаемых решений за счет разработанной архитектуры. Объектом исследования являются транспортно-логистические процессы. Основным содержанием разработки являются теоретические и прикладные исследования транспортных задач и их решения, ориентированные на повышение эффективности управления ими, принятия решения с использованием современных методов обработки информации.

Задачи маршрутизации автотранспорта (Vehicle Routing Problems, VRP) – это большой класс задач исследования операций. Решением данного класса задач занимается транспортная логистика. В нашей стране данное направление развито хуже, чем в других странах и развивается в основном в рамках специализированных производств, например на железнодорожном транспорте.

Задачи маршрутизации автотранспорта может быть описана, как задача нахождения оптимального (минимального по затратам) плана перевозок какого-либо товара от поставщика к клиентам, при условии дополнительных ограничений [2]. Дополнительные ограничения могут накладываться на количество транспортных средств, на время прибытия и время отправления, на грузоподъемность, продолжительность маршрута и т.д.

Критерием эффективности плана грузоперевозок являются суммарные затраты на перевозку грузов транспортом общего пользования и затраты за перевозку собственным подвижным составом.

Пусть имеется некоторый граф $G = (V, A)$, где $V = \{1, \dots, n\}$ – это множество вершин графа, а A – множество дуг графа. Вершины графа представляют собой клиентов, вершина 1-го поставщика чаще обозначается как депо (depot) или склад с которого товары развозятся по клиентам. Также задается прямоугольная матрица $C = \|c_{ij}\|_{n \times n}$, каждый элемент которой c_{ij} – стоимость перевозки между пунктами i и j (дуга графа (i, j)). В зависимости от выбранного критерия матрица C может также интерпретироваться как матрица расстояний между соответствующими пунктами или ценовых (временных) затрат на перемещение груза из пункта i в пункт j . Существует набор однородных транспортных средств (автомашин одинаковой грузоподъемности), изначально располагающихся в депо. Требуется найти набор маршрутов, при котором каждый клиент был бы обслужен и посещался лишь единожды одним транспортным средством (т.е. клиент должен быть обслужен одним транспортным средством за один раз). Маршрут каждого транспортного средства должен начинаться и заканчиваться в депо. Цена маршрутов должна быть минимальной [3]. На рис. 1 показано графическое представление задачи VRP.

Можно привести несколько вариантов классификации задач маршрутизации автотранспорта отражающие наиболее известные ее разновидности с учетом множества ограничений и дополнительных условий [4].

1. Задачи с ограниченной вместимостью автотранспорта (Capacitated VRP – CVRP). Каждое транспортное средство имеет определенную фиксированную грузоподъемность.

Цель: минимизация единиц транспорта, необходимого для выполнения запросов, также учитывается время выполнения задачи.

Дополнительные ограничения: по сравнению с классической задачей VRP в задачах данного класса вводится ограничение – суммарный вес грузов на каждом маршруте не должен превышать заданной величины (одинаковой для всех машин).

2. Задачи с ограничением времени обслуживания (VRP with Time Windows – VRPTW). При решении практических задач часто возникает необходимость учета временных окон. В этой модели каждый клиент имеет индивидуальный временной интервал (окно), в течение которого он может сделать заказ.

Цель: Каждый клиент должен быть обслужен в течение определенного срока – «временного окна».

Дополнительные ограничения: В задачах данного класса вводятся ограничения по времени обслуживания.

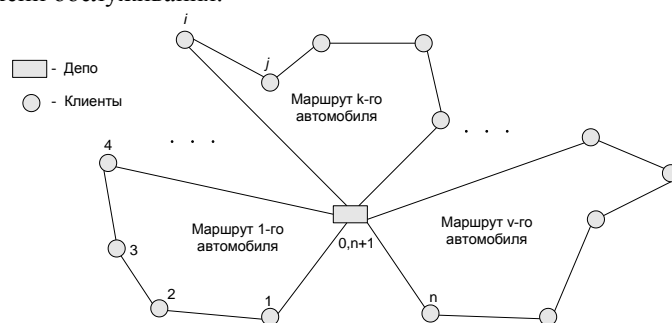


Рис. 1. Графическое представление задачи

Обычно клиент может сделать заказ в течение рабочего дня. При этом обслуживание клиента вне рамок временного окна не допускается. Это одна из наиболее сложных классификаций данной задачи. Решение этой задачи позволяет сделать вывод, можно ли обслужить всех клиентов. Если ответ отрицательный, то ставится задача обслужить максимально возможное число клиентов. Благодаря решению задачи VRPTW можно заранее смоделировать перевозки и оценить приблизительно время доставки каждого груза. Клиенты, которых не смогут обслужить, оповещаются заранее.

В некоторых разновидностях задачи VRPTW обслуживание клиента в определенном заранее временном окне не является критически важным условием, но его нарушение добавляет некий штраф к значению целевой функции. Кроме того, решение задачи VRPTW позволяет подобрать время выезда и, тем самым, исключить простои автотранспорта.

3. Задачи с возможностью частичного отказа от товара (VRP with Pick-Ups and Deliveries – VRPPD). При решении данной задачи нужно учитывать не только вес доставляемых, но и вес возвращаемых товаров.

Цель: минимизация количества автотранспорта и общего времени движения.

Дополнительные ограничения: суммарный вес доставляемых до клиентов и возвращаемых от них в депо товаров не должен превышать допустимую грузоподъемность транспортного средства.

Решение данной задачи можно упростить путем введения дополнительных ограничений. Например, условие, что доставка всех товаров начинается из депо и все возвращаемые товары доставляются в депо. Разрешение посещать клиентов более одного раза.

4. Задачи с возможностью возврата товара после завершения обслуживания всех клиентов (VRP with Backhauls – VRPB). Эта задача является модификацией предыдущей задачи VRPPD. При этом подразумевается, что каждый автомобиль сначала развозит все товары, а затем начинает принимать товар от клиентов.

Цель: минимизация количества автотранспорта и общего времени.

Дополнительные ограничения: суммарный вес товаров доставляемых клиенту и возвращаемых в депо ограничен грузоподъемностью автотранспорта.

5. Задачи с возможностью обслуживания одного клиента различным транспортом (Split Delivery VRP – SDVRP). В классической задаче VRP всех автомобилей имеют одинаковую грузоподъемность, но на практике, чаще всего, автопарк состоит из разногабаритных грузовых автомобилей.

Цель: минимизировать парк транспорта и общее время обслуживания всех клиентов.

Дополнительные ограничения: Необходимость учета различной грузоподъемности автомашин. В этом случае задача усложняется необходимостью выбора очередности погрузки, что непосредственно влияет на количество задействованного транспорта.

Чаще всего при загрузке приоритет отдается автомобилям с наибольшей грузоподъемностью. Задача SDVRP может быть сведена к задаче VRP посредством разбиения каждого заказа на несколько неделимых заказов.

6. Задачи с возможностью доставки грузов в течение длительного периода (Periodic VRP – PVRP). В классической задаче VRP обычный период планирования – один день. В задачах с периодической маршрутизацией используется расширенный период планирования на несколько дней.

Цель: минимизация количества транспорта и общего времени обслуживания.

Дополнительные ограничения: добавляется возможность возвращения транспортного средства в течение некоторого промежутка времени.

7. Задачи, в которых для описания поведения клиентов или транспортных средств могут быть использованы случайные переменные (Stochastic VRP – SVRP).

Цель: минимизировать парк транспорта и общее время обслуживания всех клиентов.

Дополнительные ограничения: одна или несколько переменных могут принимать случайное значение. Например:

- ◆ случайные клиенты (клиент существует с вероятностью p и отсутствует с вероятностью $p-1$).
- ◆ случайные запросы (запрос клиента – случайная величина);
- ◆ случайное время (время поездок – случайная величина).

Решение задач SVRP обычно происходит в два этапа. На первом этапе задача решается без учета случайных переменных. На втором этапе происходит коррекция ранее полученного решения с учетом случайных значений. Для этого может потребоваться выполнение некоторых условий с заданной вероятностью, либо построение корректирующей модели, выполняющейся при нарушении каких-либо ограничений.

8. Задачи с возможностью использования транспортных средств из нескольких депо (Multiple Depot VRP – MDVRP). Чтобы справиться с увеличивающимся количеством запросов на доставку товаров грузоперевозящие компании не только увеличивают автопарк, но и создают несколько складов (депо). Как правило, каждый склад имеет свой автопарк и самостоятельно решает задачу маршрутизации автотранспорта. Но в общем случае можно рассматривать вариант, когда для погрузки каждый автомобиль компании может задействовать любой склад, имеющий необходимый товар.

Цель: минимизация числа машин и сокращение времени.

Дополнительные ограничения: каждый маршрут должен начинаться и заканчиваться в одном и том же депо. Стоимость пути определяется так же, как и в случае стандартной задачи VRP.

Используют два подхода к решению данной задачи. В первом случае решается задача кластеризации, когда клиенты распределяются по соответствующим кластерам (депо). Во втором случае решают задачу маршрутизации автотранспорта с множественным депо. Каждое транспортное средство закрепляется за определенным депо.

Модификацией данной задачи является задача VRPSF. В этой задаче учитывается возможность дозагрузки в других складах.

9. Задачи с возможностью дополнительной загрузки транспортного средства по ходу следования (VRP with Satellite Facilities – VRPSF). Классическая задача VRP предполагает, что из-за ограниченной грузоподъемности каждая машина после доставки всего груза, должна вернуться в депо за новой порцией товаров. Однако в некоторых случаях выгоднее произвести дозагрузку на маршруте, без возврата в депо, используя для этого дополнительные транспортные средства.

Цель: минимизация расходов на доставку товаров в течение заданного периода времени.

Дополнительные ограничения: товар на складе клиента не должен заканчиваться.

Особый интерес представляют динамические транспортные задачи с ограничением по времени. В отличие от статической задачи, параметры которой известны до начала ее решения и не изменяются ни во время ее решения, ни во время выполнения, в динамической задаче условия задачи могут меняться во время ее выполнения.

Возникает новый класс задач – динамические транспортные задачи с ограничением по времени (DVRPTW, Dynamic Vehicle Routing Problems with Time Windows) [5].

Можно выделить два основных элемента динамической ТЗ: динамические запросы клиентов и динамическое время движения от одного клиента к другому. Динамические запросы клиентов – это новые запросы, которые возникают во время решения задачи и которые должны быть выполнены. Динамическое время движения – это время в пути от одного клиента к другому, которое либо изменяется в некотором интервале, либо случайным образом задается до начала движения. На изменение времени движения оказывают влияние такие факторы, как тип, пропускная способность и загруженность дорог, аварии, погода и т.д. Степень влияния перечисленных факторов на возможность оценки времени движения различна. При этом можно выделить следующие варианты:

- ◆ Время движения можно оценить заранее (long-term forecasts). Например, ситуация когда время движения зависит от времени суток или от дня недели (time-depend). В этом случае факторы, влияющие на изменение времени движения известны заранее и могут быть учтены до начала движения.
- ◆ Время движения может быть предсказано только на короткий отрезок времени (short-term forecasts), когда имеется наиболее полная информация о текущей ситуации на дороге.
- ◆ Время движения не может быть предсказано и является случайной величиной. Причиной изменения времени в данном случае могут стать непредвиденные аварии и поломки в пути, другие случайные факторы.

В большинстве практических задач моделируется ситуация, когда не все запросы клиентов известны до начала решения, т.е. информация о количестве и структуре запросов изменяется и оперативно доводится до диспетчера. Все запросы, которые не выходят за рамки установленных временных ограничений, должны быть удовлетворены в рамках решения текущей задачи.

Вводим оценочную функцию динамической составляющей задачи (degree of dynamism) [6]:

$$DD = \frac{R_d}{R_t},$$

где DD – степень динамизма задачи без ограничений; R_d – количество динамических запросов (запросы, поступившие во время решения задачи); R_t – общее количество запросов (количество запросов известных до начала решения задачи (статические запросы) плюс динамические запросы R_d).

Оценка степени динамической составляющей не учитывает момент поступления запроса в период доставки, в течение которого транспортные средства должны обслужить всех клиентов и возвратиться в депо. Те запросы, появившиеся в начале данного интервала и в его конце, считаются равнозначными по сложности их обработки, но это не так, поскольку для обработки более поздних запросов остается меньше времени. Для учета момента получения запроса применяют следующий способ оценки степени динамической составляющей:

$$EDD = \frac{\sum_{i=1}^{R_t} t_i}{R_t T},$$

где EDD – оценка динамизма транспортной задачи без ограничений с учетом времени поступления динамического запроса; $[0; T]$ – период времени, в течение которого машины должны обслужить всех клиентов и возвратиться в депо; t_i – момент времени получения i -го динамического запроса, $0 < t_i \leq T$.

Тогда, с учетом временных ограничений, накладываемых на период обслуживания запросов клиентов, формула оценки степени динамической составляющей примет следующий вид [7]:

$$EDD_{tw} = \frac{1}{R_t} \sum_{i=1}^{R_t} \frac{T - (l_i - t_i)}{T},$$

где EDD_{tw} – оценка динамизма транспортной задачи с ограничением по времени; l_i – верхняя граница временного окна, в течение которого должен быть обслужен i -й клиент.

Значение EDD_{tw} будет использоваться для оценки эффективности алгоритма для решения динамической транспортной задачи с ограничением по времени. Так как данная задача может быть представлена в виде серии статических задач (где очередная задача возникает при изменении параметров (появлении новых запросов) исходной задачи), то для ее решения могут быть использованы модифицированные методы решения статических задач.

Сформулируем теперь математическую постановку задачи маршрутизации автотранспорта с ограничением по времени (VRPTW, Vehicle Routing Problem with Time Window).

Задачи данного типа можно описать следующим образом. Имеется некоторое количество автотранспорта, один склад (депо) и некоторое количество клиентов. Для каждого транспортного средства требуется составить маршрут перевозки. На маршруты накладывается ряд ограничений. Каждый маршрут должен начинаться и заканчиваться в депо. Общее количество товаров, доставляемых клиентам на данном транспортном средстве, не должно превышать его грузоподъемность. Каждый клиент обслуживается одним транспортным средством и только один раз. Каждый клиент должен быть обслужен в течении определенного промежутка времени.

Основные задачи: минимизировать общее количество задействованных транспортных средств и минимизировать общее расстояние, покрытое всеми транспортными средствами [8].

Данную задачу можно представить в виде графа $G = (N, A)$, $N = n + 1$, где: n – множество вершин, равное числу клиентов (вершины 1, 2, ..., n), а также исходное депо, откуда начинают и заканчивают свой маршрут все автомобили (вершина $n+1$); A – дуги, соединяющие вершины графа.

Введем следующие обозначения:

C – множество клиентов, $|C| = n$, а c_i, c_j – i -й и j -й клиенты;

$(i, j) \in A$ – дуга, соединяющие вершины графа;

d_i – спрос i -го клиента;

t_{ij} – время перевозки по дуге (i, j) , в том числе время обслуживания клиента i и время переезда от клиента i к клиенту j ;

c_{ij} – стоимость перевозки груза от клиента i к клиенту j ;

V – число идентичных автомобилей одинаковой грузоподъемности $q, k \in V$;

$[a_i, b_i]$ – промежуток времени, в течение которого должен быть обслужен i -й клиент;

S_i^k – время прибытия k -го автомобиля к i -му клиенту; время отправления из депо для всех автомобилей равно 0;

X_{ij}^k – переменная, принимающая значения $\{0, 1\}$ и характеризующая направление движения автомобиля: $X_{ij}^k = 1$ – если автомобиль движется от клиента i к клиенту j ; $X_{ij}^k = 0$ – если автомобиль движется в обратном направлении.

С учетом принятых обозначений можно записать:

$$F = \sum_{k \in V} \sum_{(i, j) \in A} c_{ij} X_{ij}^k \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} X_{ij}^k = 1, \forall i \in C$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} X_{ij}^k \leq q, \forall k \in V$$

$$\sum_{j \in N} X_{0j}^k = 1, \forall k \in V$$

$$\sum_{j \in N} X_{ih}^k - \sum_{j \in N} X_{hj}^k = 0, \forall h \in C, \forall k \in V$$

$$\sum_{j \in N} X_{i, n+1}^k = 1, \forall k \in V$$

$$\sum_{j \in N} X_{ij}^k (S_i^k + t_{ij} - S_j^k) \leq 0, \forall (i, j) \in A, \forall k \in V$$

$$a_i \leq S_i^k \leq b_i, \forall i \in N, \forall k \in V$$

$$X_{ij}^k \in \{0, 1\}, \forall (i, j) \in A, \forall k \in V.$$

Транспортные задачи с ограничением по времени относятся к классу NP -трудных задач, точные методы решения для задач такого вида эффективны при малом количестве клиентов (т.е. до 50-ти клиентов). Основные методы решения данной задачи с большим количеством клиентов – это эвристические и метаэвристические методы. Наилучшие результаты при решении тестовых задач дают гиб-

ридные алгоритмы [9–11], направляемые глобальной эвристикой (метаэвристикой), которая в свою очередь в процессе поиска на промежуточных этапах использует различные методы улучшения маршрута, основанные на методе локального поиска. Эффективными являются различные постоптимизационные процедуры, которые позволяют улучшить конкретное конечное решение. Приемы адаптации алгоритма к условиям текущей задачи (на различных этапах поиска применяются различные части алгоритма) тоже дают хорошие результаты [3].

Анализ результатов решения тестовых задач описанными известными эффективными методами выявил, что в данных алгоритмах нет баланса между количеством транспортных средств и общим пройденным расстоянием, уменьшение расстояния достигается значительным увеличением количества транспортных средств. Нет данных о применении этих алгоритмов для решения задач с запросами клиентов, изменяющимися в процессе выполнения решения, что особенно актуально в практических задачах. Все эти факторы послужили необходимыми условиями для разработки новых методов решения динамических транспортных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Филин Е.А., Дирас Р.* Маршрутизация автотранспорта (VRP – Vehicle routing problem). – Саров: СарФТИ, 2003.
2. *Гладков Л.А., Гладкова Н.В.* Решение динамических транспортных задач на основе гибридных интеллектуальных методов и моделей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 7 (144). – С. 102-107.
3. *Кажаров А.А., Курейчик В.М.* Биоинспирированные алгоритмы. Решение оптимизационных задач: Монография. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011.
4. *Кажаров А.А., Курейчик В.М.* Классификация и критерии оптимизации задачи маршрутизации автотранспорта // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции "Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте". Т. 2. – М.: Физматлит, 2013. – С. 879-886.
5. *Емельянова Т.С.* Эвристические и метаэвристические методы решения динамической транспортной задачи // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2007. – № 3 (31). – С. 33-43.
6. *Емельянова Т.С.* Анализ методов решения нелинейных транспортных задач // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2007. – № 1 (29). – С. 38-49.
7. *Емельянова Т.С.* Генетический алгоритм решения транспортной задачи с ограничением по времени // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2007. – № 4 (32). – С. 43-59.
8. *Курейчик В.М., Емельянова Т.С.* Решение транспортных задач с использованием комбинированного генетического алгоритма // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008. Труды конференции. Т. 1. – М.: Физматлит, 2008. – С. 158-164.
9. *Гладков Л.А., Курейчик В.М., Курейчик В.В., Сороколетов П.В.* Биоинспирированные методы в оптимизации. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
10. *Гладков Л.А.* Решение задач и оптимизации решений на основе нечетких генетических алгоритмов и многоагентных подходов // Известия ТРТУ. – 2006. – № 8 (63). – С. 83-88.
11. *Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Родзин С.И.* Основы теории эволюционных вычислений: Монография. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2010.
12. *Гладков Л.А.* Особенности разработки и настройки нечеткого логического контроллера // Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Вып. 6. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – С. 262-279.

13. *Гладков Л.А., Гладкова Н.В.* Особенности использования нечетких генетических алгоритмов для решения задач оптимизации и управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 130-136.
14. *Курейчик В.М., Кажаров А.А.* Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2010. – № 1. – С. 32-45.
15. *Курейчик В.М., Кажаров А.А.* Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 30-36.

REFERENCES

1. *Filin E.A., Dupas R.* Marshrutizatsiya avtotransporta (VRP – Vehicle routing problem) [Routing of vehicles. (VRP – Vehicle routing problem)]. Sarov: SarFTI, 2003.
2. *Gladkov L.A., Gladkova N.V.* Reshenie dinamicheskikh transportnykh zadach na osnove gibridnykh intellektualnykh metodov i modeley [The dynamic solution of transport problems on the basis of hybrid intelligent methods and models], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 7 (144), pp. 102-107.
3. *Kazharov A.A., Kureychik V.M.* Bioinspirirovannye algoritmy. Reshenie optimizatsionnykh zadach: Monografiya [Bioinspiration algorithms. The solution of optimization problems: Monograph]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011.
4. *Kazharov A.A., Kureychik V.M.* Klassifikatsiya i kriterii optimizatsii zadachi marshrutizatsii avtotransporta [Classification and criteria of optimization tasks routing of vehicles], *Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Integrirovannye modeli i myagkie vychisleniya v iskusstvennom intellekte"* [Proceedings of the VII International scientific-practical conference "Integrated models and soft computing in artificial intelligence"], Vol. 2. Moscow: Fizmatlit, 2013, pp. 879-886.
5. *Emelyanova T.S.* Evristicheskie i metaevristicheskie metody resheniya dinamicheskoy transportnoy zadachi [Heuristic and metaheuristics methods for solving dynamic transport problem], *Perspektivnye informatsionnye tekhnologii i intellektualnye sistemy* [Information Technologies and Intelligent Systems], 2007, No. 3 (31), pp. 33-43.
6. *Emelyanova T.S.* Analiz metodov resheniya nelineynykh transportnykh zadach [Analysis of methods for solving nonlinear transport problems], *Perspektivnye informatsionnye tekhnologii i intellektualnye sistemy* [Information Technologies and Intelligent Systems], 2007, No. 1 (29), pp. 38-49.
7. *Emelyanova T.S.* Geneticheskiy algoritm resheniya transportnoy zadachi s ogranicheniem po vremeni [Genetic algorithm for solving the transportation problem with a time limit], *Perspektivnye informatsionnye tekhnologii i intellektualnye sistemy* [Information Technologies and Intelligent Systems], 2007, No. 4 (32), pp. 43-59.
8. *Kureychik V.M., Emelyanova T.S.* Reshenie transportnykh zadach s ispolzovaniem kombinirovannogo geneticheskogo algoritma [The solution of transport problems using the combined genetic algorithm], *Odinnadtsataya nacionalnaya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnyhm uchastiem KII-2008. Trudy konferentsii* [The eleventh national conference on artificial intelligence with international participation CAI-2008. The conference proceedings], Vol. 1. Moscow: Fizmatlit, 2008, pp. 158-164.
9. *Gladkov L.A., Kureychik V.M., Kureychik V.V., Sorokoletov P.V.* Bioinspirirovannye metody v optimizatsii [Bioinspiration methods in optimization]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 384 p.
10. *Gladkov L.A.* Reshenie zadach i optimizatsii resheniy na osnove nechetkikh geneticheskikh algoritmov i mnogoagentnykh podkhodov [Problem solving and optimization solutions based on fuzzy genetic algorithms and multi-agent approaches], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2006, No. 8 (63), pp. 83-88
11. *Gladkov L.A., Kureychik V.V., Kureychik V.M., Rodzin S.I.* Osnovy teorii evolyutsionnykh vychisleniy: Monografiya [Fundamentals of the theory of evolutionary computation: Monograph]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2010.
12. *Gladkov L.A.* Osobennosti razrabotki i nastroyki nechetkogo logicheskogo kontrollera [Features of the development and tuning of fuzzy logic controller], *Intellektualnye sistemy. Kollektivnaya monografiya* [Intelligent systems. Collective monograph]. Issue 6. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2013, pp. 262-279.

13. Gladkov L.A., Gladkova N.V. Osobennosti ispolzovaniya nechetkikh geneticheskikh algoritmov dlya resheniya zadach optimizatsii i upravleniya [Features of the use of fuzzy genetic algorithms for solving problems of optimization and management], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 4 (93), pp. 130-136.
14. Kureychik V.M., Kazharov A.A. Muravinye algoritmy dlya resheniya transportnykh zadach [Ant algorithms for the solution of transport problems], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistema upravleniya* [Izvestiya of the Russian Academy of Sciences. Theory and control system], 2010, No. 1, pp. 32-45.
15. Kureychik V.M., Kazharov A.A. Ispolzovanie roevogo intellekta v reshenii NP-trudnykh zadach [Using swarm intelligence in solving NP-hard problems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 7 (120), pp. 30-36.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.О. Чернышев.

Гладков Леонид Анатольевич – Южный федеральный университет; e-mail: leo@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371625; кафедра систем автоматизированного проектирования; доцент.

Гладкова Надежда Викторовна – тел.: 88634393260; кафедра дискретной математики и методов оптимизации; старший преподаватель.

Gladkov Leonid Anatol'evich – Southern Federal University; e-mail: leo@tgn.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371625; the department of computer aided design; associated professor.

Gladkova Nadezhda Viktorovna – phone: +78634393260; the department of discrete mathematics and optimization methods; senior teacher.

УДК 681.322

С.Н. Никольский, И.Ф. Сурженко

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЕ

В современных исследованиях в теории информационных систем развивается подход, на основе использования понятия онтологии, как организованной совокупности понятий. Это привело к возникновению онтологического подхода, как развития концептуально-ориентированной точки зрения на решении задачи компьютеризации информационных систем. Практическая значимость онтологического подхода к решению задачи проектирования информационных систем состоит в том, что онтология задает концептуальную среду, в которой осуществляется процесс синтеза модели объекта автоматизации. Такая среда должна быть универсальной, т.е. максимально независимой в отношении выбора конкретного объекта автоматизации. Разработка онтологического подхода связана с решением таких принципиальных вопросов, как определение роли онтологий в решении задачи автоматизации, исследование структуры онтологий и их связи с логической и лингвистической точкой зрения на структуру информационной системы. Целью статьи является исследование задачи автоматизации информационных систем и ее связь с метамоделированием. Основная задача состоит в построении модели процесса автоматизации в форме моделирующей системы, а также в выборе информационных систем, которые соответствуют кибернетической точке зрения на естественный интеллект. В работе показано, что применение схемы автоматизации к информационной системе моделирования приводит к набору метамоделей.

Автоматизация; онтологический подход; информационная система моделирования; модель понятия; концептуальные метамоделей.