



Геннадий Бродецкий  
д.т.н., профессор,  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва



Денис Гусев,  
к.э.н., доцент,  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва



Алла Фель,  
к.э.н., доцент,  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», г. Москва

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕДУР МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ДЛЯ ОБОБЩЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА

## Часть II

**Аннотация.** Авторы исследуют особенности нового формата процедур оптимизации систем логистики при многих критериях. Такой формат предполагает: 1) модификацию показателей частных критериев на основе процедур синтеза с процессами аналитической иерархии с учетом отношения лиц, принимающих решения (ЛПР), к таким показателям и важности частных критериев; 2) выбор на основе традиционных для теории критериев. Впервые доказано, что использование обобщенных критериев выбора после указанной модификации гарантирует устойчивость ранжирования альтернатив к изменению предпочтений ЛПР относительно важности частных критериев. Это дает менеджеру возможность повысить качество принимаемых решений за счет их лучшей адаптации к предпочтениям ЛПР в ситуациях, когда указанные предпочтения могут изменяться. Иллюстрации даны на примере задачи, связанной с оптимизацией места дислокации склада и формы его собственности.

**Ключевые слова.** Определение места дислокации и формы собственности склада, выбор при многих критериях, процессы аналитической иерархии, адаптация выбора к предпочтениям ЛПР, обобщенные методы многокритериальной оптимизации.

**ANNOTATION.** The paper investigates the specific features of new format of the procedures for determining the best solution to solve multicriteria optimization problems in the supply chain. This format includes: 1) modifying indicators of the particular criteria considering the corresponding attitude of decision maker (DM) to them and their importance for DM; 2) the selection on the basis of the criteria of traditional theory. The paper proves that the use of generalized selection criteria ensures stability of alternatives ranking to a change in preferences of DM on the importance of partial criteria. This gives managers new opportunities to improve the quality of decisions by better adapting them to the preferences of DM in situations when these preferences may vary. Illustrations are given in the example of the problems associated with the optimization of locations of the warehouse and its form of ownership.

**KEY WORDS.** Determination of deployment places and ownership for the warehouse, analytic hierarchy process, adapting the choice to the preferences of the decision maker, generalized methods of multicriteria optimization.

Статья является продолжением части I, опубликованной в № 2 «ЛОГИСТИКИ» за 2016 год. В этой части представлены процедуры оптимизации на основе модифицированных показателей для базовой и скорректированной позиций предпочтений лица, принимающего реше-

ния (ЛПР). Это позволит доказать, что выбор по обобщенным критериям после такой модификации не изменится из-за корректировки предпочтений ЛПР относительно важности частных критериев.

Неизменными сохраняются предпочтения ЛПР, касающиеся матриц срав-

нений показателей альтернатив по каждому частному критерию. Тем не менее в связи с возможными изменениями экономической конъюнктуры ЛПР может пересмотреть отношение к важности частных критериев. Иллюстрация второго этапа модификации включает сравнение результатов

выбора по двум позициям предпочтений ЛПР относительно весов частных критериев: базовой и скорректированной (они отличаются только весами частных критериев).

### Иллюстрация представленных процедур модификации

Реализуем требуемые шаги второго этапа процедур модификации для показателей частных критериев (см. табл. 3, «ЛОГИСТИКА» № 2 за 2016 год) на основе матрицы попарных сравнений важности частных критериев  $K_1 - K_5$  для ЛПР. Учет предпочтений ЛПР (в формате матрицы сравнений) реализуют на основе шкалы попарных сравнений, которая соответствует атрибутам метода АНР. Базовая позиция предпочтений ЛПР относительно указанных частных критериев представлена в табл. 1.

Будем различать возможные изменения в системе предпочтений ЛПР относительно важности частных критериев. Для формализации такого понятия используем ранжирование частных критериев. Ранжирование заданных частных критериев для указанной базовой позиции предпочтений ЛПР в формате табл. 1 характеризуется следующим образом (по убыванию важности частных критериев): ( $K_2, K_3$ ), ( $K_1, K_4, K_5$ ). Здесь частные критерии, которые указаны в скобках, имеют одинаковый ранг (и одинаковые веса), что следует из табл. 1.

Приведем интерпретацию (в формате процедур метода АНР), как именно веса указанных частных критериев отражают предпочтения ЛПР. Фактически в соответствии с табл. 1 наиболее важны транспортные затраты ( $K_2$ ) и качество складского сервиса ( $K_3$ ), причем в равной важности относительно друг друга. Кроме того, менее важными (в смысле менее чем умеренного превосходства по методу АНР) для ЛПР являются совокупные затраты на складирование и грузопереработку ( $K_1$ ). Еще менее важными (в смысле более чем умеренного превосходства по отношению к критериям  $K_2$  и  $K_3$  в рамках метода АНР) следуют средние ожидаемые прямые потери при складировании и грузопереработке ( $K_4$ ) и ожидаемые потери при транспортировке ( $K_5$ ).

Представим новые модифицированные (уже после обоих этапов ука-

Таблица 1.

Веса важности частных критериев  $K_i$  для базовой позиции предпочтений лица, принимающего решения [6]

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	Дополнительный столбец	Нормированный столбец	Веса важности $w_i$
$K_1$	1	1/2	1/2	3	3	1,176	0,204	0,2
$K_2$	2	1	1	3	3	1,783	0,309	0,31
$K_3$	2	1	1	3	3	1,783	0,309	0,31
$K_4$	1/3	1/3	1/3	1	1	0,517	0,090	0,09
$K_5$	1/3	1/3	1/3	1	1	0,517	0,090	0,09

занных процедур) показатели частных критериев. Их определяют по формулам  $M_i = w_i \times G_i$ , причем веса важности  $w_i$  частных критериев соответствуют элементам нормированного столбца в табл. 1. Такие результаты сведены в табл. 2.

Для удобств восприятия представленных в указанной таблице материалов отметим следующие особенности. Новый вторично модифицированный показатель для альтернативы А по первому частному критерию (обозначаемый как показатель  $M_i$ ) становится равным 1,28 ( $=0,2 \dots 6,4$ ), где 0,2 – вес важности для первого частного критерия из табл. 1, а 6,4 – модифицированный на первом этапе показатель такого частного критерия из табл. 3 (см. «ЛОГИСТИКА» № 2 за 2016 год). Процедуры вторичной модификации остальных показателей частных критериев для всех альтернатив приведены в табл. 2.

Рассмотрим ситуацию, когда веса частных критериев скорректированы в связи с изменением предпочтений ЛПР (например, из-за реакции на внешние события). Новая позиция предпочтений представлена в табл. 3 (здесь  $IS < 0,1$ ). Новые предпочтения ЛПР отражают и новое ранжирование по убыванию важности частных критериев:  $K_2, K_5, K_1, K_3, K_4$ . Обратим внимание, что была проведена умеренная корректировка указанных предпочтений ЛПР: транспортные затраты ( $K_2$ ) остались наиболее важными. Однако вес важности существенно увеличился. При этом в сравнении с предыдущей позицией для ЛПР резко возросла важность ожидаемых потерь при транспортировке ( $K_5$ ). Совокупные затраты на складирование и грузопереработку ( $K_1$ ) в ранжировании сохранили третье место, но вес важности сократился. Далее идет

Таблица 2.

Модифицированные на втором этапе показатели частных критериев для базовой позиции предпочтений лица, принимающего решение [6]

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$
$A_1$	1,28	3,69	2,45	1,32	0,44
$B_1$	0,86	6,94	14,29	2,48	1,55
$B_2$	2,74	6,94	1,02	0,23	1,55
$B_3$	2,74	5,67	2,45	0,45	1,55
$C_2$	2,74	2,02	0,90	2,17	0,80
$C_3$	2,74	1,98	2,45	0,57	0,80
$D_1$	1,38	1,24	2,45	0,87	0,74
$D_2$	2,74	1,33	2,45	0,49	0,74
$D_3$	2,74	1,24	2,45	0,42	0,86

качество складского сервиса ( $K_3$ ), что теперь для ЛПР чуть более важно, чем средние ожидаемые прямые потери при складировании и грузопереработке ( $K_4$ ).

По аналогии с табл. 3 представим новые модифицированные (после второго этапа таких процедур с учетом уже скорректированных предпочтений ЛПР) показатели частных критериев в формате  $M_i$ . Они сведены в табл. 4. Как отразятся представленные процедуры корректировки предпочтений ЛПР (по отношению к важности частных критериев) на выборе оптимального решения в задачах многокритериальной оптимизации? Эта особенность и другие возможности реализации процедур выбора наилучшего решения на основе модифицированных показателей  $M_i$  проиллюстрирована ниже. При оптимизации для представленных

Таблица 3.

Веса важности частных критериев  $K_i$  для скорректированных предпочтений лица, принимающего решения

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	Дополнительный столбец	Нормированный столбец	Веса важности частных критериев $w_i$
$K_1$	1	1/4	2	4	1/2	1,000	0,136	0,14
$K_2$	4	1	8	9	2	3,565	0,485	0,49
$K_3$	1/2	1/8	1	2	1/4	0,500	0,068	0,07
$K_4$	1/4	1/9	1/2	1	1/8	0,280	0,038	0,04
$K_5$	2	1/2	4	8	1	2,000	0,272	0,27

в табл. 2 и 4 новых модифицированных показателей частных критериев необходимо учитывать следующее:

- 1) все указанные показатели  $M_i$  требуется *максимизировать* (т.е. при выборе альтернативы решается задача многокритериальной оптимизации  $M_i \rightarrow \max$ );
- 2) все показатели  $M_i$  являются безразмерными, что при определении наилучшей альтернативы позволяет использовать любые критерии выбора;
- 3) указанные показатели  $M_i$  уже учитывают веса важности частных критериев с учетом предпочтений ЛПР.

Оптимизация на основе модифицированных показателей (базовой и скорректированной позиций предпочтений лица, принимающего решения). Для удобства изложения и сокращения объема статьи сначала в табл. 5 кратко отметим особенности процедур оптимизации применительно к распространенным методам нахождения наилучших решений в исследованиях логистики, которые были рассмотрены в [6].

Представим результаты оптимизации на основе как базовой, так и представленной выше скорректированной позиций предпочтений ЛПР. Для сокращения объема статьи они будут сведены в табл. 10. Более подробно процедуры реализации метода взвешенной суммы оценок частных критериев, метода произведений и обобщенного метода идеальной точки (ИТ) описаны в [1–7]. Для сравнения представим процедуры многокритериальной оптимизации по следующим критериям выбора: для модифицированного максиминного критерия и обобщенного модифицированного максиминного критерия.

Таблица 4.

Модифицированные на втором этапе показатели для скорректированной позиции предпочтений лица, принимающего решения

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$
$A_1$	0,90	5,83	0,55	0,59	1,32
$B_1$	0,60	10,98	3,23	1,10	4,64
$B_2$	1,92	10,98	0,23	0,10	4,64
$B_3$	1,92	8,97	0,55	0,20	4,64
$C_2$	1,92	3,19	0,20	0,96	2,40
$C_3$	1,92	3,14	0,55	0,25	2,40
$D_1$	0,97	1,96	0,55	0,39	2,21
$D_2$	1,92	2,11	0,55	0,22	2,21
$D_3$	1,92	1,96	0,55	0,19	2,59

Таблица 5.

Процедуры многокритериальной оптимизации, использованные в [6]

Метод многокритериальной оптимизации	Процедуры метода (задача $M_i \rightarrow \max$ )
Модифицированный критерий взвешенной суммы оценок частных критериев	Каждой альтернативе в соответствие ставится показатель критерия выбора, который определяется как взвешенная сумма модифицированных оценок частных критериев ( $M_i$ )
Модифицированный критерий произведений	Каждой альтернативе в соответствие ставится показатель критерия выбора, который определяется как произведение модифицированных оценок частных критериев ( $M_i$ )
Модифицированный обобщенный критерий идеальной точки	В формате критерия выбора после перехода к обобщенным данным ( $M_i$ ) каждой альтернативе в соответствие ставится следующий показатель. Это расстояние от точки, которая представляет такую альтернативу (в пространстве значений частных критериев), до утопической точки УТ (в указанном пространстве ее координаты определяют наилучшие показатели по каждому частному критерию, в нашем случае уже представленные в формате $M_i$ )

Выбор по модифицированному максиминному критерию. При таком подходе к оптимизации для выбора наилучшего решения формируют дополнительный столбец из минимумов по строкам таблицы (речь идет о модифицированных показателях, представленных уже в формате задачи  $M_i \rightarrow \min$ ). Затем выбирают максимальный показатель такого дополнительного столбца, который указывает на лучшее решение. Эти процедуры реализованы в табл. 6–7 для базовой и скорректированной позиций предпочтений ЛПР относительно важности частных критериев.

Как видно из табл. 6, при базовой позиции предпочтений ЛПР по данному критерию анализируемые альтернативы ранжируют в следующем порядке:  $B_1, C_2, D_1, C_3, D_2, B_3, A_1, D_3, B_2$ .

В табл. 7 для скорректированной позиции предпочтений ЛПР ранжирование альтернатив уже другое:  $B_1, A_1, D_1, C_3, D_2, (B_3, C_2), D_3, B_2$ . Разумеется, это естественный результат, который может ожидать любой менеджер при оптимизации конкретных цепей поставок и других систем логистики. Теперь обратим внимание менеджеров на то, что будет происходить с таким ранжированием альтернатив, если при оптимизации перейти к обобщенным критериям выбора.

Выбор по обобщенному модифицированному максиминному критерию. В таком случае сначала реализуют специальную процедуру обобщения. Все показатели частных критериев  $M_i$

Таблица 6.

Выбор по модифицированному максиминному критерию для базовой позиции предпочтений лица, принимающего решения (задача  $M_i \rightarrow \max$ )

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	Значения функции выбора
$A_1$	1,28	3,69	2,45	1,32	0,44	0,44
$B_1$	0,86	6,94	14,29	2,48	1,55	0,86
$B_2$	2,74	6,94	1,02	0,23	1,55	0,23
$B_3$	2,74	5,67	2,45	0,45	1,55	0,45
$C_2$	2,74	2,02	0,90	2,17	0,80	0,80
$C_3$	2,74	1,98	2,45	0,57	0,80	0,57
$D_1$	1,38	1,24	2,45	0,87	0,74	0,74
$D_2$	2,74	1,33	2,45	0,49	0,74	0,49
$D_3$	2,74	1,24	2,45	0,42	0,86	0,42

Таблица 7.

Выбор по модифицированному максиминному критерию для скорректированной позиции предпочтений лица, принимающего решения (задача  $M_i \rightarrow \max$ )

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	Значения функции выбора
$A_1$	0,90	5,83	0,55	0,59	1,32	0,55
$B_1$	0,60	10,98	3,23	1,10	4,64	0,60
$B_2$	1,92	10,98	0,23	0,10	4,64	0,10
$B_3$	1,92	8,97	0,55	0,20	4,64	0,20
$C_2$	1,92	3,19	0,20	0,96	2,40	0,20
$C_3$	1,92	3,14	0,55	0,25	2,40	0,25
$D_1$	0,97	1,96	0,55	0,39	2,21	0,39
$D_2$	1,92	2,11	0,55	0,22	2,21	0,22
$D_3$	1,92	1,96	0,55	0,19	2,59	0,19

преобразуют в относительные показатели: выполняют дополнительное преобразование  $M_i \rightarrow M_i^*$ , где  $M_i^* = M_i / M_i(\max)$ , причем  $M_i(\max)$  обозначает наилучший из  $M_i$ -показателей в рамках соответствующего частного критерия среди всех анализируемых альтернатив. Затем на основе показателей  $M_i^*$  проводят обычные процедуры максиминного критерия. Новые показатели  $M_i^*$  приведены в табл. 8. Обратим внимание, что обобщенные показатели едины для любой позиции (базовой или скорректированной) предпочтений ЛПР. Это обусловливается тем, что указанная процедура обобщения нивелирует разницу в весах частных критериев (при неизменности предпочтений ЛПР относительно матриц попарных сравнений альтернатив по каждому частному критерию).

Действительно, в формате указанной процедуры обобщения предусматривается переход к показателям вида  $M_i \rightarrow M_i^*$ . Напомним, что каждый по-

казатель  $M_i$  был ранее получен в результате преобразования  $M_i = w_i \times G_i$ . Поэтому после всех указанных преобразований получим:  $M_i^* = (w_i \times G_i) / [w_i \times G_i(\max)]$ .

Как видим, в формате рассмотренной процедуры обобщения соответ-

Таблица 9.

Выбор по обобщенному модифицированному максиминному критерию (задача  $M_i \rightarrow \max$ )

	$M_1^*$	$M_2^*$	$M_3^*$	$M_4^*$	$M_5^*$	Значения функции выбора
$A_1$	0,47	0,53	0,17	0,53	0,28	0,17
$B_1$	0,31	1,00	1,00	1,00	1,00	0,31
$B_2$	1,00	1,00	0,07	0,09	1,00	0,07
$B_3$	1,00	0,82	0,17	0,18	1,00	0,17
$C_2$	1,00	0,29	0,06	0,88	0,52	0,06
$C_3$	1,00	0,29	0,17	0,23	0,52	0,17
$D_1$	0,50	0,18	0,17	0,35	0,48	0,17
$D_2$	1,00	0,19	0,17	0,20	0,48	0,17
$D_3$	1,00	0,18	0,17	0,17	0,56	0,17

Таблица 8.

Обобщенные модифицированные показатели  $M_i^*$

	$M_1^*$	$M_2^*$	$M_3^*$	$M_4^*$	$M_5^*$
$A_1$	0,47	0,53	0,17	0,53	0,28
$B_1$	0,31	1,00	1,00	1,00	1,00
$B_2$	1,00	1,00	0,07	0,09	1,00
$B_3$	1,00	0,82	0,17	0,18	1,00
$C_2$	1,00	0,29	0,06	0,88	0,52
$C_3$	1,00	0,29	0,17	0,23	0,52
$D_1$	0,50	0,18	0,17	0,35	0,48
$D_2$	1,00	0,19	0,17	0,20	0,48
$D_3$	1,00	0,18	0,17	0,17	0,56

ствующие веса важности ( $w_i$ ) частных критериев не повлияют на ранжирование альтернатив. Таким образом, процедуры представленного нового подхода к оптимизации гарантируют неизменность многокритериального выбора при использовании любых обобщенных критериев выбора.

Из табл. 9 видно, как ранжируются альтернативы по обобщенному максиминному критерию:  $B_1, (A_1, B_3, C_3, D_1, D_2, D_3), B_2, C_2$ . Указанный порядок будет одинаковым как для базовой, так и для скорректированной позиции предпочтений ЛПР. Результаты оптимизации решения на основе базовой и скорректированной позиций предпочтений ЛПР представлены в табл. 10. Их анализ позволит ответить на вопросы исследования, касающиеся влияния изменения весов частных критериев (из-за перемен в предпочтениях ЛПР) на многокритериальный выбор в формате рассмотренных методов оптимизации.

Таблица 10.

Результаты многокритериальной оптимизации для базовой и скорректированной позиций лица, принимающего решения (задача  $M_i \rightarrow \max$ )

Метод многокритериальной оптимизации	Ранжирование альтернатив	
	базовая позиция предпочтений ЛПР	скорректированная позиция предпочтений ЛПР
Модифицированный критерий взвешенной суммы оценок частных критериев	$B_1, B_3, B_2, A_1, C_2, C_3, D_2, D_3, D_1$	$B_1, B_2, B_3, A_1, C_2, C_3, D_3, D_2, D_1$
Модифицированный критерий произведений	$B_1, B_3, C_2, B_2, A_1, C_3, D_3, D_2, D_1$	$B_1, B_3, C_2, B_2, A_1, C_3, D_3, D_2, D_1$
Модифицированный обобщенный критерий идеальной точки	$B_1, B_3, C_2, B_2, A_1, C_3, (D_2 - D_3), D_1$	$B_1, B_3, C_2, B_2, A_1, C_3, (D_2 - D_3), D_1$
Модифицированный максиминный критерий	$B_1, C_2, D_1, C_3, D_2, B_3, A_1, D_3, B_2$	$B_1, A_1, D_1, C_3, D_2, (B_3, C_2), D_3, B_2$
Модифицированный обобщенный максиминный критерий	$B_1, (A_1, B_3, C_3, D_1, D_2, D_3), B_2, C_2$	$B_1, (A_1, B_3, C_3, D_1, D_2, D_3), B_2, C_2$

Представленные в табл. 10 данные иллюстрируют, что при переходе от исходной/базовой позиции предпочтений ЛПР к новой/скорректированной (за счет изменения весов важности частных критериев) ранжирование альтернатив может меняться. Однако менеджерам будет полезно знать, что в формате некоторых подходов к оптимизации таких решений указанное ранжирование альтернатив может всегда сохраняться. Как было доказано, имеет место следующий результат: если при оптимизации используют обобщенные критерии выбора, ранжирование альтернатив (после перехода от одной позиции предпочтений ЛПР к скорректированной) всегда останется прежним. Указанный факт отражает вовсе не специфику и не структуру рассмотренной задачи многокритериальной оптимизации, соотносимой с выбором места дислокации и формы собственности склада. Этот факт является атрибутом указанных критериев выбора.

### Заключение

В настоящей статье впервые рассмотрены особенности реализации нового подхода к решению задач многокритериальной оптимизации цепей поставок, которые могут быть связаны с необходимостью учета возможных изменений в предпочтениях ЛПР по отношению к важности частных критериев. Формат подхода к оп-

ределению наилучшего решения при реализации алгоритма оптимизации позволяет учитывать не только отношение ЛПР к исходно заданным значениям показателей частных критериев, но и важности самих критериев. Более того, впервые проанализирована ситуация, когда предпочтения ЛПР относительно важности частных критериев могут изменяться с развитием процессов бизнеса. Речь идет об изменениях, которые соотносятся, например, с внешними воздействиями и/или угрозами, обусловливаемыми кризисными и другими ситуациями конфликтного типа. Впервые доказано, что изменение весов частных критериев (и/или указанных предпочтений ЛПР) не окажет влияния на многокритериальный выбор, если менеджер будет использовать обобщенные методы или подходы для задания функций выбора в задачах оптимизации при многих критериях. Разумеется, при использовании обычных традиционных методов многокритериальной оптимизации (без соответствующего синтеза с процессами аналитической иерархии) изменение весов частных критериев может (и будет) существенно влиять на ранжирование альтернатив, что также проиллюстрировано в формате рассмотренной модели. Таким образом, материалы представленного исследования показали, что при многокритериальной оптимизации цепей поставок у менеджера

имеется широкий выбор инструментов для повышения качества решения: возможность оперативно учитывать возможные изменения весов частных критериев, опираться на единое решение для каждого обобщенного метода оптимизации, которое не будет зависеть от изменчивости весов частных критериев.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бродецкий Г.Л. Проблема феномена «слепоты» для смешанных форматов задач многокритериальной оптимизации цепей поставок // Логистика и управление цепями поставок. – 2009. – № 1. – С. 101–112.
2. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Специальные алгоритмы многокритериальной оптимизации в цепях поставок (на примере задач выбора маршрута) // Логистика сегодня. – 2011. – № 6. – С. 346–361.
3. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А. Многокритериальная задача выбора места дислокации и формы собственности склада с учетом рисков // РИСК: Ресурсы. Информационная. Конкуренция. – 2008. – № 3. – С. 13–18.
4. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А., Бродецкая Н.Г. Эффективные инструменты многокритериальной оптимизации в логистике // РИСК: Ресурсы. Информационная. Конкуренция. – 2010. – № 2. – С. 9–17.
5. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А., Левина Т.В. Возможности многокритериальной оптимизации запасов с учетом рисков в формате метода дерева решений // Логистика сегодня. – 2008. – № 6. – С. 354–374.
6. Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А., Фель А.В. Возможности обобщения процессов аналитической иерархии при выборе решения по многим критериям для оптимизации цепей поставок // Логистика и управление цепями поставок. – 2014. – № 2. – С. 63–76.
7. Бродецкий Г.Л., Левина Т.В. Возможность неадекватного выбора в задачах многокритериальной оптимизации систем логистики // Логистика и управление цепями поставок. – 2008. – № 24. С. 51–62.