

УДК 51 + 656.073.29

Н.Г.Лебедева, С.Н. Митричева

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТА ДОСТАВКИ ГРУЗА В СМЕШАННОМ СООБЩЕНИИ НА ОСНОВЕ СЕТЕВОГО ГРАФИКА

Снижение транспортных расходов возможно за счёт применения новых технологий перевозки, реорганизации транспортной инфраструктуры и интеграции транспортных систем. Главным инструментом в указанном процессе является использование нескольких видов транспорта при доставке грузов.

Ключевые слова: логистика, доставка грузов, математические методы.

N.G. Lebedeva, S.N. Mitricheva

ROUTE PLANNING OF CARGO DELIVERY BY DIFFERENT MEANS OF TRANSPORT ON THE BASIS OF THE NETWORK SCHEDULE

Decrease in transportation cost is possible by using new technologies of transportation, reorganization of a transport infrastructure and integration of transport systems. The main tool in the above mentioned process is the use of several means of transport on delivery cargoes.

Key words: logistics, cargo delivery, mathematical methods.

Учитывая приведенные особенности, сетевой график при смешанных перевозках в общем виде можно представить как пространственно зависимые схемы доставки с учетом различных параметров, используемых для принятия управленческого решения (рис. 1). При этом в качестве критериев выбора вариантов доставки предлагается использовать:

- время T ;
- стоимость C ;
- приведенную стоимость, определяемую по формуле

$$C^* = (C_{\text{груза}} + C_T) (1 + \Delta)^n, \quad (1)$$

где C^* – оценка стоимости груза и его доставки с учетом фактора времени (интегральная оценка); $C_{\text{груза}}$ – закупочная стоимость груза; C_T – стоимость перевозки; $(1 + \Delta)^n$ – множитель наращивания процентов по процентной ставке Δ за n периодов, $n = T / 365$.

Каждой работе V_i соответствуют три значения: время T_i , стоимость доставки C_i и интегральный показатель C^* , – которые определяются как сумма дуг по различным вариантам доставки, один из указательных показателей при заданных условиях является основным при принятии управленческого решения о выборе варианта доставки. Условной работе V_1 – «начало доставки, грузоотправитель» – соответствуют три значения, равных нулю.

Дуга сетевого графика представляет собой или процесс непосредственной перевозки груза одним видом транспорта, или выполнение какой-либо работы по погрузке, разгрузке или переработке груза и его оформлению.

Путь следования из одного узла в другой может быть альтернативным, например:

- если дуга означает процесс транспортировки, то наличие двух и более путей свидетельствует о возможности использования на этом маршруте нескольких альтернативных друг другу видов транспорта;
- если дуга означает процесс оформления груза в пункте, то привлечение посредников и отказ от их услуг приведут к появлению нескольких альтернативных друг другу вариантов.

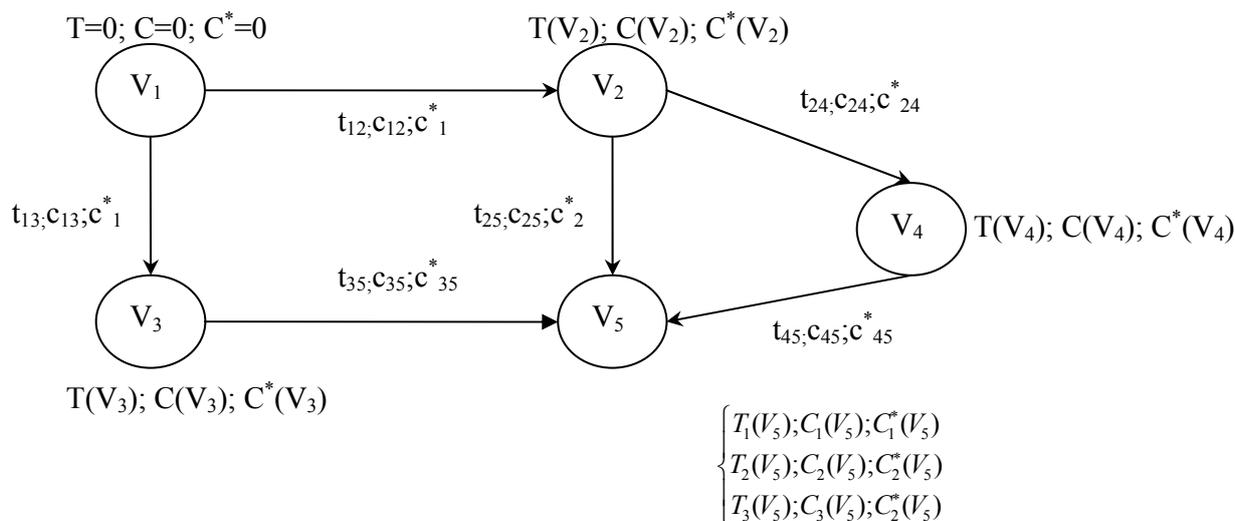


Рис. 1. Сетевой график вариантов доставки груза и его характеристики
 Fig 1. Network schedule of delivery options and its characteristics

Таким образом, для пунктов, где пересекаются альтернативные пути доставки, появляется несколько суммарных значений T , C и C^* (работа V5).

Выбор производится на основе одного определяющего на данный момент времени показателя. В случае если важность показателей имеет примерно одинаковое значение и если ни для одной из схем доставки не оказалось, что все значения ниже, чем для любой другой (тогда выбор очевиден), для выбора схемы перевозки можно использовать критерии принятия решения в условиях неопределенности.

Наиболее известны критерии Лапласа, Вальда, Сэвиджа и Гурвица, позволяющие принять решение в условиях неопределенности на основе анализа матрицы возможных результатов: строки соответствуют возможным действиям R_j (вариантам доставки грузов); столбцы – возможным состоянием «природы» S_j (критериям доставки); элементы матрицы – результат при выборе j -го действия и реализации i -го состояния V_{ji} (рис. 2).

	S_1	S_2	...	S_i	...	S_n
R_1	V_{11}	V_{12}	...	V_{1i}	...	V_{1n}
R_2	V_{21}	V_{22}	...	V_{2i}	...	V_{2n}
...
R_j	V_{j1}	V_{j2}	...	V_{ji}	...	V_{jn}
...
R_m	V_{m1}	V_{m2}	...	V_{mi}	...	V_{mn}

Рис. 2. Общий вид матрицы возможных результатов
 Fig 2. The general form of a matrix of possible outcomes

Критерий Лапласа опирается на принцип недостаточного основания, согласно которому все основания природы S_i ($i = \overline{1, n}$) полагаются равновероятными. Таким образом, каждому состоянию S_i соответствует вероятность q , определяемая по формуле

$$q_i = \frac{1}{n}. \tag{2}$$

Для принятия решения для каждого действия R_j вычисляется среднее арифметическое потерь:

$$M_j(R) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ji}. \quad (3)$$

Среди $M_j(R)$ выбирают минимальное значение, если, как в рассматриваемом случае, матрица возможных результатов представлена матрицей потерь (или максимальное, во всех других ситуациях), которое и будет соответствовать оптимальной стратегии:

$$W = \min \{M_j(R)\}, \quad (4)$$

где W – значение параметра, соответствующее оптимальной стратегии (варианту доставки груза).

Критерий Вальда (минимаксный или максиминный критерий) основан на принципе наибольшей осторожности. В случае когда результат V_{ji} представляет собой потери, при выборе оптимальной стратегии используется минимаксный критерий. Требуется на первом этапе в каждой строке найти наибольший элемент $\max \{V_{ji}\}$, а далее выбирается действие R_j (стока j), которому будет соответствовать наименьший элемент из этих наибольших элементов:

$$W = \min_j \max_i \{V_{ji}\}. \quad (5)$$

Критерий Сэвиджа использует матрицу рисков, элементы r_{ji} которой определяют по формуле

$$r_{ji} = V_{ij} - \min_j \{V_{ji}\}. \quad (6)$$

Таким образом, r_{ji} есть разность между наилучшим значением в столбце i и значениями V_{ji} при том же i . Согласно критерию рекомендуется выбрать ту стратегию, при которой величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации:

$$W = \min_j \max_i \{r_{ji}\}. \quad (7)$$

Критерий Гурвица основан на двух следующих предположениях: природа может находиться в самом невыгодном состоянии с вероятностью $(1 - \alpha)$ и в самом выгодном состоянии – с вероятностью α , где α – коэффициент доверия. Если элементы матрицы представляют собой потери, то выбирают действие, которое выполняет следующее условие:

$$W = \min_j [\alpha \min_i V_{ji} + (1 - \alpha) \max_i V_{ji}]. \quad (8)$$

Критерий Гурвица устанавливает баланс между случаями крайнего оптимизма и пессимизма путем взвешивания этих двух способов поведения соответствующими весами $(1 - \alpha)$ и α , где $0 \leq \alpha \leq 1$. Значение α определяется в зависимости от склонности лица, принимаю-

щего решение, к пессимизму или оптимизму. При отсутствии ярко выраженной склонности наиболее часто используется $\alpha = 0,5$.

Применение рассмотренных критериев требует однородности данных, образующих матрицу. Таким образом, значения параметров «время», «стоимость» и «приведенная стоимость» по каждому варианту доставки должны быть одной размерности. Поэтому перед определением наилучшего результата по критериям следует перейти от абсолютных к относительным показателям, приравняв минимальное или максимальное значение в каждом столбце, например, к единице, а остальные, выразив в долях от единицы.

Рассмотренный алгоритм планирования смешанных перевозок позволяет на конечном этапе получить наиболее оптимальный с точки зрения выбранного критерия способ доставки грузов, под которым понимается выбор не только вида транспорта, но и состава логистических посредников, привлекаемых для выполнения перевозки. Необходимо учитывать, что эффективность различных вариантов доставки может варьироваться в течение всего периода выполнения договорных обязательств, поэтому рассмотренные, но нереализованные варианты предпочтительно не отбрасывать, а оставлять как резервы (например, посредством формирования базы данных вариантов доставки).

Рассмотрим пример доставки груза: необходимо осуществить перевозку 20-футового контейнера из порта Хельсинки (Финляндия) до центрального склада в Москве (Российская Федерация). В табл. 1 и на рис. 3 приведены возможные маршруты доставки, полученные по результатам исследования деятельности ряда крупных экспедиторских компаний Санкт-Петербурга. При этом следует учитывать, что для маршрутов 2 и 4 автотранспорт используется при доставке груза по Москве от склада временного хранения (СВХ) до центрального склада.

Таблица 1

Краткая характеристика вариантов доставки

Table 1

Brief description of the options for delivery

Номер маршрута	Характеристика	Виды транспорта
1	Хельсинки – Москва	Авто
2	Хельсинки – Москва	Ж/д + авто
3	Через порт Санкт-Петербург	Морской + авто
4	Через порт Санкт-Петербург	Морской + ж/д + авто

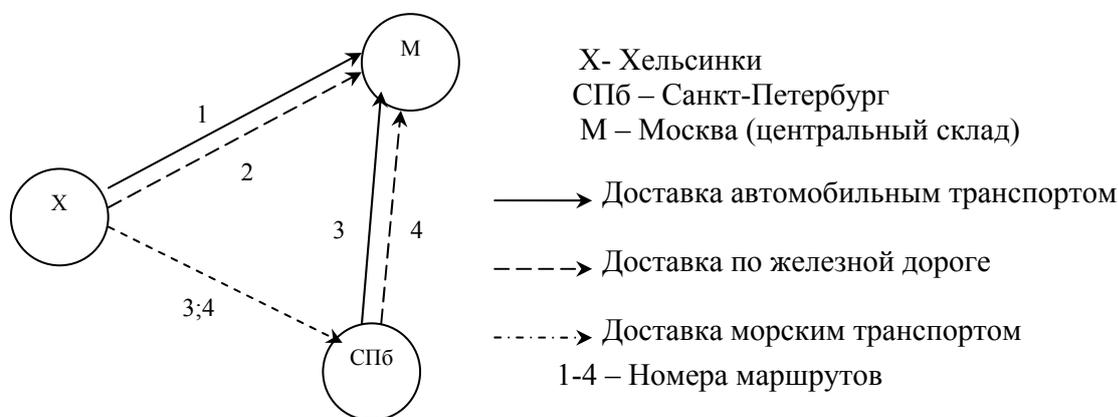


Рис. 3. Маршруты по направлению Хельсинки – Москва

Fig 3. Routes in the direction of Helsinki-Moscow

Анализируя маршруты доставки с учетом остальных недвижимых (нетранспортных) составляющих, можно построить сетевой график, представляющий собой альтернативные пути доставки (рис. 4). Учитывая, что количество вариантов схем доставки определяет количество значений параметров, в рассматриваемом примере их будет двенадцать.

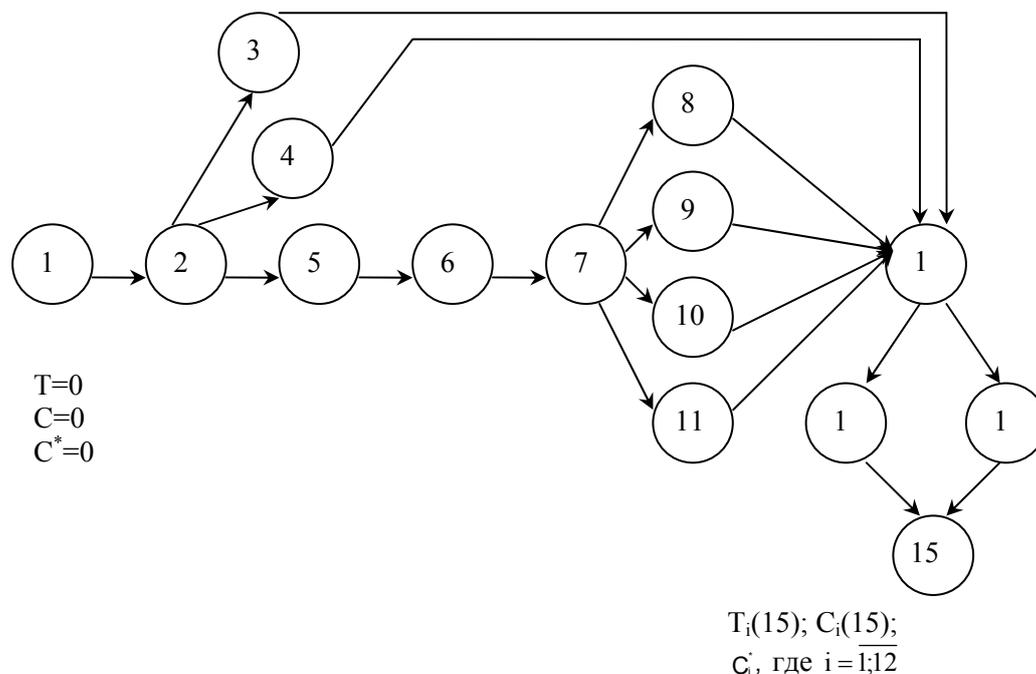


Рис. 4. Сетевой график схем доставки грузов по маршруту Хельсинки – Москва
(обозначения работ приведены в табл. 2)

Fig 4. Network diagram delivery schemes on the route Helsinki-Moscow

Охарактеризуем работы, включаемые в сетевой график, а также параметры «время» и «стоимость» для каждой из них (табл. 2).

Параметры «время» и «стоимость» для каждой схемы доставки определяются как сумма соответствующих значений, а параметр приведенной стоимости – по формуле (1), при этом примем, что средняя банковская ставка по краткосрочным валютным кредитам равна 15 % в год, а для определения величины $C_{груза}$ воспользуемся данными таможенной статистики $C_{груза} = 35$ тыс у.е.

Значения параметров по каждому варианту доставки приведены в табл. 3.

Анализ результатов показывает, что при транспортировке 20-футового контейнера наиболее предпочтительным маршрутом доставки будет:

- по параметру «время»: автомобильным транспортом, таможенные операции в Москве через таможенного брокера;

- по параметрам «стоимость» и «приведенная стоимость»: железнодорожным транспортом, таможенные операции в Москве собственными силами.

Таким образом, в случае если все критерии имеют одинаковое значение, воспользуемся критериями принятия решений в условиях неопределенности.

Для получения сопоставимых результатов приведем параметры (табл. 3) в относительный вид, поделив элементы каждого столбца на его минимальное значение (табл. 4).

Таблица 2

Работы по доставке грузов по направлению Хельсинки – Москва

Table 2

Work on the delivery of goods in the direction of Helsinki-Moscow

№ работы		Характеристика работы	Стоимость, дол. США	Время, дни
1	2	Затаможивание груза в Хельсинки	180	1,0
2	3	Оформление документов и погрузка на автомобильный транспорт	200	1,0
2	4	Оформление документов и погрузка на железную дорогу	50	3,0
2	5	Оформление документов и погрузка на судно в п. Хельсинки	250	2,0
5	6	Доставки морским транспортом до п. Санкт-Петербург	600	2,0
6	7	Разгрузка в п. Санкт-Петербург	110	1,0
7	8	Выпуск контейнера из п. Санкт-Петербург собственными силами с таможенной гарантией*	50	3,0
7	9	Выпуск контейнера из п. Санкт-Петербург экспедитором	300	1,0
7	10	Выпуск контейнера из п. Санкт-Петербург под гарантию таможенного перевозчика	-	2,0
7	11	Выпуск груза из п. Санкт-Петербург на железную дорогу	50	4,0
8	12	Доставка автомобильным транспортом до Москвы (СВХ)	650	1,5
9	12			
10	12	Доставка таможенным перевозчиком автомобильного транспорта до Москвы (СВХ)	850	1,5
11	12	Доставка железной дорогой из п. Санкт-Петербург в Москву (СВХ)	389	4,0
3	12	Доставка автомобильным транспортом из Хельсинки до Москвы (СВХ)	1500	4,0
4	12	Доставка железной дорогой из Хельсинки до Москвы (СВХ)	359	7,0
12	13	Таможенная очистка груза в Москве собственными силами	150	4,0
12	14	Таможенная очистка груза в Москве таможенным брокером	300	1,5
13	15	Доставка по Москве автомобильным транспортом от СВХ до терминала грузополучателя	50	0,5
14	15			

Примечание. * Для выпуска контейнера собственными силами грузовладелец должен быть владельцем склада временного хранения (СВХ) и иметь возможность оформлять гарантийный сертификат.

Таблица 3

Результаты расчета параметров для различных схем доставки

Table 3

The results of calculation of parameters for different delivery schemes

Номер маршрута	Схема доставки	Время T, дни	Стоимость C, у.е.	Приведенная стоимость C*, у.е.
1(1)	1,2,3,12,13,15	10,5	2080	37229,38
1(2)	1,2,3,12,14,15	8,0	2230	37344,22
2(3)	1,2,4,12,13,,15	15,5	1089	36303,83
2(4)	1,2,4,12,14,15	13,0	1239	36419,84
3(5)	1,2,5,6,7,8,12,13,15	15,0	2040	37253,36
3(6)	1,2,5,6,7,8,12,14,15	12,5	2190	37368,43
3(7)	1,2,5,6,7,9,12,13,15	13,0	2290	37476,09
3(8)	1,2,5,6,7,9,12,14,15	10,5	2440	37590,83
3(9)	1,2,5,6,7,10,12,13,15	14,0	2190	37389,90
3(10)	1,2,5,6,7,10,12,14,15	11,5	2340	37504,79
4(11)	1,2,5,6,7,11,12,13,15	18,5	1779	37040,46
4(12)	1,2,5,6,7,11,12,14,15	16,0	1929	37155,94

Таблица 4
Относительные значения параметров по маршруту Хельсинки – Москва

Table 4

The relative values of the parameters on the route Helsinki-Moscow

Номер маршрута	Схема доставки	Относительные значения параметров		
		T	C	C^*
1(1)	1,2,3,12,13,15	1,3125	1,9100	1,0255
1(2)	1,2,3,12,14,15	1,0000	2,0478	1,0287
2(3)	1,2,4,12,13,15	1,9375	1,0000	1,0000
2(4)	1,2,4,12,14,15	1,6250	1,1377	1,0032
3(5)	1,2,5,6,7,8,12,13,15	1,8750	1,8733	1,0262
3(6)	1,2,5,6,7,8,12,14,15	1,5625	2,0110	1,0293
3(7)	1,2,5,6,7,9,12,13,15	1,6250	2,1028	1,0323
3(8)	1,2,5,6,7,9,12,14,15	1,3125	2,2406	1,0355
3(9)	1,2,5,6,7,10,12,13,15	1,7500	2,0110	1,0299
3(10)	1,2,5,6,7,10,12,14,15	1,4375	2,1488	1,0331
4(11)	1,2,5,6,7,11,12,13,15	2,3125	1,6336	1,0203
4(12)	1,2,5,6,7,11,12,14,15	2,0000	1,7713	1,0235

Примечание. Строки – возможные действия R_j (варианты доставки грузов); столбцы – возможные состояния «природы» S_i (критерии доставки); элементы матрицы – результат при выборе j -го действия и реализации i -го состояния V_{ji} .

Для рассматриваемых параметров определим значения искомым критериев.

Критерий Лапласа. Все состояния природы $S_i (i = \overline{1, n})$ полагаются равновероятными.

Вероятность q_i определяется по формуле (2) и будет равна $q_i = \frac{1}{3}$.

Для первого маршрута доставки найдем по формуле (3) среднее арифметическое значение потерь $M_1 = \frac{1}{3}(1,3125 + 1,9100 + 1,0255) = 1,4160$. Аналогичным образом определяем M_i для всех остальных маршрутов. Минимальное значение M_i будет соответствовать искомому варианту доставки.

Для **критерия Вальда** на первом этапе следует определить наибольший элемент в каждой строке. Для первого маршрута наибольшее значение 1,9100, для второго – 2,0478.

Критерий Сэвиджа основан на использовании матрицы рисков, элементы которой определяются по формуле (6), а затем из них выбирается наибольший.

Для первого варианта доставки: $r_{11} = 1,3125 - 1,00 = 0,3125$; $r_{12} = 1,9100 - 1,00 = 0,9100$; $r_{13} = 1,0255 - 1,00 = 0,0255$. Максимальное значение = 0,9100.

Для определения искомого варианта доставки по **критерию Гурвица** следует найти сумму произведений наименьшего и наибольшего значений на коэффициент доверия $\alpha = 0,5$.

Для первого варианта $0,5 \cdot 1,0255 + 0,5 \cdot 1,9100 = 1,4559$.

Результаты расчетов по всем критериям приведены в табл. 5.

Согласно полученному результату следует выбрать четвертый вариант доставки по второму маршруту, т.е. использовать прямую железнодорожную доставку с привлечением таможенного брокера для проведения таможенной очистки груза в Москве.

Таблица 5

Выбор схемы доставки по критериям принятия решения

Table 5

Selecting a delivery to decision-making criteria

Номер маршрута, j	Критерий Лапласа $M_j(R)$	Критерий Вальда $\max(V_{ji})$	Критерий Сэвиджа $\max(r_{ji})$	Критерий Гурвица $\alpha \min_i V_{ji} + (1 - \alpha) \max_i V_{ji}$
1(1)	1,4160	1,9100	1,9100	1,4678
1(2)	1,3588	2,0478	1,0478	1,5239
2(3)	1,3125	1,9375	0,9375	1,4688
2(4)	1,2553	1,6250	0,6250	1,3141
3(5)	1,5915	1,8750	0,8750	1,4506
3(6)	1,5343	2,0110	1,0110	1,5202
3(7)	1,5867	2,1028	1,1028	1,5676
3(8)	1,5295	2,2406	1,2406	1,6380
3(9)	1,5970	2,0110	1,0110	1,5205
3(10)	1,5398	2,1488	1,1488	1,5909
4(11)	1,6555	2,3125	1,3125	1,6664
4(12)	1,5983	2,0000	1,0000	1,5117
Минимальное значение	1,2553	1,6250	0,6250	1,3141

Список литературы

1. Беленький А.С., Левнер Е.В. Применение моделей и методов теории расписаний в задачах оптимального планирования на грузовом транспорте: Обзор // Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 1. – С. 3-77.
2. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике. – М.: Изд-во МГУ; Диас, 1997.
3. Зеваков А.М., Петров В.В. Логистика производственных и товарных запасов. – СПб.: Изд-во Михайлова В.А., 2002. – 320 с.
4. Логистика / под ред. Б.А. Аникина. – М., 2000. – 352 с.
5. Лукинский В.С., Дерюгина Е.Ю. Решение многопродуктовых задач при ограничении финансовых ресурсов // Тр. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. – Киев: НАУ, 2005.
6. Лукинский В.С., Плетнева Н.Г. Транспортная логистика: алгоритм многокритериального выбора маршрута перевозки // Вест. ИНЖЕКОНА. – СПб.: СПбГИЭУ, 2005. – Вып. 4(5). – С. 222-230.

Сведения об авторах: Лебедева Надежда Георгиевна;
Митричева Светлана Николаевна.