

Сопротивление  $R$  обратно пропорционально значению  $S$  (рис. 10). На участках сети могут быть включены компоненты, моделирующие транспортные расходы. Кроме того, параллельно  $R_i$  могут быть включены компоненты, моделирующие потери за счет отсутствия ресурса (потери за счет сокращения ассортимента).

Очевидно, что полученные результаты имеют

весьма приближенный характер. Однако, учитывая, что решение принимается в условиях неполной определенности и зависит от многих дополнительных факторов, эти результаты вполне могут быть использованы в качестве рекомендательных и как контрольные, во избежание грубых ошибок при принятии решений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ. - М.: Радио и связь, 1982, 160с.
2. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Автоматизация моделирования многосвязных механических систем. - М.: Машиностроение, 1987, 240 с.

□Автор статьи:

Арайс  
Евгений Александрович  
- докт.техн.наук (Рижский  
Технический Университет)

**УДК 656.135.073**

**А.Ю. Тюрин**

## ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДОСТАВКИ МЕЛКОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ

Эффективность доставки мелкопартионных грузов зависит от своевременной подготовки отгрузочных партий, разработки сроков завоза продукции и маршрутизации перевозок. При этом особую трудность вызывает составление развозочных маршрутов доставки грузов, так как для больших сетей решение этой задачи точными методами приводит к значительным затратам времени.

В связи с этим в данной статье рассматриваются вопросы применения эвристических методов решения задачи развоза продукции. Среди известных методов широко применяется метод Кларка-Райта [1], построенный на экономии при объединении маятниковых маршрутов в развозочные. Однако данный метод имеет ряд существенных недостатков, среди которых можно выделить нечеткий выбор транспортного средства при формировании маршрута, неправильное построение порядка

объезда пунктов на маршруте, приводящее к увеличению общего пробега подвижного состава, возможность зацикливания (отсутствие конечного результата) при решении задачи на ЭВМ.

Данные недостатки можно частично устранить, используя метод сумм при решении задачи коммивояжера, перестановкой пар пунктов в предварительном маршруте.

Дальнейшим развитием метода Кларка-Райта стал эвристический способ решения задачи развозки на основе обобщенной задачи назначения, разработанный Фишером и Якумаром [2].

Рассмотрим данный алгоритм подробнее, используя следующие обозначения:  $n$  – число пунктов сети, отправитель (склад) имеет номер  $n$ ,  $p$  – число неоднородных транс-

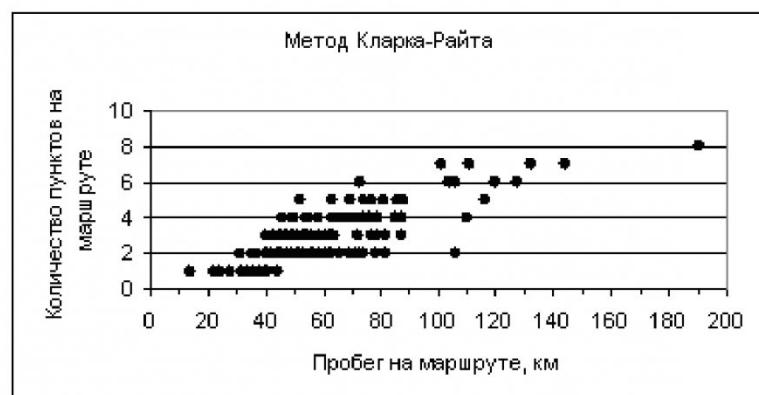


Рис. 1. Диаграмма «количество пунктов - пробег» для 186 маршрутов, полученных методом Кларка-Райта

портных средств различной грузоподъемности,  $Q_k$  – грузоподъемность автомобиля с номером  $k$ ,  $q_i$  – заявка на перевозку от потребителя с номером  $i$ ,  $\|c_{ij}\|$  – матрица стоимости переезда между смежными пунктами транспортной сети  $G=(V,E)$ .

Допустим, что

$x_{ijk}=1$ , если транспортное средство с номером  $k$  непосредственно переходит из пункта  $i$  в пункт  $j$ , и  $=0$  в противном случае;

$y_{ik}=1$ , если пункт  $i$  обслуживается транспортным средством с номером  $k$ , и  $=0$  в противном случае.

Тогда задача развозки может быть записана в виде:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p c_{ij} x_{ijk} \rightarrow \min(1)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n q_i y_{ik} \leq Q_k, \quad k = \overline{1, p}; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^p y_{ik} = \begin{cases} p, & \text{если } i = n; \\ 1, & \text{если } i = \overline{1, n-1}; \end{cases} \quad (3)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, p}; \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = y_{jk}, \quad j = \overline{1, n}; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = y_{ik}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S|-1, \quad (7)$$

$$S \subseteq V, \quad 2 \leq |S| \leq n-1; \\ x_{ijk} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Алгоритм начинается с разбивки множества пунктов на  $p$  подмножеств (зон), где в каждой зоне обслуживать потребителей будет  $k$ -й автомобиль. После этого выбирается  $p$  резидентных пунктов и подсчитывается коэффициент  $d_{ik}$  по фор-

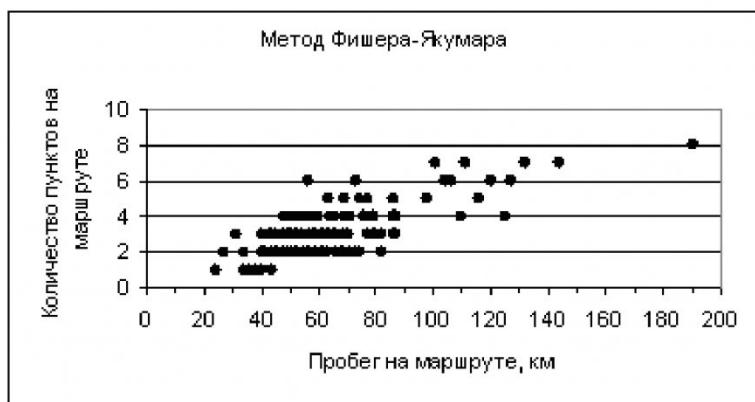


Рис. 2. Диаграмма «количество пунктов - пробег» для 192 маршрутов, полученных методом Фишера-Якумара

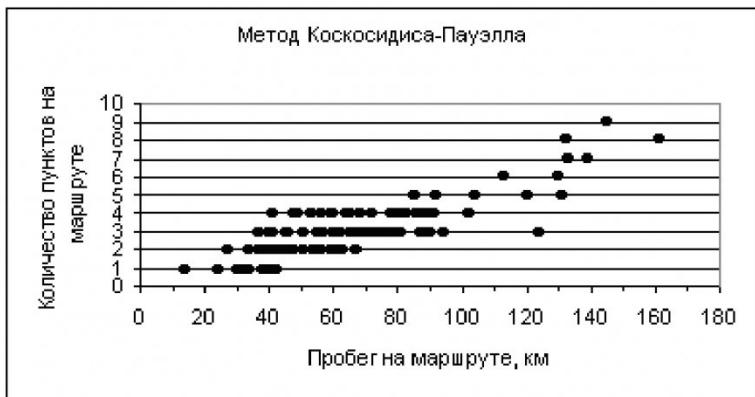


Рис. 3. Диаграмма «количество пунктов - пробег» для 195 маршрутов, полученных методом Коскосидиса-Паузэлла

муле

$$d_{ik} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{ni} + c_{ik} + c_{kn}, \\ c_{nk} + c_{ki} + c_{in} \end{array} \right\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, p}. \quad (9)$$

После вычисления коэффициентов  $d_{ik}$  решается обобщенная задача назначения и формируется  $p$  предварительных замкнутых маршрутов перевозки. В заключение решается задача коммивояжера для каждого маршрута и формируются окончательные маршруты доставки мелкопартионных грузов потребителям.

Существенный недостаток метода Фишера и Якумара состоит в том, что резидентные пункты в процессе действия метода не могут быть передвинуты, и поэтому суммарная длина всех маршрутов является завышенной.

Чтобы ликвидировать этот недостаток был предложен эв-

ристический алгоритм Коскосидиса и Паузэлла [3], в котором выбор начального пункта для маршрута может изменяться в процессе действия алгоритма.

В данном алгоритме не решается обобщенная задача назначения, а вычисляются потери в связи с включением пары пунктов в маршрут. После того как предварительно сформированы все маршруты, возможен обмен пунктами между двумя маршрутами, который не превышает грузоподъемности автомобиля и снижает общие издержки (пробег) подвижного состава. Дополнительно в алгоритме может быть использована возможность включения пар пунктов в уже сформированные маршруты и пересмотр маршрутов с целью снижения критерия оптимальности (расстояния, стоимости проезда и т.д.)

Рассмотрим экспериментальные результаты использования трех эвристических ал-

горитмов для формирования плана развоза мелкопартионных грузов, описанных выше. Расчеты производились для транспортных сетей, включающих 17, 40 и 60 потребителей соответственно. Помимо этого задавался набор транспортных средств неодинаковой грузоподъемности, позволяющий более гибко планировать маршрут доставки мелкопартионных грузов.

При формировании развозочных маршрутов возникали ситуации невключения пункта в окончательный маршрут или зацикливания программы (отсутствие конечного результата). В основном эти ситуации характерны для метода Кларка-Райта, так как он перебирает выигрыши в порядке убывания значений и возможны случаи превышения грузоподъемности

транспортного средства при включении пункта с большим значением выигрыша.

На рис. 1 – 3 показаны соотношения между количеством пунктов на маршруте и длиной этого маршрута для трех эвристических методов. Приведенные данные показывают, что длина маршрутов, полученных методом Кларка-Райта, лежит в пределах от 20 до 90 км, а число

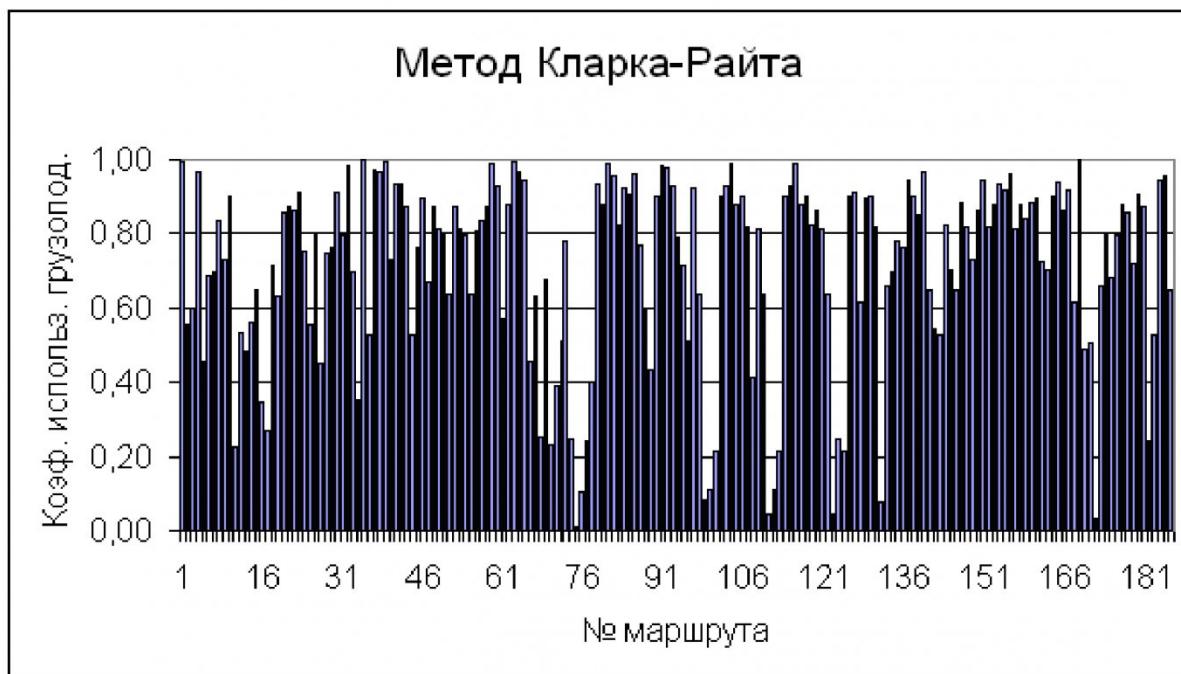


Рис. 4. Коэффициент использования грузоподъемности для метода Кларка-Райта

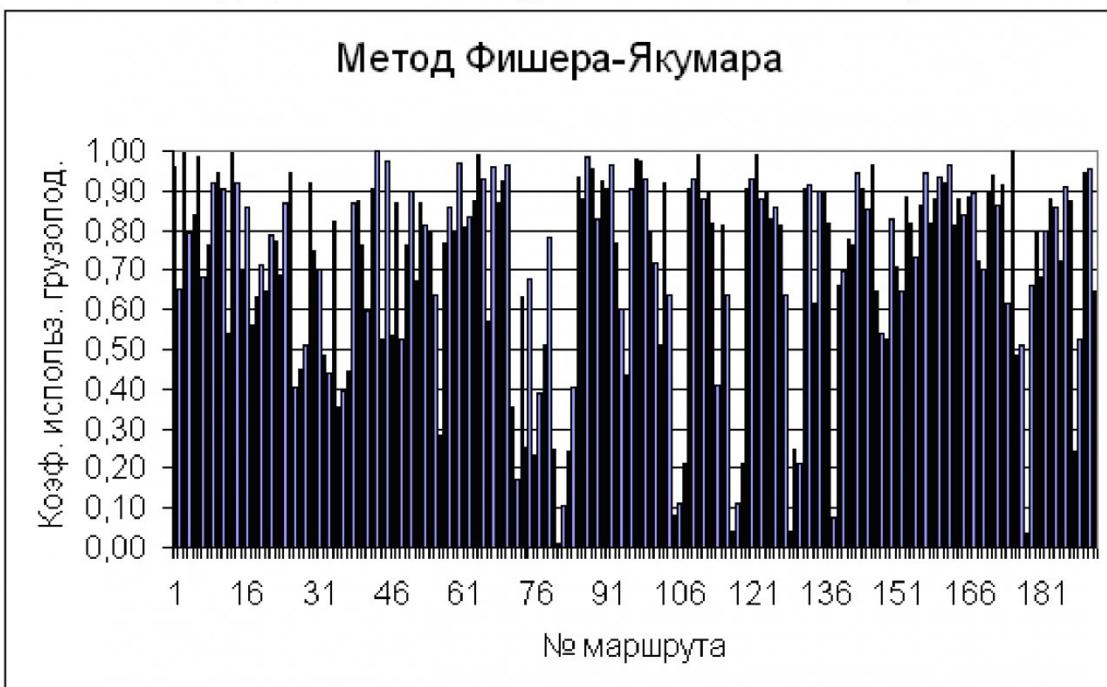


Рис. 5. Коэффициент использования грузоподъемности для метода Фишера-Якумара

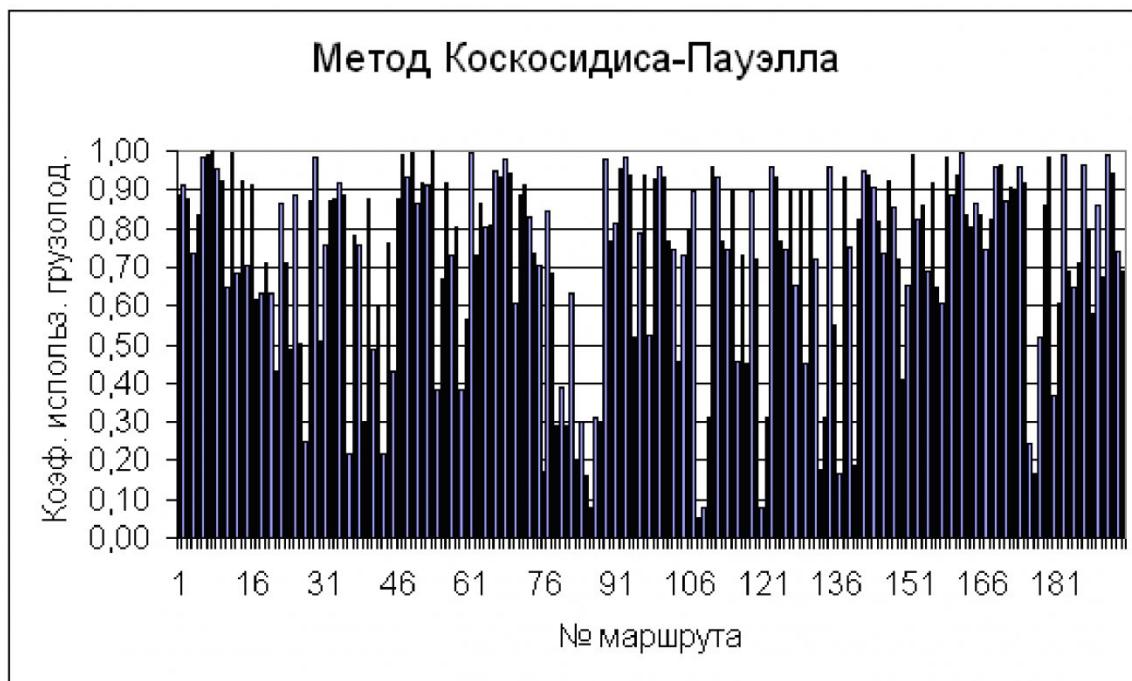


Рис. 6. Коэффициент использования грузоподъемности для метода Коскосидиса-Пауэлла

пунктов на этих маршрутах варьируется от 1 до 4.

Метод Фишера и Якумара

дает более компактный разброс значений пробега автомобилей, находящегося в границах от 35

до 90 км. При этом количество пунктов на маршруте не превышает 4. Примерно такие же

#### Сводные показатели по трем методам

№ п/п	Метод Кларка-Райта		Метод Фишера-Якумара		Метод Коскосидиса-Пауэлла	
	Количество обслуженных пунктов	Общий пробег, км	Среднее расстояние перевозки, км	Количество обслуженных пунктов	Общий пробег, км	Среднее расстояние перевозки, км
17 пунктов						
1	17	285	16,8	17	275	16,2
2	14	282	20,1	16	276	17,3
3	10	306	30,6	15	415	27,7
4	17	358	21,1	17	480	28,2
5	17	324	19,1	15	382	25,5
6	16	222	13,9	14	189	13,5
7	17	288	16,9	16	286	17,9
8	17	272	16	17	352	20,7
9	17	244	14,4	17	210	12,4
10	15	307	20,5	15	339	22,6
11	17	329	19,4	17	350	20,6
40 пунктов						
12	40	767	19,2	40	761	19
13	40	618	15,5	40	754	18,9
14	40	849	21,2	40	864	21,6
15	40	783	19,6	40	790	19,8
16	40	769	19,2	40	762	19,1
60 пунктов						
17	60	1354	22,6	60	1264	21,1
18	55	1303	23,7	55	1293	23,5
19	60	1392	23,2	60	1369	22,8

результаты имеет метод Коскосидиса и Пауэлла при смещении размаха пробега вправо (от 35 до 95 км) и с диапазоном числа пунктов на маршруте от 1 до 4.

Следовательно, применение метода Кларка-Райта возможно при вытягивании траектории маршрута по радиусу, значительном удалении пунктов обслуживания друг от друга, а также в случае радиально-кольцевой планировки улично-дорожной сети.

Метод Фишера и Якумара, как и метод Коскосидиса и Пауэлла, необходимо использовать при незначительном удалении пунктов друг от друга, при зональном распределении объектов обслуживания и в случае прямоугольной планировки улично-дорожной сети.

С помощью трех методов были рассчитаны коэффициенты использования грузоподъемности для каждого маршрута, которые характеризуют эффективность загрузки транспортного средства при выполнении доставки продукции. Результаты

представлены на рис. 4 – 6.

Среднее значение коэффициента использования грузоподъемности для методов Кларка-Райта, Фишера-Якумара и Коскосидиса-Пауэлла соответственно составляет 0,718, 0,717 и 0,725 ; среднеквадратическое отклонение – 0,249, 0,249 и 0,247, а коэффициент вариации – 0,347, 0,348 и 0,341.

Отсюда следует вывод, что метод Коскосидиса-Пауэлла дает лучшие показатели загрузки подвижного состава по сравнению с другими методами. Для оценки эффективности применения конкретного эвристического метода были получены сводные показатели по всем задачам, которые представлены в таблице.

Из таблицы следует, что для 17 пунктов потребления среднее расстояние перевозок меньше для методов Коскосидиса-Пауэлла и Кларка-Райта, но у метода Кларка-Райта наблюдается меньше обслуженных пунктов. Для 40 пунктов потребления опять лучшие пока-

затели имеют методы Коскосидиса-Пауэлла и Кларка-Райта. При обслуживании 60 потребителей лучшие результаты наблюдаются при использовании методов Фишера-Якумара и Коскосидиса-Пауэлла.

Учитывая степень загрузки транспортных средств и среднее расстояние перевозки, для больших транспортных сетей (с количеством потребителей более 200) надо использовать рассмотренные выше эвристические методы в следующем порядке убывания приоритета:

- метод Коскосидиса-Пауэлла;
- метод Фишера-Якумара;
- метод Кларка-Райта.

Очень часто при организации доставки мелкопартионных грузов накладываются ограничения на время завоза продукции, поэтому применение первых двух методов по приоритету позволит получить лучшие показатели за приемлемое время решения задачи на ЭВМ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clark G., Write J. W. Scheduling of vehicles from central depot to a number delivery points // Oper. Res. Quart.– 1964. – 12, № 4. – P. 568-581.
2. Fisher M., Jaikumar R. A generalized assignment heuristic for vehicle routine // Networks. – 1981. – 11, № 1. – P. 109-124.
3. Koskosidis Y. A., Powell W.B. Clustering algorithms for consolidation of customer orders into vehicle shipments // Transpn. Res-B. – 1992. – 26B, № 5. – P. 365-379.

Автор статьи:

Тюрин  
Алексей Юрьевич  
– канд. экон. наук, доц. каф. автомобильных перевозок