

An Algorithm for Selecting a Plurality of Experts to Carry out Innovative Projects among the Many Contenders for the Position Held

Performance indicators proposed candidates for the job can be represented by terms of linguistic variables or values of different numeric scales. The algorithms convert the data into numeric values in the range. A mathematical model of recruitment as a single- and multicriteria models of linear Boolean programming, which provides for restrictions on the selected company payroll amounts. The methods of solving formulated multiobjective tasks.

Keywords: candidates for job offers, linguistic terms and numerical scale, fuzzy sets, performance criteria, multicriteria Boolean programming model, the optimal choice of many alternatives

References

1. **Kinan K.** *Podbor personala*, Moscow, Eksmo, 2006, 80 p.
2. **Ulrih D.** *Effektivnoje upravljenje personalom: novaja rol HR-menedzhera v organizaciji*. Moscow, Vilijams, 2006, 304 p.
3. **Berthel Ju, Becker F. G.** *Personal-Management. Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit*. 9. Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2010, 754 s.
4. **Schmeisser W., Andresen M., Kaiser St.** *Personalmanagement — UVK Verlags-gesellschaft mbH/UTB, Mü nchen*, 2012, 230 s.
5. **Scholz Ch.** *Grundzüge des Personalmanagements*. 1. Auflage. — Vahlen Verlag, Bern/ Stuttgart/Wien, 2011, 656 s.
6. **Hentze J., Kammel A.** *Personalwirtschaftslehre* 1, 7. Aufl. — Vahlen Verlag, Bern/Stuttgart/ Wien, 2001, 189 s.
7. **Zack Yu. A.** *Prinyatije reshenij v uslovijach razmitich i nechet-kich dannich*. Moscow, URSS, 2013. 352 p.
8. **Kahraman C.,** *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theorie and Applications with Recent Developments*, New York, Springer, 2008.
9. **Kini R. L., Rajfa Ch.** *Prinyatije reshenij pri mnogich kriterijach: predpochtenija i zameschenija*. Moscow, Radio i svyaz, 1981.
10. **Zack Yu. A.** *Prikladnije zadachi mnogokriterialnoj optimisaziji*. Moscow, Ekonomika, 2014, 455 p.
11. **Korbut A. A., Finkelstein Yu. Yu.** *Diskretnoje programirovanije*. Moscow, Nauka, 1969, 368 p.
12. **Zack Yu. A.** Ob odnom klasse zadach zelochislennogo linejnogo programirovanija s bulevimi peremennimi, *Automatika i vychislitel'naja tehnika*, 1977, no. 6, pp. 26—33.

УДК 519.7

А. Ф. Валеева, д-р техн. наук, проф., e-mail: aida_val2004@mail.ru;

Ю. А. Гончарова, аспирант, **Р. С. Валеев**, канд. техн. наук, доц.,
Уфимский государственный авиационный технический университет

Об одном подходе к решению задач операционного планирования по доставке однородной продукции различным клиентам. Часть 1

Рассматривается решение задач операционного планирования, возникающих при доставке однородного продукта (заказа) различным клиентам — управления запасами и поиска рациональных маршрутов для доставки этого заказа. Представлены алгоритмы поиска наилучшей стратегии управления запасами и модифицированный алгоритм муравьиной колонии, позволяющий получать рациональные маршруты доставки однородного продукта (заказа) различным клиентам с одновременным учетом различных ограничений, таких как грузоподъемность транспортного средства (ТС), временные окна, период планирования, множество депо, раздельная доставка, неоднородный парк ТС, возможность возврата заказа, а также позволяющий учитывать рациональное размещение груза (заказа) в ТС во время построения рациональных маршрутов доставки.

Ключевые слова: управление запасами, маршрутизация, размещение заказа в автомобильные транспортные средства, алгоритм муравьиной колонии, основанный на популяции

Введение

У предприятия, специализирующегося на выпуске определенного вида продукции, для удовлетворения спроса клиентов на его доставку точно в срок, возникает ряд проблем, требующих принятия эффективных логистических решений. В работе [2] предложен подход для принятия таких реше-

ний, представляющий иерархическую схему, на верхнем, стратегическом уровне которой определяются цели и требования клиентов, на нижнем, операционном уровне возникает потребность в решении таких прикладных задач, как управление запасами, поиск оптимальных маршрутов транспортных средств (ТС) для доставки заказа клиентам, складирования и ряд других.

Для эффективной работы предприятия прежде всего следует определить уровень выпускаемой продукции с учетом затрат на хранение, покупку сырья, отложенные поставки. Основными элементами управления запасами являются спрос на продукцию и стратегии управления запасами [5]. В зависимости от вида спроса на продукцию применяют детерминированные или вероятностные модели управления запасами. Если спрос на продукцию неизвестен (является случайной величиной), то для выбора эффективной стратегии управления запасами, как правило, разрабатывают имитационную модель. При этом вычисляются такие оценки, как средние общие затраты, включающие в себя затраты на содержание и издержки, связанные с отложенными поставками. Если предприятие выработало эффективную политику управления запасами, следующим важным этапом является своевременная доставка сформированного заказа клиентам. С этой целью решается задача маршрутизации — поиска наилучшего маршрута ТС. В работах [6, 7] была предложена математическая модель и метод решения задачи маршрутизации однородного продукта на базе алгоритма муравьиной колонии и эволюционного алгоритма с выдачей карты размещения в ТС требуемого заказа. В данной работе предлагается модификация этого алгоритма при рассмотрении двух взаимосвязанных задач — задачи управления запасами и задачи транспортировки.

1. Постановка задачи доставки однородного заказа различным клиентам (PHPD-EVRP)

Рассмотрим следующую задачу доставки однородного заказа различным клиентам (*Problem homogeneous product delivery with Extended vehicle routing problem, PHPD-EVRP*).

Предприятие производит однородный продукт, запасы которого хранятся на арендуемом складе. Известны затраты на хранение единицы продукции в течение дня. При возникновении спроса на продукцию он немедленно удовлетворяется, если уровень запасов отвечает ее спросу. В случае нехватки запасов часть поставок откладывается, и предприятие несет убытки за каждую недостающую единицу продукции по отношению к заказанному количеству. При поступлении заказа на продукцию в первую очередь должны быть выполнены в максимальном объеме отложенные поставки. Неиспользованный остаток заказа поступает на склад. Заказ доставляют в различные регионы России автомобильными транспортными средствами (ТС) разной грузоподъемности, арендуемыми предприятием. В одном транспортном средстве находится заказ, предназначенный для доставки нескольким клиентам. Предприятие располагает складом (депо) или несколькими складами для хранения заказа, каждое ТС начинает и заканчивает свой маршрут в депо. Компания может уста-

новить временной период в размере нескольких дней, в течение которых груз должен быть доставлен клиентам. По пути доставки груза транспортному средству разрешается остановка в некоторые интервалы времени. Кроме того, каждый клиент может быть посещен более чем одним транспортным средством. При этом спрос каждого клиента может быть больше грузоподъемности транспортного средства, и клиент может быть включен в несколько маршрутов. Масса заказа не должна превышать грузоподъемности транспортного средства. Предприятие заинтересовано в минимизации стоимости пройденного пути. Требуется определить: эффективную стратегию управления запасами, позволяющую минимизировать затраты на содержание, выполнение заказа, учитывающую издержки, связанные с отложенными поставками (задача управления запасами); рациональные маршруты доставки требуемого заказа автомобильными транспортными средствами различным клиентам с возможностью выдачи карты наилучшего размещения заказа в них.

Приведенная задача решается в два этапа: на первом этапе находится эффективная стратегия управления запасами, которая более подробно описана в работе [5]. В случае, когда предприятие обслуживает постоянных клиентов и потребность в хранимой продукции известна и неизменна, применяют детерминированные модели. Если сеть клиентов расширяется, потребность в продукции является переменной величиной, и нужно поддерживать страховой запас, то рекомендуется применять вероятностные модели: модели со страховым запасом 1 (время выполнения заказа — случайная величина), со страховым запасом 2 (спрос на продукцию — случайная величина), страховым запасом 3 (время выполнения заказа, спрос на продукцию — случайные величины). Если система управления запасами имеет сложную структуру, то для выработки эффективной политики управления запасами целесообразно применять имитационное моделирование.

За основу имитационной модели была взята модель из работы [5] с некоторой модификацией, позволяющей учитывать постепенное пополнение запасов. При этом входной информацией являются: период моделирования; период контроля; начальный уровень запасов; максимальный уровень запасов; критический уровень запасов или точка заказа (возобновление запаса); интенсивность пополнения запаса; затраты на производство единицы продукции; затраты на выполнение заказа; затраты на хранение единицы продукции; издержки, связанные с отложенными поставками; стратегии управления запасами — пара, состоящая из критического уровня запасов и объема заказа; объем спроса на запас; промежутки между возникновением спроса; время выполнения заказа. Выходными данными являются средние затраты на изготовление заказа

стратегий, средние затраты на хранение для стратегий, средние издержки, связанные с нехваткой товара в месяц для стратегий, средние общие затраты в месяц для стратегий, стратегия с меньшими средними общими затратами в месяц. Случайные величины: промежутки между возникновением спроса на продукцию, спрос, время выполнения заказа. Переменные состояния: уровень запасов, количество товара в невыполненном заказе. События — возникновение спроса на товар; оценка запасов (и возможный заказ товаров); пополнение запасов. Имитационный алгоритм SCS реализации системы управления запасами более подробно рассмотрен в работе [5]. На втором этапе решается задача поиска рациональных маршрутов, математическая модель которой с учетом технологических ограничений приведена в работе [6].

В качестве входной информации в задаче маршрутизации даны:

$G = (V, A)$ — граф с множеством вершин V и множеством дуг A ;

V — множество вершин, которое делится на два подмножества $V_c = \{1, \dots, n\}$ и $V_h = \{n + 1, \dots, n + k\}$;

$V_c = \{1, \dots, n\}$ — множество городов и клиентов;

$V_h = \{n + 1, \dots, n + k\}$ — множество депо;

m_u — число ТС, расположенных в каждом депо $u \in V_h$, $m_u \in \{1, \dots, r_u\}$;

r_u — максимальное число ТС, расположенных в депо $u \in V_h$;

Q_v — грузоподъемность ТС v из депо $u \in V_h$, $Q_v \in Z^+$, где $v \in [\underline{v}, \bar{v}]$. Предполагается, что $\underline{v} = 1$ и $\bar{v} = r_u$;

q_{it} — объем спроса заказа в момент времени $t = 1, \dots, t_{predict}$, связанный с каждым клиентом $i \in V_c$ и получаемый при решении задачи управления запасами;

p_{it} — объем возвращаемого заказа в момент времени $t = 1, \dots, t_{predict}$, связанный с каждым клиентом $i \in V_c$ и получаемый при решении задачи управления запасами.

Введем ряд обозначений:

c_{ij} — расстояние между пунктами i и j , $i, j \in V_c$;

e_{ij} — время в пути между пунктами i и j , $i, j \in V_c$;

s_i — время обслуживания клиента $i \in V_c$;

$[a_i, b_i]$ — временное окно для клиента $i \in V_c$;

$penalty_time_i$ — штраф за начало обслуживания клиента $i \in V_c$ после b_i ;

w_i^{vu} — время начала обслуживания клиента $i \in V_c$ ТС v из депо $u \in V_h$;

$M_{дней}$ — период планирования доставки заказа;

x_{ij}^{vu} — переменная логического типа, принимающая значение 1, если ТС v из депо $u \in V_h$ перемещается в направлении от пункта i к пункту j , и 0 в противном случае, $i, j \in V_c$;

y_i^{vu} — это спрос i -го клиента, обслуженного ТС v из депо $u \in V_h$;

d_i^{vu} — это объем требования i -го клиента на возврат заказа, осуществленный ТС v из депо $u \in V_h$;

h_z — стоимость z -контейнера с заказом, где $z = 1, \dots, |Item_{cyl}| + |Item_{par}|$;

$|Item_{cyl}|$ — число контейнеров цилиндрической формы;

$|Item_{par}|$ — число контейнеров параллелепипедной формы;

vol_z — объем z -го контейнера, $z = 1, \dots, |Item_{cyl}| + |Item_{par}|$;

$num = (num_1, \dots, num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|})$ — набор контейнеров параллелепипедной и цилиндрической форм с заказом;

$num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|}$ — число контейнеров параллелепипедной и цилиндрической форм с заказом;

$penalty_pack^v$ — штраф за маршрут, не соответствующий рациональному размещению заказа в ТС v .

Требуется минимизировать общее пройденное расстояние:

$$\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{m_u} c_{ij} x_{ij}^{vu} + \sum_{i=1}^n penalty_time_i \right) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k;$$

а также выбрать контейнеры минимальной стоимости:

$$\sum_z h_z num_z \rightarrow \min \quad (2)$$

при выполнении следующих условий [6]:

пройденный путь включает каждую вершину не менее одного раза

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{m_u} x_{ij}^{vu} \geq 1; j = 1, \dots, n; u = n + 1, \dots, n + k; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{iz}^{vu} - \sum_{j=1}^n x_{zj}^{vu} = 0; z = 0, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; \quad (4)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k;$$

клиент i может быть обслужен на доставку и возврат заказа ТС v из депо $u \in V_h$ только, если v проходит через i :

$$y_i^{vu} + d_i^{vu} \leq (q_{it} + p_{it}) \sum_{j=1}^n x_{ij}^{vu}; i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; \quad (5)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k; t = 1, \dots, t_{predict};$$

спрос каждого клиента должен быть удовлетворен:

$$\sum_{v=1}^{m_u} y_i^{vu} \leq q_{it}; i = 1, \dots, n; \quad (6)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k; t = 1, \dots, t_{predict};$$

объем требования каждого клиента на возврат заказа должен быть удовлетворен:

$$\sum_{v=1}^{m_u} d_i^{vu} \leq p_{it}; i = 1, \dots, n; \quad (7)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k; t = 1, \dots, t_{predict};$$

масса контейнеров с заказом, размещенных в ТС v , не должна превышать грузоподъемности ТС v :

$$\sum_{i=1}^n (y_i^{vu} + d_i^{vu}) \leq Q_v; v = 1, \dots, m_u; \\ u = n + 1, \dots, n + k; \quad (8)$$

учитываются временные окна:

$$a_i \leq \sum_{v \in [\underline{v}, \bar{v}]} w_i^{vu} \leq b_i; \forall i \in \{1, \dots, n\}; \quad (9)$$

$$a_i \leq w_i^{vu} \leq b_i; \forall v \in [\underline{v}, \bar{v}]; i \in V_c; \quad (10)$$

$$w_j^{vu} \geq w_i^{vu} + s_i + e_{ij}; \forall i, j \in \{1, \dots, n\}; \quad (11)$$

и M -дневное планирование доставки контейнеров с заказом:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (e_{ij} + s_i) \leq M; \quad (12)$$

контейнеры с заказом должны вмещаться в ТС v :

$$fpack^v = \begin{cases} \leq 1, & penalty_pack^v = 0, \\ > 1, & penalty_pack^v = \text{const}; \end{cases} \quad (13)$$

выбираются контейнеры минимальной стоимости и максимальной заполненности их заказом $num_z \geq 0$, целые, $z = 1, \dots, |Item_{cyb}| + |Item_{par}|$; (14)

$$\sum_z vol_z num_z \leq q_{it}, z=1, \dots, N; t=1, \dots, tpredict, i \in V_c. \quad (15)$$

2. Алгоритм для решения задачи доставки однородного заказа различным клиентам (RHPD-EVRP)

Для решения задачи RHPD-EVRP был разработан алгоритм, состоящий из двух основных шагов. Приведем общую схему алгоритма, каждый шаг которого — это выполнение ряда процедур.

Общая схема решения задачи RHPD-EVRP

Шаг 1. Процедура SCS (выход: стратегия с меньшими средними общими затратами) [5].

Шаг 1.1. Генерирование случайных величин: (объем спроса, промежутки между возникновением спроса).

Шаг 1.2. Моделирование работы склада для каждой стратегии.

Шаг 1.3. Подсчет затрат на хранение, рассчитать издержки, связанные с дефицитом и средние общие затраты.

Шаг 1.4. Выбор наилучшей стратегии (исходя из критерия наименьших средних общих затрат).

Шаг 2. Процедура МАРШРУТИЗАЦИЯ (выход: число депо r ; координаты депо x_u, y_u ; объем спроса клиентов в грузе q_{iinit} ; число городов и клиентов n ; координаты городов и клиентов x_i, y_i ; расстояния между пунктами i и j c_{ij} для всех пунктов i и j ; время в пути между пунктами i и j e_{ij} для всех пунктов i и j ;

параметры алгоритма α, β ; феромон τ_{ij} ; период времени M , за который должны быть обслужены все клиенты; время обслуживания s_i в городе i ; граничные значения временных окон a_i, b_i ; число агентов l ; штраф за начало обслуживания клиента после окончания временного окна, связанного с этим клиентом, $penalty_time$; упаковки параллелепипедной формы с известной длиной lp_i , шириной wp_i , высотой hp_i , массой mp_i ; упаковки цилиндрической формы itc_k с известным радиусом rc_k , высотой hc_k , массой mc_k ; число ТС m ; ТС v с известной длиной L^v , шириной W^v , высотой H^v , грузоподъемностью Q_v ; стоимость упаковок h_z ; число упаковок цилиндрической формы $Item_{cyb}$; число упаковок параллелепипедной формы $Item_{par}$; объем упаковок vol_z ;

выход: матрица, состоящая из R рациональных маршрутов, карта размещения заказа в ТС v , значение $fpack^v$ ТС v).

В процедуре МАРШРУТИЗАЦИЯ реализованы алгоритмы: Кини—Райфа, ближайшего соседа, заметания, муравьиной колонии ($P-ACO-EVRP$). Вначале строится исходный граф маршрутов $G = (V, A)$, из которого формируется матрица расстояний c_{ij} , к которой применяется метод Кини — Райфа [8], позволяющий выбрать дуги графа, удовлетворяющие взаимонезависимым по предпочтениям условиям Y^1, \dots, Y^k (например, качество дорог, уровень преступности на дорогах и т.д.). В преобразованном графе $G' = (V', A')$, из которого формируется матрица расстояний c'_{ij} , ищется кратчайший путь по алгоритму муравьиной колонии, основанному на популяции ($Population Based Ant Colony Optimization, P-ACO$) [1].

Для распределения множества клиентов с координатами x_i, y_i по депо применяется метод ближайшего соседа, при этом каждый клиент ассоциируется с ближайшим к нему депо, в результате вычисляются координаты клиентов x_i^u, y_i^u , связанных с каждым депо u . Алгоритм заметания [4] используется для распределения множества клиентов с координатами x_i^u, y_i^u по транспортным средствам. Вначале происходит разбиение множества клиентов на группы. Далее маршрут строится отдельно для каждой из созданных групп.

Основная идея алгоритма заметания состоит в следующем. Пусть каждая вершина i (клиент i) представлена ее полярными координатами (θ_i, ρ_i) , где θ_i — угол, ρ_i — длина радиуса. Зададим значение $\theta_{i^*} = 0$ произвольной вершине i^* и вычислим все оставшиеся углы относительно $(0, i^*)$.

Алгоритм выполняет следующие действия:

1. Берется неиспользованное ТС k .

2. Строится маршрут с вершины, имеющей наименьший угол. ТС k приписываются вершины до тех пор, пока не будет достигнута его максимальная грузоподъемность Q_k или нарушено условие рационального размещения заказа внутри ТС k . Для анализа условия рационального размещения

заказа внутри ТС k используется процедура РАЗМЕЩЕНИЕ_ЗАКАЗА (вход: $num = (num_1, \dots, num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|})$, $itp_i, lp_i, wp_i, hp_i, mp_i, itc_k, rc_k, hc_k, mc_k, L^v, W^v, H^v, Q_v$; выход: $fpack^v$). Если $fpack^v > 1$, условие рационального размещения заказа внутри ТС нарушено.

3. Если остались неиспользованные вершины, то процедуру необходимо повторить для другого ТС.

4. Для каждого ТС решается задача доставки однородного заказа различным клиентам.

На рисунке приведена иллюстрация алгоритма заметания для решения задачи маршрутизации, где номера вершин — это клиенты.

Приведем общую схему процедуры МАРШРУТИЗАЦИЯ, реализующей алгоритм получения рациональных маршрутов доставки требуемого заказа автомобильными транспортными средствами различным клиентам, состоящую из пяти шагов.

Шаг 2.1. **Метод Кини — Райфа**

Шаг 2.2. **Метод БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА** (процедура распределения клиентов по депо

Шаг 2.3. **Алгоритм ЗАМЕТАНИЯ** (процедура распределения клиентов по транспортным средствам)

Шаг 2.4. **Процедура поиска рациональных маршрутов P-АСО-EVRP** включает следующие шаги:

Шаг 2.4.1. **ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ**

Шаг 2.4.2. **ВЫБОР УПАКОВКИ**

Шаг 2.4.3. **РАЗМЕЩЕНИЕ ЗАКАЗА**

Шаг 2.4.4. **ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦЫ ПОПУЛЯЦИИ**

Шаг 2.5. **Улучшающая процедура 2_OPT_INTERCHANGE**

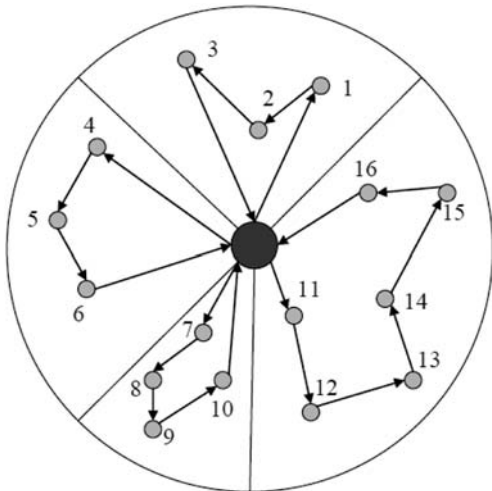
Более подробно процедура поиска рациональных маршрутов P-АСО-EVRP рассмотрена в работе [6].

Рассмотрим процедуры:

ВЫБОР_УПАКОВКИ,

РАЗМЕЩЕНИЕ_ЗАКАЗА,

ВЫЧИСЛЕНИЕ_МАТРИЦЫ_ПОПУЛЯЦИИ.



Алгоритм заметания для задачи маршрутизации

РАЗМЕЩЕНИЕ_ЗАКАЗА

Для выдачи карты размещения заказа в ТС применяется алгоритм, описанный в работе [7] (либо можно использовать, если необходимо, любую библиотеку с функцией размещения предметов внутри ТС).

ВЫБОР_УПАКОВКИ

Из упаковок с наибольшей потребительской оценкой находят упаковки наименьшей стоимости и максимальной заполненности заказом с помощью метода динамического программирования [9].

1. Если $z < vol_0 = vol_1$, то $f(z) = 0$ для всех таких z , иначе.

2. Если $z \in [vol_0, q_{ji}]$, то $f(z) = \min_{i \in I_z} \{-h_i - f(z - vol_i)\}$, $I_z = \{i | vol_i \leq z\}$.

3. Получение требуемого набора упаковки $num = (num_1, \dots, num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|})$.

ВЫЧИСЛЕНИЕ_МАТРИЦЫ_ПОПУЛЯЦИИ

(вход: l, P

выход: обновленная матрица популяции P')

Если $|P| = l$, то удалить самое "худшее" решение $\tilde{\pi}$ из популяции:

$P' = P - \tilde{\pi}$.

Определить самое лучшее решение итерации π^* и добавить его в популяцию:

$P' = P + \pi^*$.

Вычислить новую матрицу феромона τ_{ij} из P [3].

Используется следующий критерий остановки: если $STOP = \text{const}$, где $STOP$ — число шагов, то считается, что критерий остановки выполнен.

Выбор очередного города или клиента проводится случайным образом на основе вероятностной формулы:

$$p_{ij}^l = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{z \in N^l} [\tau_{iz}(t)]^\alpha [\eta_{iz}]^\beta}, & \text{если } j \in N^l, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (16)$$

где N^l — множество вершин, которые агент l еще не посетил; $\eta_{ij} = 1/c_{ij}$ — эвристическая информация; величина $\tau_{ij}(t)$, где t — номер итерации, является уровнем феромона, который показывает "желательность" перехода в вершину j из вершины i , другими словами, желательность появления ребра (i, j) в решении; параметры α и β — параметры алгоритма, показывающие относительное влияние феромона и эвристической информации.

Заключение

В статье был изложен подход для решения задачи PHPD-EVRP доставки однородного заказа различным клиентам. При этом предложено вначале сформировать заказ, затем решать задачу маршрутизации для его доставки. Ядром решения этой задачи является модификация алгоритма муравьиной колонии, основанного на популяции, вклю-

чающая следующие подалгоритмы: Кини — Райфа, ближайшего соседа, заметания, позволяющих выбрать в дорожном графе только те дуги, которые удовлетворяют некоторым предпочтениям, например, качество дорог, плотность дорог (алгоритм Кини — Райфа); распределить всех клиентов по ближайшим к ним депо (метод ближайшего соседа); достаточно быстро построить начальное решение, предварительно распределив клиентов между депо (алгоритм заметания). Кроме того, разработанная модификация алгоритма муравьиной колонии, основанного на популяции, позволяет получать рациональные маршруты доставки однородного продукта (заказа) различным клиентам с одновременным учетом различных ограничений, таких как грузоподъемность транспортного средства (ТС), временные окна, период планирования, множество депо, раздельная доставка, неоднородный парк ТС, возможность возврата груза, а также позволяет учитывать рациональное размещение груза (заказа) в ТС во время построения рациональных маршрутов доставки.

1. **Angus D.** Population-Based Ant Colony Optimisation for Multi-objective Function Optimisation // *Proceedings ACAL*. 2007. P. 232—244.
2. **Langevin A., Riopel D.** *Logistics Systems: Design and Optimization*. New York: Springer, 2005. 388 p.
3. **Scheuermann B., So K., Guntsch M., Middendorf M., Dessel O., ElGindy H., Schmeck H.** FPGA implementation of population-based ant colony optimization // *Applied Soft Computing*, 2004. P. 303—322.
4. **Zhishuo L., Yueting C.** Sweep Based Multiple ant colonies algorithm for capacitated vehicle routing problem // *e-Business Engineering*, 2005. P. 387—394.
5. **Валеева А. Ф., Валеев Р. С., Тарасова Т. Д., Газизова Э. И.** О задаче доставки однородного продукта различным клиентам с учетом решения задач управления запасами, маршрутизации и складирования // *Логистика и управление цепями поставок*. 2015. № 2 (67). С. 55—69.
6. **Валеева А. Ф., Гончарова Ю. А., Кошечев И. С.** Разработка логистической транспортной системы для решения задачи доставки груза различным клиентам. Часть 1 // *Информационные технологии*. 2013. № 12. С. 127—134.
7. **Валеева А. Ф., Гончарова Ю. А., Кошечев И. С.** Разработка логистической транспортной системы для решения задачи доставки груза различным клиентам. Часть 2 // *Информационные технологии*. 2014. № 1. С. 9—14.
8. **Кини Р. Л., Райф Х.** Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
9. **Юсупова Н. И., Валеева А. Ф., Рассадникова Е. Ю., Кошечев И. С., Латыпов И. М.** Многокритериальная задача доставки грузов различным потребителям // *Логистика и управление цепями поставок*. 2011. № 46. С. 60—81.

A. F. Valeeva, D. Sc., Professor, e-mail: aida_val2004@mail.ru; **Ju. A. Goncharova**, Postgraduate, **R. S. Valeev**, PhD., Associate Professor, Ufa State Aviation Technical University

An Approach for the Operational Planning Problems of Homogeneous Goods Delivery to Different Customers. Part 1

The operational planning problems solving of homogeneous goods delivery to different customers such as inventory management and looking for rational routes of goods delivery are considered in this article. The algorithm for searching the best inventory management strategy and a modified population based ant colony optimization algorithm (P-ACO) for getting the rational routes of homogeneous goods delivery to different customers are presented. At the same time a modified P-ACO algorithm takes into account different restrictions such as vehicle capacity, time windows, planning period, multiple depots, split delivery, heterogeneous fleet of vehicles, goods pickup and the rational goods packing at the time of rational routes construction. A considered modified P-ACO algorithm includes the following algorithms: Kini—Raif, nearest neighbor, sweep algorithm for selecting in the road graph only those arcs that satisfy some preferences (for example, the quality of roads, road tax) (Kini—Raif algorithm); for distribution all the customers to closest depot (nearest neighbor algorithm); for fast building of initial solution with pre-allocating customers among the depots (sweep algorithm).

Keywords: inventory management, routing, goods packing in vehicles, population based ant colony optimization algorithm

References

1. **Angus D.** Population-Based Ant Colony Optimisation for Multi-objective Function Optimisation, *Proceedings ACAL*, 2007, pp. 232—244.
2. **Langevin A., Riopel D.** *Logistics Systems: Design and Optimization*. New York: Springer, 2005. 388 p.
3. **Scheuermann B., So K., Guntsch M., Middendorf M., Dessel O., ElGindy H., Schmeck H.** FPGA implementation of population-based ant colony optimization, *Applied Soft Computing*, 2004, pp. 303—322.
4. **Zhishuo L., Yueting C.** Sweep Based Multiple ant colonies algorithm for capacitated vehicle routing problem, *e-Business Engineering*, 2005, pp. 387—394.
5. **Valeeva A. F., Valeev R. S., Tarasova T. D., Gazizova Je. I.** О задаче доставки однородного продукта различным клиентам с учетом решения задач управления запасами, маршрутизации и

складирования, *Логистика и управление цепями поставок*, 2015, no. 2 (67), pp. 55—69 (in Russian).

6. **Valeeva A. F., Goncharova Ju. A., Koshchev I. S.** Razrabotka logisticheskoy transportnoj sistemy dlja reshenija zadachi dostavki gruzu razlichnym klientam. *Chast' 1, Informacionnye tehnologii*, 2013, no. 12, pp. 127—134 (in Russian).

7. **Valeeva A. F., Goncharova Ju. A., Koshchev I. S.** Razrabotka logisticheskoy transportnoj sistemy dlja reshenija zadachi dostavki gruzu razlichnym klientam. *Chast' 2, Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 1, pp. 9—14 (in Russian).

8. **Kini R. L., Rajf H.** *Prinjatje reshenij pri mnogih kriterijah: predpochtenija i zameshenija*, Moscow, Radio i svjaz', 1981, 560 p. (in Russian).

9. **Jusupova N. I., Valeeva A. F., Rassadnikova E. Ju., Koshchev I. S., Lатыпов I. М.** Многокритериальная задача доставки грузов различным потребителям, *Логистика и управление цепями поставок*, 2011, no. 46, pp. 60—81 (in Russian).