

УДК 658.7

## ВЫБОР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА РАЗЛИЧНОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПО СЕТИ

А.Ю. Тюрин, д-р экон. наук, доцент, профессор

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово

Автомобильный транспорт является связующим звеном в цепи «поставщик-производитель-потребитель» при поставках широкой номенклатуры товаров на малые и большие расстояния. Ключевой задачей в транспортной логистике является выбор подвижного состава для перевозок грузов. Дополнительно данная задача решается совместно с задачами построения маршрутов доставки товаров и согласования транспортных, складских и производственных процессов. В связи с этим выбирается определенная модель [1] и метод решения задач [2-5]. При формировании маршрутов перевозок используются автомобили одинаковой и различной грузоподъемности [6-7]. Многообразие подходов и методов решения задач транспортной логистики обусловлено различными целями, ограничениями, областью применения и другими факторами функционирования логистической системы. В [8] предложен вариант выбора подвижного состава с учетом типоразмеров используемой тары при перевозках грузов пищевой промышленности. В данной статье предлагается иной подход к выбору подвижного состава различной грузоподъемности для выполнения перевозок в логистической системе, в которой учитывается взаимосвязь тактических и оперативных задач [9-10].

Рассмотрим задачу использования транспортных средств различной грузоподъемности для выполнения перевозок грузов поподробнее. На практике ввиду различия в объемах перевозок, расстояниях доставки и по другим причинам чаще всего используются автомобили различной грузоподъемности, поэтому возникает задача подбора количественного состава автомобилей каждой грузоподъемности.

Для этого выберем переменную  $n_{e_j}$ , характеризующую общее число рейсов автомобилей  $j$ -й грузоподъемности, которая определяется из выражения

$$n_{e_j} = \sum_{i=1}^{A_{Mj}} n_{eij}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер автомобиля;  $A_{Mj}$  - количество автомобилей  $j$ -й грузоподъемности.

В данном выражении используется основная управляемая переменная  $A_{Mj}$ , которая влияет на транспортные издержки при сохранении объема перевозок.

Количество рейсов, выполняемых  $i$ -м автомобилем  $j$ -й грузоподъемности, задается заранее, либо определяется по формуле:

$$n_{ej} = \left[ \frac{T_{Mij}}{t_{обj}} \right] \quad (2)$$

где  $T_{Mij}$  – время работы  $i$ -го автомобиля  $j$ -й грузоподъемности на маршрутах;  $t_{обj}$  - время оборота на  $j$ -м маршруте.

Среднее расстояние перевозки 1 т груза определяется по формуле:

$$l_{cp} = \frac{W_{сут}}{P_{сут}}, \quad (3)$$

где  $W_{сут}$  – суточный грузооборот;  $P_{сут}$  – суточный объем перевозок по сети.

При решении задачи учитывается ограничение

$$\sum_{j=1}^M q_j \gamma_{стj} n_{ej} \leq P_{сут} K_{п}^{сут} \quad (4)$$

где  $M$  – общее количество различных типов грузоподъемности автомобилей;  $q_j \gamma_{стj}$  – рейсовая загрузка автомобиля  $j$ -й грузоподъемности;  $K_{п}^{сут}$  – повышающий коэффициент, гарантирующий выполнение суточной программы поставок продукции на сеть.

Выражение (4) можно переписать, используя среднее количество рейсов, выполняемое 1 автомобилем  $j$ -й грузоподъемности за сутки  $n_{e cpj}$ :

$$\sum_{j=1}^M q_j \gamma_{стj} n_{e cpj} A_{Mj} \leq P_{сут} K_{п}^{сут} \quad (5)$$

Дополнительно учитываются ограничения на количественный состав автомобилей  $j$ -й грузоподъемности в парке  $A_{M паркj}$  на текущие сутки, на целочисленность и неотрицательность переменных  $A_{Mj}$ :

$$A_{Mj} \leq A_{M паркj}, \quad j = 1, M, \quad (6)$$

$$A_{Mj} \geq 0 \text{ и целое}, \quad j = 1, M. \quad (7)$$

Цель: минимизация транспортных расходов автомобилей различной грузоподъемности по формуле:

$$2l_{cp} \sum_{j=1}^M C_{ткмj} q_j \gamma_{стj} n_{e cpj} A_{Mj} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где  $C_{\text{ткм}} j$  – стоимость 1 ткм при совершении перевозок автомобилями  $j$ -й грузоподъемности.

Рассмотрим пример нахождения оптимального состава автомобилей различной грузоподъемности для выполнения суточной программы доставки готовой продукции потребителям.

Сначала проектируется сеть продвижения материального потока, по которой необходимо переместить 200 т в сутки от 2 поставщиков 10 крупным потребителям, размещенным на некоторой территории.

Вначале на основе информации о местоположении потребителей и расстояниях между ними центроидным методом кластерного анализа [11] производится их группировка в определенные зоны (кластеры) обслуживания и выбирается соответствующее количество распределительных центров для снижения расстояния доставки и стоимости перевозок продукции от поставщиков потребителям. В результате решения данной подзадачи объединение потребителей в кластеры приведено на рисунке 1.

Анализ группировки потребителей по кластерам показывает, что в 1 кластер объединяются пункты 1 и 3, во 2 кластер – пункты 2, 4, 5, 6 и 10 и в 3 кластер – пункты 7, 8 и 9. В дальнейшем решается транспортная задача с промежуточными пунктами [12] с учетом расстояний между всеми участвующими пунктами (таблица 1). При этом используется комбинированная доставка, учитывающая прямую доставку продукции от поставщиков потребителям, поставку через распределительные центры (РЦ), между РЦ и с РЦ потребителям. Оптимальное решение по минимуму грузооборота представлено на рисунке 2 (цифры на схеме определяют объемы перевозок в сутки в тоннах).

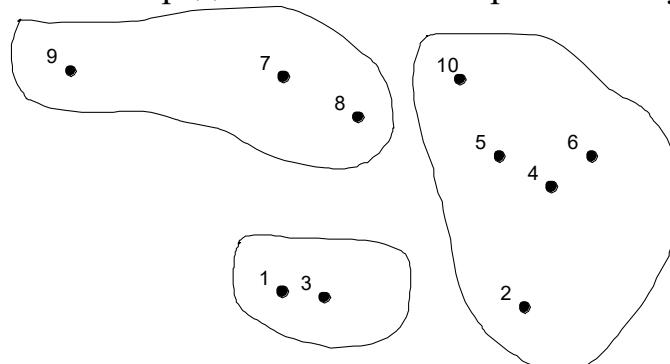


Рисунок 1 – Группировка потребителей по кластерам

Суммарный сетевой поток в сутки составит 310 т, грузооборот – 46820 ткм. Отсюда среднее расстояние перевозки 1 т груза составит 151,03 км. С учетом коэффициента неравномерности перевозок  $K_{\Pi}^{\text{суг}} = 1,05$  суммарный сетевой суточный поток составит 325,5 т. Для перевозок будем использовать автомобили 4 типов - Scania с загрузкой 20 т, Ford с загрузкой 10 т, Hyundai с загрузкой 7 т и Hino с загрузкой 5 т. Стоимость 1 ткм для рассмотренных выше автомобилей соответственно составит 0,72; 1,20; 1,37 и 1,54 р./ткм. Если в

парке больше малотоннажных автомобилей, то оптимальное решение будет представлено в таблице 2.

Таблица 1 – Расстояния между пунктами

	РЦ 1	РЦ 2	РЦ 3	Потр 1	Потр 2	Потр 3	Потр 4	Потр 5	Потр 6	Потр 7	Потр 8	Потр 9	Потр 10
Пост 1	25	230	231	278	190	194	306	281	283	183	12	225	204
Пост 2	106	120	146	168	330	255	446	235	389	104	118	114	344
РЦ 1	0	214	214	262	216	176	333	264	273	166	12	208	230
РЦ 2	214	0	53	48	238	162	354	142	297	44	222	22	252
РЦ 3	214	53	0	47	183	108	300	88	242	45	222	31	198

Примечание. Пост 1-2 (поставщики), Потр 1-10 (потребители), РЦ 1-3 (распределительные центры)

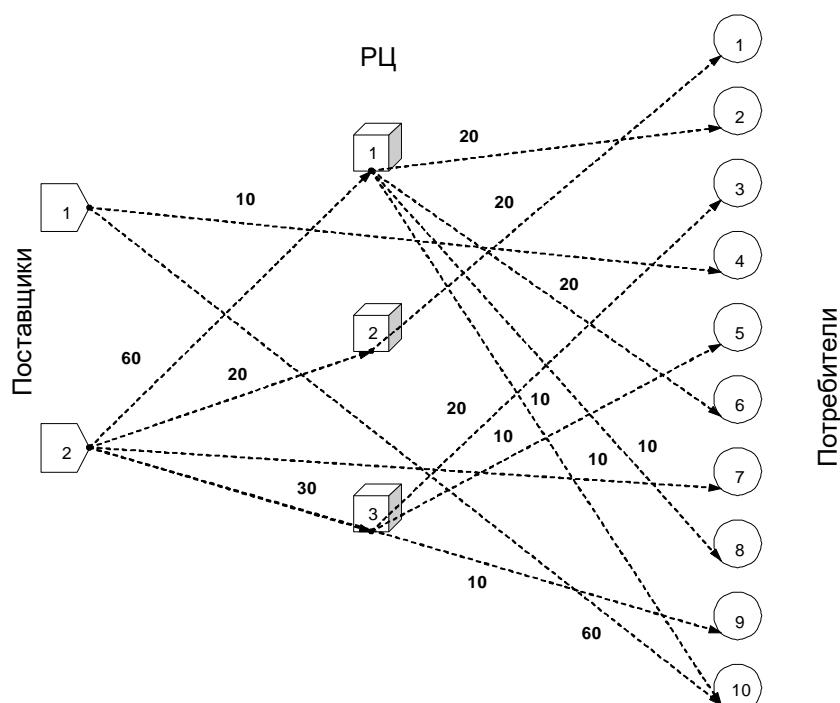


Рисунок 2 – Схема распределения материального потока в сети поставок

Таблица 2 – Количественный состав транспортных средств (1 вариант)

Показатели	Типы автомобилей			
	Scania	Ford	Hyun-dai	Hino
Максимальная загрузка, т	20	10	7	5
Количество рейсов в среднем	1	1	2	3
Стоимость 1 ткм, р./ткм	0,72	1,20	1,37	1,54
Наличный парк транспортных средств	2	2	10	10
Оптимальное количество автомобилей	2	1	9	10
Вывоз продукции по плану, т			325,5	
Вывоз продукции по факту, т			326	
Транспортные расходы, р.			134114,64	

Полученные данные показывают, что необходимо выбрать по 2 автомобиля с загрузкой в 20 т, 1 автомобиль с загрузкой 10 т, 9 автомобилей с загрузкой 7 т и 10 автомобилей с загрузкой 5 т.

Таким образом, ресурсы автомобилей по 20 и 5 т будут использованы полностью, а автомобилей по 10 и 7 т - не полностью. В общем случае будет задействовано 22 автомобиля и транспортные расходы составят 134114,64 р. Если необходимо сократить численный парк транспортных средств или таких автомобилей в парке недостаточно, то при относительно равномерном распределении в парке автомобилей разной грузоподъемности оптимальное решение представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Количественный состав транспортных средств (2 вариант)

Показатели	Типы автомобилей			
	Scania	Ford	Hyun-dai	Hino
Максимальная загрузка, т	20	10	7	5
Количество рейсов в среднем	1	1	2	3
Стоимость 1 ткм, р./ткм	0,72	1,20	1,37	1,54
Наличный парк транспортных средств	7	7	7	7
Оптимальное количество автомобилей	7	6	7	2
Вывоз продукции по плану, т			325,5	
Вывоз продукции по факту, т			328	
Транспортные расходы, р.			106711,76	

В данном решении используется по 7 автомобилей с загрузкой 20 и 7 т, 6 автомобилей с загрузкой 10 т и 2 автомобиля с загрузкой 5 т. В общем случае будет задействовано также 22 автомобиля и транспортные расходы сокращаются с 134114,64 до 106711,76 р.

Наилучший вариант достигается за счет увеличения в парке доли автомобилей с большой грузоподъемностью. Оптимальное решение в этом случае будет представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Количественный состав транспортных средств (3 вариант)

Показатели	Типы автомобилей			
	Scania	Ford	Hyun-dai	Hino
Максимальная загрузка, т	20	10	7	5
Количество рейсов в среднем	1	1	2	3
Стоимость 1 ткм, р./ткм	0,72	1,20	1,37	1,54
Наличный парк транспортных средств	10	10	5	5
Оптимальное количество автомобилей	10	10	2	0
Вывоз продукции по плану, т			325,5	
Вывоз продукции по факту, т			328	
Транспортные расходы, р.			91342,94	

В данном решении также задействовано 22 автомобиля, при этом транспортные расходы сокращаются с 106711,76 до 91342,94 р. Таким образом, можно сделать вывод, что автомобили выбираются в порядке убывания их максимальной загрузки.

**Выводы.** Применение рассмотренной выше методики выбора подвижного состава различной грузоподъемности позволяет гибко распределить транспортные ресурсы по сети обслуживания, повысить скорость и интенсивность доставки товаров за счет закрепления автомобилей за объектами обслуживания. В сочетании с задачами построения маршрутов перевозок задача выбора подвижного состава позволит сократить транспортные расходы, сформировать каналы распределения продукции и повысить гибкость транспортного обслуживания потребителей на большой территории.

#### **Список литературы:**

1. Тюрин А.Ю. Модели транспортного обслуживания в цепях поставок пищевой промышленности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – №4. – С.89-92.
2. Crainic, T.G., Laporte, G. Planning Models for Freight Transportation. // European Journal of Oper. Res. – 1997. – 97(3). – P. 409-438.
3. Dejax, P.J., Crainic, T.G. A Review of Empty Flows and Fleet Management Models in Freight Transportation. // Transp. Sci. – 1987. – 21(4). – P. 227-247.
4. Equi, L., Gallo, G., Marziale, S., Weintraub, A. A Combined Transportation and Scheduling Problem. // European Journal of Oper. Res. – 1997. – 97(1). – P. 94-104.
5. Fumero F., Vercellis C. Synchronized Development of Production, Inventory and Distribution Schedules // Transp. Science. – 1999. – 33 (3). – P. 330-340.
6. Leggieri V., Haouari, M. Lifted polynomial size formulations for the homogeneous and heterogeneous vehicle routing problems. // European Journal of Oper. Res. – 2017. – 263(3). – P. 755–767.
7. Koç Ç., Bektaş T., Jabali O., Laporte G. (2016). Thirty years of heterogeneous vehicle routing. // European Journal of Oper. Res. – 2016. – 249(1). – P. 1–21.
8. Тюрин А.Ю. Особенности формирования транспортных издержек и выбора подвижного состава в логистических системах пищевой промышленности // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007. – №1. – С.121-123.
9. Тюрин А.Ю. Тактико-оперативное планирование работы автотранспорта в логистических системах // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №3. – С.156-162.
- 10.Тюрин А.Ю. Транспортно-логистическое обслуживание цепей поставок пищевой промышленности: автореф. дис. ... докт. экон. наук. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2013. – 45 с.
- 11.Калинина В. Н. Введение в многомерный статистический анализ:

учеб. пособие / В. Н. Калинина, В. И. Соловьев. – М.: ГУУ, 2003. – 66 с.

12. Семериков А. В. Решение транспортных задач: учеб. пособие / А. В. Семериков. – Ухта : УГТУ, 2013. – 58 с.