



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 I

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.

Введение

Многокритериальные модели принятия решений в логистике сегодня все более востребованы, так как в современных условиях необходимо одновременно оптимизировать многие показатели цепей

поставок [13], адаптируя при этом выбор к предпочтениям лица, принимающего решение (ЛПР). Соответственно, необходимо располагать как можно более широким арсеналом методов выбора, чтобы повысить качество принимаемых решений и обеспечить большую гибкость

в адаптации выбора к предпочтениям ЛПР.

Необходимость и возможность расширения инструментов выбора наилучших решений при многих критериях отмечена в [3–7]. В указанных работах предложен специальный подход к оптимизации, позволяющий

синтезировать разные процессы, соотносимые с процедурами выбора по многим критериям. При этом реализуется своеобразный синтез традиционных для теории процедур выбора и специальных методов, разработанных для сравнения показателей альтернатив (называемых процессами аналитической иерархии – Analytic Hierarchy Process, или АНП) [12, 14]. Как отмечено в [3–8], такой подход к принятию решений по многим критериям позволяет устранять феномены неадекватного выбора [4, 5, 8].

Тем не менее сегодня менеджеры в области логистики вынуждены сталкиваться с новыми вызовами и угрозами, которые могут помешать выбору адекватного решения. В условиях кризиса, введения различных санкций, передела рынка логистических услуг, смены собственников компаний, изменений оценок надежности поставщиков могут существенно меняться и предпочтения ЛППР (в частности веса важности частных критериев), что может отражаться на принимаемых решениях.

В связи с этим важно знать, каким образом изменение таких атрибутов модели повлияет на выбор решения. В частности в формате каких критериев выбора изменения в предпочтениях ЛППР относительно важности

частных критериев не повлияют на ранжирование альтернатив. Анализ, представленный в данной статье, позволит менеджеру узнать, какие имеющиеся средства оптимизации могут обеспечить неизменность наилучшего выбора, несмотря на изменения в предпочтениях ЛППР. Авторы статьи впервые доказали следующий результат для указанного выше подхода к оптимизации. При многокритериальной оптимизации на основе обобщенных критериев выбора ранжирование альтернатив и оптимальный выбор останутся неизменными при изменении весов частных критериев. Соответствующие выводы и особенности реализации процедур выбора наилучшего решения для задач многокритериальной оптимизации проиллюстрированы на примере задачи выбора места дислокации и формы собственности склада. Впервые оптимизация задач такого типа по многим критериям, по-видимому, представлена в [9], причем на основе процессов аналитической иерархии. Традиционный подход к оптимизации таких моделей при многих критериях рассмотрен в [4, 8, 10]. Современные подходы к решению задач такого типа представлены в [5–7]. Далее для удобства иллюстрации изложение дано в формате модели,

которая была рассмотрена в [7]. Это позволит сравнить результаты решений и проиллюстрировать возможности и специфические особенности, связанные с решением указанной задачи, а также любых других задач оптимизации цепей поставок при многих критериях.

Атрибуты модели выбора при многих критериях

Для удобства иллюстрации отмеченных особенностей процедур многокритериальной оптимизации рассматриваемая здесь модель соответствует формату, который представлен в работах [7, 10]. При выборе решения учитываются показатели следующих частных критериев:

K_1 – совокупные затраты на складирование и грузопереработку (минимизируются);

K_2 – транспортные затраты (минимизируются);

K_3 – качество складского сервиса (максимизируется);

K_4 – средние ожидаемые прямые потери при складировании и грузопереработке (риски указанных потерь минимизируются);

K_5 – ожидаемые потери при транспортировке (риски таких потерь минимизируются).

Как и в указанных работах [7, 10], рассматривается случай, когда учет факторов риска (они представлены частными критериями K_4 и K_5) соответствует концепции производст-

“ При многокритериальной оптимизации на основе обобщенных критериев выбора ранжирование альтернатив и оптимальный выбор останутся неизменными при изменении весов частных критериев.





венных рисков. В таких ситуациях учет рисков реализуется на основе одного параметра (он представляет средние ожидаемые потери, которые надо минимизировать). Напомним следующую особенность структуры показателей частного критерия K_3 , представляющего качество складского сервиса. В исходной модели [7] такие показатели сначала представлены рейтинговыми оценками, при оптимизации этим оценкам удобно сопоставить сопутствующие ожидаемые потери. Подобный вариант формализации модели оставлен и в этой работе. Привлечение матриц сравнения на первом этапе процедур модификации показателей частных критериев позволяет использовать любой формат представления показателей таких частных критериев.

В рассматриваемой модели анализируются 12 альтернатив (при оптимизации их число может быть произвольным). Они соотносятся с четырьмя вариантами выбора города (A, B, C и D) для места дислокации склада и выбором одной из трех форм его собственности. Требуется определить наилучшую из указанных альтернатив (они обозначены буквами городов, а индекс соотносится с формой собственности):

- A_1 – приобретение склада в городе A;
- A_2 – аренда складских мощностей в городе A;
- A_3 – использование склада общего пользования (СОП) в городе A;
- B_1 – приобретение склада в городе B;
- B_2 – аренда складских мощностей в городе B;
- B_3 – использование СОП в городе B;

- C_1 – приобретение склада в городе C;
- C_2 – аренда складских мощностей в городе C;

- C_3 – использование СОП в городе C;
- D_1 – приобретение склада в городе D;
- D_2 – аренда складских мощностей в городе D;

D_3 – использование СОП в городе D. При оптимизации показатели всех частных критериев будут модифицированы. Модификация показателей частных критериев реализуется дважды. На первом шаге используются атрибуты подхода, представленного в [3–5]. На втором шаге – новые показатели еще раз модифицируются с учетом весов важности частных критериев (веса определяются по методу АНР). Итак, для каждой альтернативы при оптимизации анализируются показатели, которые задаются в виде:

K_i – показатель i -го частного критерия (в исходной постановке задачи оптимизации до первого этапа его модификации);

G_i – модифицированный на первом этапе показатель i -го частного критерия, представляющий важность исходного показателя K_i для ЛПР (на основе попарного сравнения K_i по методу АНР), который будет получен после первого этапа процедуры модификации таких показателей;

M_i – модифицированный на втором этапе показатель i -го частного критерия, учитывающий, с одной стороны, важность исходного показателя K_i для ЛПР, а с другой – вес соответствующего частного критерия с учетом предпочтений ЛПР (на основе сравнения важности частных критериев по методу АНР).

Как и в [7], атрибуты представляемого здесь подхода к определению места дислокации и формы собственности склада предполагают реализацию двух этапов перехода к новым модифицированным показателям частных критериев. Сначала реализуют переход вида $K_i \rightarrow G_i$ (от показателей K_i к показателям G_i), затем – переход $G_i \rightarrow M_i$ (от показателей G_i к показателям M_i). Такой подход к оптимизации решений при многих критериях представлен в [7], в этом исследовании, как уже отмечено выше, анализируется другой аспект проблемы выбора. Он связан с возможностью изменения отношения ЛПР к важности частных критериев. Обсуждаются вопросы, связанные с влиянием на выбор возможных изменений весов частных критериев, причем именно в формате показателей M_i , поскольку они учитывают соответствующие веса. Предварительно кратко изложим и уточним специфику указанных процедур модификации.

Модификация показателей частных критериев на первом этапе ($K_i \rightarrow G_i$)

Рассматриваются только альтернативы, оптимальные по Парето (они приведены в табл. 1). По ее строкам представлены показатели по каждому частному критерию K_i (в тыс. у.е). Среди указанных альтернатив надо определять наилучшую. Проиллюстрируем процедуры первого этапа модификации исходно заданных показателей частных критериев (K_i).

Для удобства изложения напомним шаги алгоритма, позволяющего реализовать первый этап ($K_i \rightarrow G_i$) модификации. Показатели частных критериев K_i альтернатив сравниваются

Таблица 1.

Оценки альтернатив по частным критериям (тыс. у.е.)

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
A_1	208	52	52	7	16
B_1	312	42	1	10	13
B_2	73	42	156	21	10
B_3	94	42	52	15	10
C_2	83	62	156	4	14
C_3	62	62	52	15	14
D_1	187	73	52	8	12
D_2	52	73	52	9	12

(по методу АНР). Соответствующий алгоритм преобразования $K_i \rightarrow G_i$ был представлен в [5–7], поэтому здесь лишь отметим шаги такого алгоритма (через наклонную черту подчеркивается, что они относятся именно к первому этапу процедур модификации). Предполагается, что предварительно проведены процедуры проверки всех альтернатив на оптимальность по Парето.

Шаг 1/1. Построение сводной таблицы, каждая строка которой представляет исходно заданные показатели частных критериев (K_i) для отдельной альтернативы. На основании такой таблицы реализуют последующие процедуры модификации.

Шаг 2/1. Построение матриц попарных сравнений показателей альтернатив (в исходных показателях), по каждому частному критерию с учетом предпочтений ЛПР.

Шаг 3/1. Проверка таких матриц сравнений на согласованность, причем индекс согласованности (ИС) не должен превышать 0,1. Для тех матриц попарных сравнений, индекс согласованности которых превышает 0,1, необходимо вернуться к шагу 2, чтобы исправить нарушения согласованности.

Шаг 4/1. Формализация новых модифицированных показателей альтернатив по частным критериям, что предусматривает следующее. Приближенными методами определяют их нормированные собственные векторы. Координаты таких векторов позволяют задать новые модифицированные значения показателей частных критериев (после их умножения на 100 в процентном измерении).

Шаг 5/1. На основе полученных модифицированных показателей

альтернатив строится новая сводная таблица их значений по заданным частным критериям. При этом задачу оптимизации соотносят с новым форматом модифицированных показателей частных критериев: *все они максимизируются*. Такая особенность подчеркивается тем, что показатели частных критериев после модификации обозначают G_i (вместо K_i), а задачей оптимизации будет задача « $G_i \rightarrow \max$ », независимо от направления оптимизации исходно заданных показателей.

Шаг 6/1. Реализуется проверка альтернатив (в новых показателях G_i) на оптимальность по Парето. Этот шаг обусловлен тем, что новая сводная таблица из модифицированных на шаге 5 показателей сформирована с учетом предпочтений ЛПР, что может привести к нарушению оптимальности альтернатив по Парето. Альтернативы, которые не будут оптимальными по Парето (после модификации их показателей с учетом предпочтений ЛПР), далее не анализируются.

Иллюстрация первого этапа процедур модификации

Реализуем шаги первого этапа модификации показателей частных критериев на основе матриц попарных сравнений альтернатив по каждому из частных критериев. Для удобства сравнения результатов оптимизации оставим их такими же, как и в [7], (для первого частного критерия K_1 результаты сравнения представлены в табл. 2, причем, как и в [7], присутствует D_3). Использована шкала метода АНР, которая дает опорные уровни для оценки такого преимущества [12, 14]. Подробные комментарии

были даны в [7]. Модифицированные показатели альтернатив (по частному критерию K_i) приведены в последнем столбце табл. 2. Напомним, что процедуры метода АНР требуют проверки матрицы сравнений на согласованность. Для этого определяется индекс согласованности – ИС (на шаге 3/1 алгоритма уже отмечено, что согласованность будет приемлемой, если $ИС \leq 0,1$).

Аналогичные процедуры нахождения модифицированных на первом этапе «оценок важности» показателей альтернатив и проверки соответствующих суждений ЛПР на согласованность нужно реализовать применительно ко всем частным критериям. Указанные процедуры представлены в [7] и далее опущены, чтобы не увеличивать объем статьи. Их результат приведен (в формате G_i) в табл. 3. Модифицированные показатели альтернатив сразу представлены в процентном измерении.

Подчеркнем специфику задачи оптимизации при таком формате представления показателей альтернатив:

- 1) все показатели G_i модифицированного формата представления оценок частных критериев максимизируют (задача $G_i \rightarrow \max$);
- 2) все такие показатели (независимо от единиц измерения исходно заданных частных критериев в исходной задаче $K_i \rightarrow \min$) всегда имеют одинаковую размерность: это безразмерные показатели;
- 3) для них необходимо заново проверить оптимальность по Парето.

Как и в [7], все альтернативы (в табл. 3) являются оптимальными по Парето.

Таблица 2.

Оценки важности показателей альтернатив по частному критерию K_1

	A_1	B_1	B_2	B_3	C_2	C_3	D_1	D_2	D_3	Доп. столбец	Нормир. столбец	Оценка важности, %
A_1	1	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	0,630	0,064	6,4
B_1	1/2	1	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2	1/4	1/4	0,429	0,043	4,3
B_2	2	4	1	1	1	1	2	1	1	1,361	0,137	13,7
B_3	2	4	1	1	1	1	2	1	1	1,361	0,137	13,7
C_2	2	4	1	1	1	1	2	1	1	1,361	0,137	13,7
C_3	2	4	1	1	1	1	2	1	1	1,361	0,137	13,7
D_1	1	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	0,680	0,069	6,9
D_2	2	4	1	1	1	1	2	1	1	1,361	0,137	13,7
D_3	2	4	1	1	1	1	2	1	1	1,361	0,137	13,7

Таблица 3.
Модифицированные на первом этапе показатели частных критериев

	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
A_1	6,4	11,9	7,9	14,7	4,9
B_1	4,3	22,4	46,1	27,5	17,2
B_2	13,7	22,4	3,3	2,6	17,2
B_3	13,7	18,3	7,9	5	17,2
C_2	13,7	6,5	2,9	24,1	8,9
C_3	13,7	6,4	7,9	6,3	8,9
D_1	6,9	4	7,9	9,7	8,2
D_2	13,7	4,3	7,9	5,4	8,2
D_3	13,7	4	7,9	4,7	9,6

Модификация показателей частных критериев на этапе $G_i \rightarrow M_i$

Представим шаги алгоритма, который реализует второй этап модификации. Это позволит учесть при оптимизации не только отношение ЛПР к числовым показателям альтернатив по частным критериям, но и его отношение к важности самих частных критериев. Показатели альтернатив (в виде G_i) дополнительно модифицируют в новые показатели $G_i \rightarrow M_i$. Это реализуется на основе учета важности самих частных критериев (по процедурам их сравнения). Веса важности частных критериев находят по методу аналитической иерархии. Соответственно реализуют следующие шаги алгоритма (через наклонную черту подчеркивается, что они относятся именно ко второму этапу процедур модификации).

Шаг 1/2. Построение матрицы попарных сравнений важности частных критериев в формате рассматриваемой задачи оптимизации с учетом предпочтений ЛПР.

Шаг 2/2. Определение весов важности w_i частных критериев в виде нормированных собственных векторов (сумма всех таких весов равна единице), которые находят приближенными методами, разработанными для процессов аналитической иерархии.

Шаг 3/2. Проверка полученных матриц сравнений на согласованность ($ИС \leq 0,1$).

Шаг 4/2. Формализация новых модифицированных показателей альтернатив (M_i) по частным критери-

ям, что предусматривает следующее. Найденные на первом этапе процедур модификации показатели G_i преобразуют с учетом важности частного критерия K_i : вместо показателей каждого исходно заданного частного критерия K_i рассматривают новые показатели вида $M_i = w_i \cdot G_i$. Новый формат показателей частных критериев в виде показателей M_i позволит дополнительно учесть предпочтения ЛПР относительно важности частных критериев.

Шаг 5/2. На основе процедур модификации показателей альтернатив (M_i), полученных на втором этапе, строят новую сводную таблицу их значений по заданным частным критериям. При этом задачу оптимизации снова (как и после первого этапа процедур модификации) соотносят с задачей максимизации таких новых показателей: « $M_i \rightarrow max$ ». После перехода к новым модифицированным показателям $G_i \rightarrow M_i$ проверка альтернатив на оптимальность по Парето не требуется.

Как видим, алгоритм модификации показателей частных критериев на втором этапе ($G_i \rightarrow M_i$) дополнительно отражает возможность изменения предпочтений ЛПР, которые касаются весов частных критериев (шаг 2/2). Это подчеркивает тот факт, что менеджеру надо оперативно учесть изменения предпочтений ЛПР, в частности по самим весам частных критериев.

Продолжение статьи читайте в № 3 журнала «ЛОГИСТИКА за 2016 год».

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. Как повысить качество решений, принимаемых при выборе места дислокации и формы собственности

- склада // Менеджмент качества. – 2012. – № 1. – С. 44–59.
4. Бродецкий Г. Л., Гусев Д. А. Многокритериальная задача выбора места дислокации и формы собственности склада с учетом рисков // РИСК: Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция. – 2008. – № 3. – С. 13–18.
5. Бродецкий Г. Л., Гусев Д. А., Бродецкая Н. Г. Эффективные инструменты многокритериальной оптимизации в логистике // РИСК: Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция. – 2010. – № 2. – С. 9–17.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Бродецкий Г. Л., Терентьев П. А. Применение метода аналитической иерархии для оптимизации места расположения регионального распределительного центра // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 1 (6). – С. 26–34.
10. Дыбская В. В. Управление складированием в цепях поставок. – М.: Альфа-Пресс, 2009. – 720 с.
11. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики. – СПб.: Питер, 2003. – 448 с.
12. Саати Т., Керис К. Аналитическое планирование и организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
13. Сергеев В. И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах. – М.: ИНФРА-М. 2013. – 634 с.
14. Шикин Е. В., Чхартишвили А. Г. Математические методы и модели в управлении. – М.: Дело, 2000. – 440 с.