

# ОРГАНИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЦЕДУР МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК



**ЯНА  
РУДЕНКО,**  
GE Healthcare,  
Специалист  
по логистике



**ГЕННАДИЙ  
БРОДЕЦКИЙ,**  
ГУ-ВШЭ, проф.,  
д.т.н.

**ВВЕДЕНИЕ.** Многокритериальность — неотъемлемая часть большинства реальных ситуаций выбора и требует специальных методов анализа. Это свойственно и для задач оптимизации цепей поставок, которые, в основном, являются задачами оптимизации при многих критериях, поскольку существует необходимость комплексного учёта разнообразных факторов и показателей, каждый из которых требуется оптимизировать.

Множество рассматриваемых показателей при выборе маршрута поставки товара, как правило, классифицируют по трём группам: время, стоимость перевозки, надёжность доставки. Они характеризуются разной размерностью (денежные единицы, дни и т.п.), а также могут быть количественными или качественными. Данная специфика нередко приводит к феномену неадекватного выбора относительно системы предпочтений лица, принимающего решение — ЛПР (например, это феномены «слепоты» по отношению к показателям некоторых критериев, феномены доминирования показателей одних частных критериев над другими и др. [1, 2]).

С целью исключения «технических» барьеров указанного типа в процессе принятия решения при многокритериальной оптимизации маршрутов в цепях поставок, необходима разработка и применение новых подходов к решению задач таких задач в логистике.

В данной работе, указанная задача будет реализована по отношению к ситуации выбора оптимального варианта грузоперевозки, подробно описанной в [4]. При этом будет представлен подход, позволяющий модифицировать известные критерии выбора, используя атрибуты метода аналитической иерархии.

## **АТРИБУТЫ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА К ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Метод аналитической иерархии (далее — АНР, от англ. Analytical Hierarchy Process) в рамках процедур анализа систем различного типа широко распространён в настоящее время, — в том числе и применительно к системам логистики. В основе метода АНР реализуется идея направить усилия ЛПР на сравнение только вполне определённых альтернатив. Метод был разработан в 1971 г. профессором университета Пенсильвании Томасом Л. Саати. Как отмечает автор [6], АНР — замкнутая логическая конструкция, обеспечивающая с помощью простых правил анализ сложных проблем во всём их разнообразии и приводящая к наилучшему ответу. К тому же, применение метода позволяет включить в иерархию все имеющиеся у исследователя по имеющейся проблеме знания и воображение (например, формат концепции полезности).

В данной работе речь идет о специальных новых возможностях оптимизации маршрутов в цепях поставок. Это обуславливается совмещением процедур оптимизации при многих критериях (в формате прямых методов такой оптимизации) с процессами метода аналитической иерархии, которые реализуются на основе матриц сравнения. Такой подход позволит строить новые критерии выбора при решении задач многокритериальной оптимизации цепей поставок и систем логистики. Для реализации процедур выбора менеджер/аналитик может ориентироваться не на исходные показатели анализируемых альтернатив, а на их модифицированные или переоцененные значения (с учетом предпочтений ЛПР). Для этого будут использованы процедуры сравнения по методу аналитической иерархии. В формате предлагаемой здесь модификации указанные исходные показатели как бы «ранжируются» по единой для всех частных критериев шкале с учетом отношения ЛПР к таким показателям. Основы указанного подхода к оптимизации изложены в [1].

Иллюстрацию атрибутов такого подхода, а также иллюстрацию новых дополнительных возможностей, которые даст предлагаемая модификация критериев выбора для решения

### **АННОТАЦИЯ:**

Задача выбора оптимального маршрута в цепях поставок рассматривается как задача многокритериальной оптимизации. Впервые предложен подход, позволяющий менеджеру модифицировать традиционные критерии оптимизации для устранения нежелательных феноменов неадекватного выбора при решении задач указанного типа.

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

Выбор маршрута по многим критериям, феномены неадекватного выбора и их устранение, использование процедур аналитической иерархии.

### **ANNOTATION:**

Choice of optimal route in supply chains is considered as a task of multi-criteria optimization. Approach, which enables manager to modify traditional decision-making criteria in order to avoid undesirable inadequate choice phenomena, has been proposed for the first time in the tasks of type mentioned.

### **KEYWORDS:**

Route optimization with multiple criteria, inadequate choice phenomena and its elimination, use of analytical.

задач многокритериальной оптимизации маршрутов в цепях поставок, приведем применительно к задаче нахождения лучшего варианта грузоперевозки, рассмотренной в [4].

### МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА

Как справедливо отмечено в [5], ключевая роль транспортировки в логистике объясняется не только большим удельным весом транспортных расходов в общем составе логистических издержек, но и тем, что без транспортировки невозможно само осуществление материального потока.

Для эффективного управления транспортировкой и экономии ресурсов компании логист должен решить большое число оптимизационных задач:

- Выбор способа транспортировки;
- Выбор вида транспорта;
- Выбор транспортного средства;
- Выбор перевозчика и логистических партнеров по транспортировке;
- Оптимизация параметров транспортного процесса.
- Фокус данной работы направлен на оптимизацию параметров транспортного процесса.

В этой статье будут представлены новые подходы к модификации критериев выбора. Они позволят менеджеру исключить возможность нежелательных феноменов неадекватного выбора наилучшего решения. Как и в [4], рассматривается модель, когда для выбора маршрута перевозки транспортно-экспедиционная компания анализирует следующие альтернативы (требуется выбрать наилучшую):

A — перевозка груза регулярным рейсом из Сингапура во Франкфурт-на-Майне, из Франкфурта-на-Майне — тремя чартерными рейсами АН-12 в Тюмень;

B — перевозка груза регулярным рейсом из Сингапура во Франкфурт-на-Майне, из Франкфурта-на-Майне — регулярным рейсом в Москву, из Москвы — чартерным рейсом на ИЛ-76 в Тюмень;

C — перевозка груза из Сингапура регулярным рейсом во Франкфурт-на-Майне, из Франкфурта-на-Майне — регулярным рейсом в Москву, из Москвы — тремя чартерными рейсами АН-12 в Тюмень;

D — перевозка груза из Сингапура регулярным рейсом во Франкфурт-на-Майне, из Франкфурта-на-Майне — регулярным рейсом в Москву, из Москвы — тремя грузовыми автомобилями в Тюмень;

E — перевозка груза из Сингапура чартерным рейсом Boeing-747 в Москву, из Москвы — тремя чартерным рейсом ИЛ-76 в Тюмень;

F — перевозка груза из Сингапура чартерным рейсом Boeing-747 в Москву, из Москвы — тремя чартерными рейсами АН-12 в Тюмень;

G — перевозка груза из Сингапура чартерным рейсом Boeing-747 в Москву, из Москвы — тремя грузовыми автомобилями в Тюмень;

H — перевозка груза из Сингапура регулярным рейсом в Бангкок, из Бангкока — регулярным рейсом во Франкфурт-на-Майне, из Франкфурта-на-Майне — регулярным рейсом в Москву, из Москвы — чартерным рейсом ИЛ-76 в Тюмень.

Для иллюстрации основных положений можно упростить изложение: далее можно ограничиться только тремя частными критериями, позволяющими отразить специфику задачи. Пусть учитываются показатели следующих частных критериев:

K1 — длительность перевозки (в днях);

K2 — количество перевалок груза на протяжении всего маршрута перевозки (чем больше перевалок, тем выше риск порчи и/или потери товаров);

K3 — стоимость организации перевозки для транспортного экспедитора (в тыс. долл. США).

Как видим, направленность частных критериев одинакова — все критерии K1, K2 и K3 минимизируются. Их показатели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Оценки альтернатив по частным критериям

Варианты решений	Значения критериев выбора		
	K1	K2	K3
A	5	2	410
B	8	3	330
C	7	3	390
D	9	3	328,2
E	2	2	475
F	3	2	473
G	4	2	430
H	6	4	407,5

Все анализируемые решения являются оптимальными по Парето. Это значит, что для любого из них нельзя улучшить оценку ни одного из частных критериев (переходя к другим анализируемым решениям), не ухудшив при этом хотя бы одну оценку какого либо другого частного критерия. Таким образом, любое из указанных решений в формате такой задачи оптимизации может быть принято в качестве наилучшего (в определенном смысле и для определенного ЛПР).

Тем не менее, ниже будет показано, что применение большинства традиционных для теории критериев выбора прямого типа при решении этой задачи многокритериальной оптимизации не оставит менеджеру надежд на реализацию такого принципа. При этом будет проиллюстрировано, что предлагаемый новый подход к выбору наилучшего решения для задач такого типа позволит устранять указанные недостатки.

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЛИ ПЕРЕОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧАСТНЫХ КРИТЕРИЕВ (на основе синтеза с процедурами попарных сравнений)

При модификации исходные данные будут преобразованы (или переоценены) в новые специальные показатели. Такое преобразование будет реализовано с учетом отношения ЛПР к сравниваемым исходным показателям частных критериев. Сравнение альтернатив реализуется отдельно по показателям каждого частного критерия. Наиболее эффективно указанное отношение формализуется на основе процедур попарных сравнений альтернатив, разработанных в формате процессов аналитической иерархии (АИР). Преимущества такого подхода базируются на том, что используемая при сравнении специальная 10-бальная шкала (разработанная психологами) включает легкодоступные для понимания и индивидуальной интерпретации опорные положения/уровни при оценке превосходства одной альтернативой перед другой. Таких уровней для сравнения альтернатив всего пять. Они приведены в таб. 2.

Таблица 2

Шкала попарных сравнений

Уровень относительной важности	Балл
Равная важность (эквивалентность)	1
Умеренное превосходство	3
Существенное превосходство	5
Большое превосходство	7
Очень большое превосходство	9

На основе шкалы попарных сравнений формируется матрица попарных сравнений по каждому частному критерию.

При этом суждения ЛПР должны быть в достаточной степени согласованны: согласованность характеризуется индексом согласованности (ИС), который не должен превышать 0,1. Процедуры проверки условий согласованности хорошо отработаны в формате метода АНР [4, 6], поэтому их описание опускается. На основе матриц попарных сравнений определяются новые показатели («оценки важности») анализируемых альтернатив по каждому частному критерию. Именно они и будут использованы при оптимизации. Формат таких показателей позволяет менеджеру перейти к удобному их представлению (далее указанные новые оценки представляются в %). При этом в таком новом формате задачи все частные критерии максимизируются.

Таким образом, предварительно (до реализации процедур оптимизации по конкретному критерию выбора) необходимо сформировать матрицы попарных сравнений альтернатив по частным критериям К1-К3. В таблице 3 это реализовано для частного критерия времени К1.

Таблица 3

**Попарные сравнения альтернатив по частному критерию К1 (время)**

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1	5	3	7	1/5	1/3	1/3	1/3
B	1/5	1	1/3	3	1/9	1/7	1/7	1/5
C	1/3	3	1	7	1/7	1/5	1/5	1/3
D	1/7	1/3	1/7	1	1/9	1/7	1/9	1/7
E	5	9	7	9	1	3	5	7
F	3	7	5	7	1/3	1	3	7
G	3	7	5	9	1/5	1/3	1	3
H	3	5	3	7	1/7	1/7	1/3	1

Заполнение табл. 3 происходит при попарных сравнениях важности рассматриваемых альтернатив относительно друг друга. При этом важность оценивается для альтернативы, представленной в каждой строке по отношению к альтернативе, представленной в каждом столбце. В частности, при сравнении альтернатив А и В по частному критерию К1 отметим следующее. По мнению ЛПР альтернатива В существенно уступает альтернативе А, поэтому на пересечении второй строки и первого столбца матрицы попарных сравнений в табл. 3 стоит значение «1/5». Соответственно, альтернатива А имеет существенное превосходство перед В, что отражено на пересечении первой строки и второго столбца в табл. 3 значением «5». Матрица попарных сравнений является обратно-симметричной.

После формирования матрицы попарных сравнений определяются «оценки важности» альтернатив — их показатели в новом формате. Для этого к матрице приписывается дополнительный столбец. Его элементы определяются как средний геометрический показатель по строке и представляют собственный вектор матрицы сравнений (см. табл. 4).

Для дополнительного столбца реализуется процедура специальной «нормировки»: каждый его элемент делится на сумму всех элементов столбца. В рассматриваемой ситуации такая сумма элементов дополнительного столбца в табл. 4 составляет 12,823. Указанная процедура «нормировки» для первого элемента первой строки дает:  $0,075 / 12,823 = 7,557$ . Аналогично находятся остальные элементы нормированного столбца в табл. 4. Далее «оценки важности» альтернатив представлены процентами (столбец «Важность альтернатив, %»).

В табл. 5-8 представлены матрицы попарных сравнений по частным критериям К2 и К3, а также результаты для «оценок важности» альтернатив в %.

Отметим, что степень согласованности сравнений ЛПР во всех трёх случаях приемлема (индексы согласованности

Таблица 5

**Попарные сравнения альтернатив по частному критерию К2 (риск)**

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1	5	5	5	1	1	1	9
B	1/5	1	1	1	1/5	1/5	1/5	5
C	1/5	1	1	1	1/5	1/5	1/5	5
D	1/5	1	1	1	1/5	1/5	1/5	5
E	1	5	5	5	1	1	1	9
F	1	5	5	5	1	1	1	9
G	1	5	5	5	1	1	1	9
H	1/9	1/5	1/5	1/5	1/9	1/9	1/9	1

Таблица 6

**«Оценки важности» альтернатив по частному критерию К2**

Альтерн.	A	B	C	D	E	F	G	H	Собственный вектор	Нормированный столбец	Важность альтерн., %
A	1,00	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	2,407	0,210	21,020
B	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	5,00	0,547	0,048	4,777
C	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	5,00	0,547	0,048	4,777
D	0,20	1,00	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	5,00	0,547	0,048	4,777
E	1,00	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	2,407	0,210	21,020
F	1,00	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	2,407	0,210	21,020
G	1,00	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	2,407	0,210	21,020
H	0,11	0,20	0,20	0,20	0,11	0,11	0,11	1,00	0,182	0,016	1,592

Таблица 4

**«Оценки важности» альтернатив по частному критерию К1**

Альтерн.	A	B	C	D	E	F	G	H	Собственный вектор	Нормированный столбец	Важность альтерн., %
A	1,00	5,00	3,00	7,00	0,20	0,33	0,33	0,33	0,969	0,076	7,557
B	0,20	1,00	0,33	3,00	0,11	0,14	0,14	0,20	0,312	0,024	2,436
C	0,33	3,00	1,00	7,00	0,14	0,20	0,20	0,33	0,583	0,045	4,546
D	0,14	0,33	0,14	1,00	0,11	0,14	0,11	0,14	0,190	0,015	1,483
E	5,00	9,00	7,00	9,00	1,00	3,00	5,00	7,00	4,833	0,377	37,689
F	3,00	7,00	5,00	7,00	0,33	1,00	3,00	7,00	2,910	0,227	22,695
G	3,00	7,00	5,00	9,00	0,20	0,33	1,00	3,00	1,926	0,150	15,016
H	3,00	5,00	3,00	7,00	0,14	0,14	0,33	1,00	1,100	0,086	8,578

находятся в допустимых пределах от 0 до 0,1).

В табл. 9 сведены «оценки важности» альтернатив по всем критериям (в процентном измерении).

Их можно интерпретировать как новые модифицированные показатели частных критериев.

Чтобы подчеркнуть это, соответствующие частные критерии применительно к такой ситуации далее обозначаются через G1 — G3.

Все такие показатели максимизируются.

Таблица 7

**Попарные сравнения альтернатив  
по частному критерию К3 (стоимость)**

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	1	1/9	1/3	1/7	7	7	3	1
B	9	1	5	1	9	9	9	9
C	3	1/5	1	1/7	9	7	5	3
D	7	1	7	1	9	5	9	9
E	1/7	1/9	1/9	1/9	1	1	1/7	1/7
F	1/7	1/9	1/7	1/5	1	1	1/7	1/7
G	1/3	1/9	1/5	1/9	7	7	1	1/5
H	1	1/9	1/3	1/9	7	7	5	1

«Оценки важности» альтернатив по частному критерию К3

Альтерн.	A	B	C	D	E	F	G	H	Собственный вектор	Нормированный столбец	Важность альтерн., %
A	1,00	0,11	0,33	0,14	7,00	7,00	3,00	1,00	0,969	0,069	6,893
B	9,00	1,00	5,00	1,00	9,00	9,00	9,00	9,00	4,828	0,343	34,344
C	3,00	0,20	1,00	0,14	9,00	7,00	5,00	3,00	1,732	0,123	12,321
D	7,00	1,00	7,00	1,00	9,00	5,00	9,00	9,00	4,534	0,323	32,252
E	0,14	0,11	0,11	0,11	1,00	1,00	0,14	0,14	0,211	0,015	1,504
F	0,14	0,11	0,14	0,20	1,00	1,00	0,14	0,14	0,235	0,017	1,671
G	0,33	0,11	0,20	0,11	7,00	7,00	1,00	0,20	0,547	0,039	3,894
H	1,00	0,11	0,33	0,11	7,00	7,00	5,00	1,00	1,001	0,071	7,121

Таблица 9

**Модифицированные/переоцененные показатели  
частных критериев**

	G1	G2	G3
A	7,557	21,020	6,893
B	2,436	4,777	34,344
C	4,546	4,777	12,321
D	1,483	4,777	32,252
E	37,689	21,020	1,504
F	22,695	21,020	1,671
G	15,016	21,020	3,894
H	8,578	0,016	7,121

Отметим, что наибольшие / наилучшие по столбцам переоцененные показатели частных критериев будут представлены вектором (37,689; 21,020; 34,344). Для рассматриваемой задачи многокритериальной оптимизации этот вектор представляет координаты, так называемой, утопической точки в поле полезностей.

**ИЛЛЮСТРАЦИИ ПРОЦЕДУР ОПТИМИЗАЦИИ:  
СОПОСТАВЛЕНИЕ  
ТРАДИЦИОННОГО И МОДИФИЦИРОВАННОГО  
ПОДХОДОВ К ОПТИМИЗАЦИИ**

Приведем иллюстрации эффективности предложенных выше процедур синтеза при решении задач многокритериальной оптимизации. Для этого сопоставим результаты выбора наилучшей альтернативы, получаемые на основе традиционного подхода к решению анализируемой задачи многокритериальной оптимизации (задача  $K_i \rightarrow \min$ ), и получаемые на основе предложенного в этой статье нового модифицированного подхода с учетом «переоцененных по-

казателей или рангов важности» альтернатив (задача  $G_i \rightarrow \max$ ). Выбор по традиционным критериям реализуется на основе исходных данных табл. 1. Выбор по модифицированным критериям осуществляется с учетом предложенных процедур синтеза — на основе новых показателей альтернатив по частным критериям, которые даны в табл. 9. Ниже приведена иллюстрация в формате следующих традиционных критериев выбора прямого типа:

- Обобщенный скалярный критерий;
- Критерий идеальной точки;
- Метод взвешенной суммы оценок частных критериев.

**1. Выбор по обобщенному скалярному критерию  
(в поле потерь для исходных показателей)**

Суть обобщенного скалярного критерия заключается в реализации процедур, которые позволяют нацелить выбор на утопическую точку УТ (это точка с наилучшими координатами в поле потерь). При таком подходе к решению исходной многокритериальной задачи минимизации формируется функция выбора  $F(x)$  следующим образом.

$$F(x) = \sum_{i=1}^3 \frac{K^i(x)}{K_{\min}^i}$$

где  $K_{\min}^i$  — минимальное значение  $i$ -го частного критерия в рассматриваемой области. Точки минимума указанной критериальной функции  $F(x)$  принимаются как искомые оптимальные решения.

В последнем столбце таблицы 10 приведены показатели этого критерия выбора, найденные по указанной выше формуле. Для удобства изложения показателя частных критериев уже поделены на наименьший элемент в столбце. Из показателей дополнительного столбца надо выбрать минимальный: он и укажет на оптимальное решение. Как видим, реализация метода приводит к выбору альтернативы Е и ранжирует альтернативы в последовательности Е, F, G, А, С, H, B, D. Выбор падает на альтернативу Е.

Возможность неадекватного выбора (относительно предпочтений ЛПР) очевидна. На содержательном уровне можно отметить следующее. С одной стороны, альтернатива Е характеризуется самым коротким сроком поставки и минимальным количеством перевалок груза на протяжении всего маршрута перевозки (это, естественно, соответствует системе предпочтений ЛПР). С другой стороны, стоимость перевозки груза по маршруту Е имеет самое большое значение среди анализируемых альтернатив (это уже может идти в разрез системе предпочтений ЛПР). Найденный компромисс может не устраивать ЛПР. На формальном уровне возможность неадекватного выбора можно обнаружить, анализируя показатели частных критериев, которые используют формат рассматриваемого критерия выбора. Эти показатели для удобства изложения уже представлены в табл. 10 в указанном формате (с учетом деления на минимальный элемент по столбцу).

Легко видеть, что на показатель критерия выбора (это сумма указанных элементов по строке) больше всего влияют показатель частного критерия К1. Проверьте самостоятельно, что именно этим и обусловлено приведенное ранжирование альтернатив. Как видим, второй и третий частные критерии не оказали влияния на выбор. Врядли это будет приемлемо для обоснования выбора ЛПР.



Таблица 10  
Иллюстрация выбора на основе обобщённого скалярного критерия (задача  $K_i \rightarrow \min$ )

Варианты решений	Значения критериев выбора			Значения функции выбора
	K1/K1min	K2/K2min	K3/K3min	
A	5/2=2,5	2/2=1	410/328,2=1,25	4,75
B	8/2=4	3/2=1,5	330/328,2=1,01	6,51
C	7/2=3,5	3/2=1,5	390/328,2=1,19	6,19
D	9/2=4,5	3/2=1,5	328,2/328,2=1	7,00
E	2/2=1	2/2=1	475/328,2=1,45	3,45
F	3/2=1,5	2/2=1	473/328,2=1,44	3,94
G	4/2=2	2/2=1	430/328,2=1,31	4,31
H	6/2=3	4/2=2	407,5/328,2=1,24	6,24
УТ	2	2	328,2	

### 1.1. Выбор по модифицированному обобщенному скалярному критерию

Представленная в этой статье возможность модификации критерия выбора для нахождения наилучшего маршрута требует анализа модифицированных показателей. Они были представлены в табл. 9. Задача многокритериальной оптимизации требует максимизации указанных показателей. Процедуры выбора по модифицированному обобщенному скалярному критерию представлены в табл. 11.

Наилучшей будет альтернатива E — перевозка груза из Сингапура чартерным рейсом Boeing-747 в Москву, из Москвы — тремя чартерным рейсом ИЛ-76 в Тюмень. Обратим внимание на то, что имевшее место в табл. 10 преобладание исходных показателей последнего частного критерия устранено (имеется в виду формат новой модифицированной задачи оптимизации при многих критериях, т.е. задачи  $G_i \rightarrow \max$ ). Новый модифицированный обобщенный скалярный критерий ранжирует анализируемые альтернативы уже в иной последовательности: E, F, G, A, B, D, C, H. Таким образом, в этом случае можно говорить о новом инструменте оптимизации многокритериальных решений, который, кстати, позволяет устранять феномен неадекватного выбора.

Таблица 11  
Выбор по модифицированному обобщенному скалярному критерию (задача  $G_i \rightarrow \max$ )

Варианты решений	Значения критериев выбора			Значения функции выбора
	G1	G2	G3	
A	7,557	21,020	6,893	1,40
B	2,436	4,777	34,344	1,29
C	4,546	4,777	12,321	0,71
D	1,483	4,777	32,252	1,21
E	37,689	21,020	1,504	2,04
F	22,695	21,020	1,671	1,65
G	15,016	21,020	3,894	1,51
H	8,578	0,016	7,121	0,43
УТ	37,689	21,020	34,344	

### 2. Выбор по критерию идеальной точки (в поле потерь для исходных показателей)

На содержательном уровне этот подход к выбору наилучшей альтернативы для многокритериальной задачи оптимизации со-

стоит в нахождении решения, которому соответствует точка, ближайшая к той, которую задаёт ЛПР в виде желаемых значений показателей всех частных критериев. При этом, как правило, ЛПР выбирает на практике сочетание наилучших показателей для частных критериев и такая задаваемая точка (называемая утопической, — УТ). На первом этапе реализации метода идеальной точки в дополнительной строке выписываются координаты УТ. Второй шаг состоит в нахождении «расстояния» от точек, представляющих каждую альтернативу до УТ по формуле:

$$L = \sqrt{\sum (k_i - k_i^T)^2}$$

где  $K_i$  — это показатель по  $i$ -му критерию,  $K_i^T$  — минимальный показатель по такому критерию.

На конечном этапе происходит осуществление выбора оптимального решения. Как видим, идеальной точкой в пространстве значений частных критериев при таком подходе к решению оказалась точка, представляющая альтернативу В (см. таблицу 12).

Таблица 12  
Иллюстрация выбора на основе метода идеальной точки

Варианты решений	Значения критериев выбора						Расстояние до УТ
	K1	$(K_{1i} - K_{УТ1})^2$	K1	$(K_{2i} - K_{УТ2})^2$	K3	$(K_{3i} - K_{УТ3})^2$	
A	5	9	2	0	410	6691,24	$\sqrt{6700,24}$
B	8	36	3	1	330	3,24	$\sqrt{40,24}$
C	7	25	3	1	390	3819,24	$\sqrt{3845,24}$
D	9	49	3	1	328,2	0	$\sqrt{50}$
E	2	0	2	0	475	21550,24	$\sqrt{21550,24}$
F	3	1	2	0	473	20967,04	$\sqrt{20968,04}$
G	4	4	2	0	430	10363,24	$\sqrt{10367,24}$
H	6	16	4	4	407,5	6288,49	$\sqrt{6308,49}$
УТ	2	—	2	—	328,2	—	

При этом формат критерия выбора идеальной точки также предполагает воздействие нежелательного феномена: частные критерии  $K_1$  и  $K_2$ , практически, не оказывают влияния на выбор. Определяющее влияние на выбор оказывает частный критерий  $K_3$ . Это обусловлено тем, что его показатели значительно превышают показатели частных критериев  $K_1$  и  $K_2$ , что и отражается на найденных «расстояниях». Критерий идеальной точки ранжирует альтернативы в следующей последовательности: B, D, C, H, A, G, F, E. Выбор падает на альтернативу B. Однако, указанные обстоятельства вряд ли оставят приемлемым такое обоснование выбора для ЛПР.

### 2.1. Выбор по модифицированному критерию идеальной точки

Переход к новому формату представления оценок альтернатив по частным критериям (и их максимизация) требует избрать в качестве УТ точку с наибольшими такими оценками для частных критериев. Процедуры оптимизации представлены в табл. 13.

Как видно из табл. 13, наилучшей альтернативой по модифицированному методу идеальной точки является уже альтернатива H — перевозка груза из Сингапура регулярным рейсом в Бангкок, из Бангкока — регулярным рейсом во Франкфурт-на-Майне, из Франкфурта-на-Майне — регулярным рейсом в Москву, из Москвы — чартерным рейсом ИЛ-76 в Тюмень. Обратите внимание на то, что теперь уже нельзя утверждать, что на выбор влияют только показатели частного критерия  $K_3$ . Модифицированный критерий идеальной точки ранжирует анализируемые альтернативы также в иной последовательности (по сравнению с результатом их ранжирования до модификации): H, C, A, D, B, G, F, E. Таким образом, и в этом случае можно говорить о новом инструменте оптимизации многокри-

Таблица 13  
Выбор по модифицированному методу идеальной точки (задача  $G_i \rightarrow \max$ )

Варианты решений	Значения критериев выбора						Значения функции выбора
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	
A	7,557	907,937	21,020	0	6,893	753,557	$\sqrt{1661,495}$
B	2,436	1242,774	4,777	263,835	34,344	0	$\sqrt{1506,609}$
C	4,546	1098,458	4,777	263,835	12,321	485,013	$\sqrt{1847,306}$
D	1,483	1310,874	4,777	263,835	32,252	4,376	$\sqrt{1579,086}$
E	37,689	0	21,020	0	1,504	1078,466	$\sqrt{1078,466}$
F	22,695	224,820	21,020	0	1,671	1067,525	$\sqrt{1292,345}$
G	15,016	514,065	21,020	0	3,894	927,203	$\sqrt{1441,267}$
H	8,578	847,450	0,016	441,168	7,121	741,092	$\sqrt{2029,710}$
УТ	37,689		21,020		34,344		

териальных решений, причем этот инструмент позволяет устранять феномен неадекватного выбора.

### 3. Выбор по методу взвешенной суммы оценок частных критериев

Традиционный метод взвешенной суммы оценок частных критериев позволяет учитывать значения всех альтернатив и в то же время берёт во внимание важность (или «вес») каждого отдельного критерия для ЛПР. Пусть частный критерий стоимости организации перевозки (критерий K3) является самым важным для ЛПР и имеет «вес» 0,5. Также предположим, что частный критерий количества перевалок груза K2 — второй по значимости с «весом» 0,4. Соответственно, частный критерий времени доставки K1 играет наименьшую роль при выборе маршрута перевозки с «весом» 0,1. Имея эту информацию, можно было бы найти средневзвешенные показатели альтернатив, чтобы выбрать наилучшую (по наименьшему показателю). Однако указанный подход к оптимизации предполагает, что показатели частных критериев имеют одинаковую размерность. В анализируемой ситуации это не выполняется.

Таким образом, использование метода взвешенной суммы оценок частных критериев для нахождения наилучшей альтернативы в анализируемой ситуации просто невозможно. Покажем, что модифицированный метод взвешенной суммы оценок частных критериев позволяет обойти этот недостаток.

#### 3.1. Выбор по модифицированному методу взвешенной суммы оценок частных критериев (задача $G_i \rightarrow \max$ )

Применяем процедуры выбора по методу взвешенной суммы оценок частных критериев применительно к модифицированным показателям (см. табл. 9). Такие показатели имеют одинаковую размерность (и рассматривается задача максимизации частных критериев). Наилучшее решение в дополнительном столбце будет представлено максимальным показателем. Результаты оптимизации сведены в табл. 14.

Таблица 14

#### Выбор по модифицированному методу взвешенной суммы оценок критериев (задача $G_i \rightarrow \max$ )

Варианты решений	Значения критериев выбора			Взвешенная сумма оценок
	G1	G2	G3	
A	7,557	21,020	6,893	12,610
B	2,436	4,777	34,344	19,326
C	4,546	4,777	12,321	8,526
D	1,483	4,777	32,252	18,185
E	37,689	21,020	1,504	12,929
F	22,695	21,020	1,671	11,513
G	15,016	21,020	3,894	11,857
H	8,578	0,016	7,121	4,425
Веса критериев	0,1	0,4	0,5	

В данном случае приходим к выбору альтернативы В — перевозка груза регулярным рейсом из Сингапура во Франкфурт-на-Майне, из Франкфурта-на-Майне — регулярным рейсом в Москву, из Москвы — charterным рейсом на ИЛ-76 в Тюмень. Как было отмечено выше, реализация процедур синтеза при формировании дополнительного столбца значений функции делает возможным выбор по методу взвешенной суммы оценок частных критериев. Представленная модификация обобщенного минимаксного критерия ранжирует анализируемые альтернативы в новой последовательности: В, D, E, A, G, F, C, H. Таким образом, и в этом случае можно говорить о новом инструменте оптимизации многокритериальных решений.

**Закключение.** Среди всех рассмотренных выше подходов к выбору наилучшего решения в качестве оптимального решения (в формате представленной выше задачи) чаще всего определялась альтернатива А. Может ли это означать, что именно она должна быть признана самой лучшей для ЛПР в анализируемой ситуации? Нет, подчеркнем, что согласно теории наилучший выбор при многих критериях для различных ЛПР может отличаться. В этом нет противоречия. Для этого теория и предлагает различные критерии выбора. Кроме тех критериев выбора, которые были представлены выше для иллюстрации в этой работе, менеджер может использовать и многие другие. В общем случае менеджер должен подобрать наиболее подходящий критерий выбора для конкретного ЛПР (используя информацию, которая относится к предыдущим опытам/ситуациям на практике). Он и определит наилучшее решение для этого ЛПР. Понятно, что чем большим арсеналом таких методов владеет менеджер, тем более адекватным можно будет сделать выбор применительно к системе предпочтений конкретного ЛПР. Представленные иллюстрации позволяют сделать вывод о том, что предложенный в этой статье подход к модификации традиционных критериев выбора при решении задач многокритериальной оптимизации действительно существенно расширяет доступный менеджеру инструментарий для принятия решений в задачах многокритериальной оптимизации систем логистики. При этом новые модификации критериев выбора позволят менеджеру исключать воздействие феноменов неадекватного выбора, т.е. позволят сделать выбор более адекватным предпочтениям ЛПР.

#### Библиографический список:

1. Бродецкий Г.Л., Бродецкая Н.Г., Гусев Д.А. Эффективные инструменты многокритериальной оптимизации в логистике // Журн. «РИСК», №2, 2010.
2. Бродецкий Г.Л., Мазунина О.А. Оптимизация закупок по многим критериям с учётом рисков // Журн. «Логистика и управление цепями поставок», №4 (39), 2010, с. 65—75.
3. Бродецкий Г.Л. Проблема феномена «слепоты» для смешанных форматов задач многокритериальной оптимизации поставок // Журн. Национальной логистической ассоциации России «Логистика и управление цепями поставок», №1 (30), 2009, с. 101—112.
4. Бродецкий Г.Л., Руденко Я.Ю. Выбор наилучшего маршрута в цепях поставок как задача многокритериальной оптимизации // Журн. «Логистика и управление цепями поставок», №6 (35), 2009, с. 54—68.
5. Логистика: Учебник / В.В. Дыбская, Е.И. Зайцев, В.И. Сергеев, А.Н. Стерлигова. — М.: Эксмо, 2008. — 944 с. (Полный курс MBA).
6. Saaty Thomas L. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, 1st edition, 2000. — p. 477.