

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ДИСЛОКАЦИИ СКЛАДА И ФОРМЫ ЕГО СОБСТВЕННОСТИ

В.В. Дыбская
Г.Л. Бродецкий
Д.А. Гусев
А.Б. Виноградов

Введение

Бурное развитие логистики характерно тем, что при решении задач все более востребована многокритериальная оптимизация, то есть методы выбора наилучшего решения при многих критериях. Одной из наиболее важных задач в логистике распределения является выбор дислокации и формы собственности склада. В данной статье такая задача будет решаться на основе методов многокритериальных решений.

Постановка задачи оптимизации. Московская компания, занимающаяся оптовой и розничной торговлей бытовой химией и хозяйственными товарами, приняла решение о выходе на региональные рынки сбыта. В результате предварительного анализа различных факторов, влияющих на выбор схемы распределительной складской сети, были определены основные четыре сегмента сети. При этом формирование и расширение распределительной складской сети в связи с прогнозируемым ростом потребления предполагается осуществить в два этапа: первый в 2007-2009 гг и второй - в 2010-2012 гг.

Требуется для каждого из четырех (представленных ниже) сегментов выбрать:

- 1) дислокацию регионального склада, который может размещаться в одном из указанных ниже городов сегмента;
- 2) форму собственности регионального склада.

Сегменты распределительной сети :

- «Поволжье» (Казань, Саратов, Самара);
- «Юг» (Ростов-на-Дону, Краснодар, Волгоград);
- «Урал» (Пермь, Екатеринбург);
- «Центр» (Москва).

Рассматриваются три формы собственности регионального склада:

- приобретение складских мощностей в собственность;
- аренда складских мощностей;
- использование склада общего пользования (СОП)

Для более полной иллюстрации далее для каждого сегмента распределительной сети для решения рассматриваемой задачи оптимизации будет использован конкретный свой метод многокритериальной оптимизации. Начнем с одного из наиболее эффективных методов определения наилучшей альтернативы при многих количественных и качественных критериях выбора – метода аналитической иерархии (Analytic Hierarchy Process - АНР).

Выбор дислокации регионального склада и его формы собственности для сегмента «Поволжье» на основе метода аналитической иерархии.

Для данного метода характерно иерархическое представление структуры анализируемой системы, элементы которой находятся во взаимосвязи друг с другом. Метод АНР предполагает последовательную реализацию следующих этапов выбора наилучшей альтернативы:

- структуризация рассматриваемой задачи в виде иерархической структуры по уровням иерархии: цель – критерии - альтернативы;
- реализация попарных сравнений элементов одного уровня иерархии в виде матриц сравнений на основе специальной шкалы по направлению от наивысшего уровня к более низким;
- определение для каждой матрицы сравнений коэффициентов важности сравниваемых элементов одного уровня иерархии с учетом требований к согласованности суждений ЛПР ;
- синтез найденных коэффициентов важности элементов всех уровней иерархии в виде приоритетов для каждой из рассматриваемых альтернатив

Итак, в формате рассматриваемой задачи на основе метода АНР требуется сделать выбор из девяти альтернатив $A_1 - A_9$, поскольку имеются три формы собственности и три города-претендента для размещения регионального склада:

A_1 – приобретение функционирующих складских хозяйств в г. Казань;

A_2 – аренда складских мощностей в г. Казань;

A_3 – использование склада общего пользования (СОП) в г. Казань;

A_4 – приобретение функционирующих складских хозяйств в г. Самара;

A_5 – аренда складских мощностей в г. Самара;

A_6 – использование СОП в г. Самара;

A_7 – приобретение функционирующих складских хозяйств в г. Саратов;

A_8 – аренда складских мощностей в г. Саратов;

A_9 – использование СОП в г. Саратов.

В формате метода АНР лицо, принимающее решения, (далее - ЛПР) указывает наиболее важные критерии, по которым выполняется оптимизация. Эти критерии ЛПР может выбрать в соответствии со своей системой предпочтений. В данном случае наиболее значимыми при выборе формы собственности и дислокации регионального склада были признаны следующие критерии $C_1 - C_5$:

C_1 – совокупные (капитальные и эксплуатационные) затраты на складирование и грузопереработку в 2007-2009 гг ;

C_2 – совокупные (капитальные и эксплуатационные) затраты на складирование и грузопереработку в 2010-2012 гг;

C_3 – транспортные затраты в 2007-2009 гг;

C_4 – транспортные затраты в 2010-2012 гг;

C_5 – качество складского сервиса.

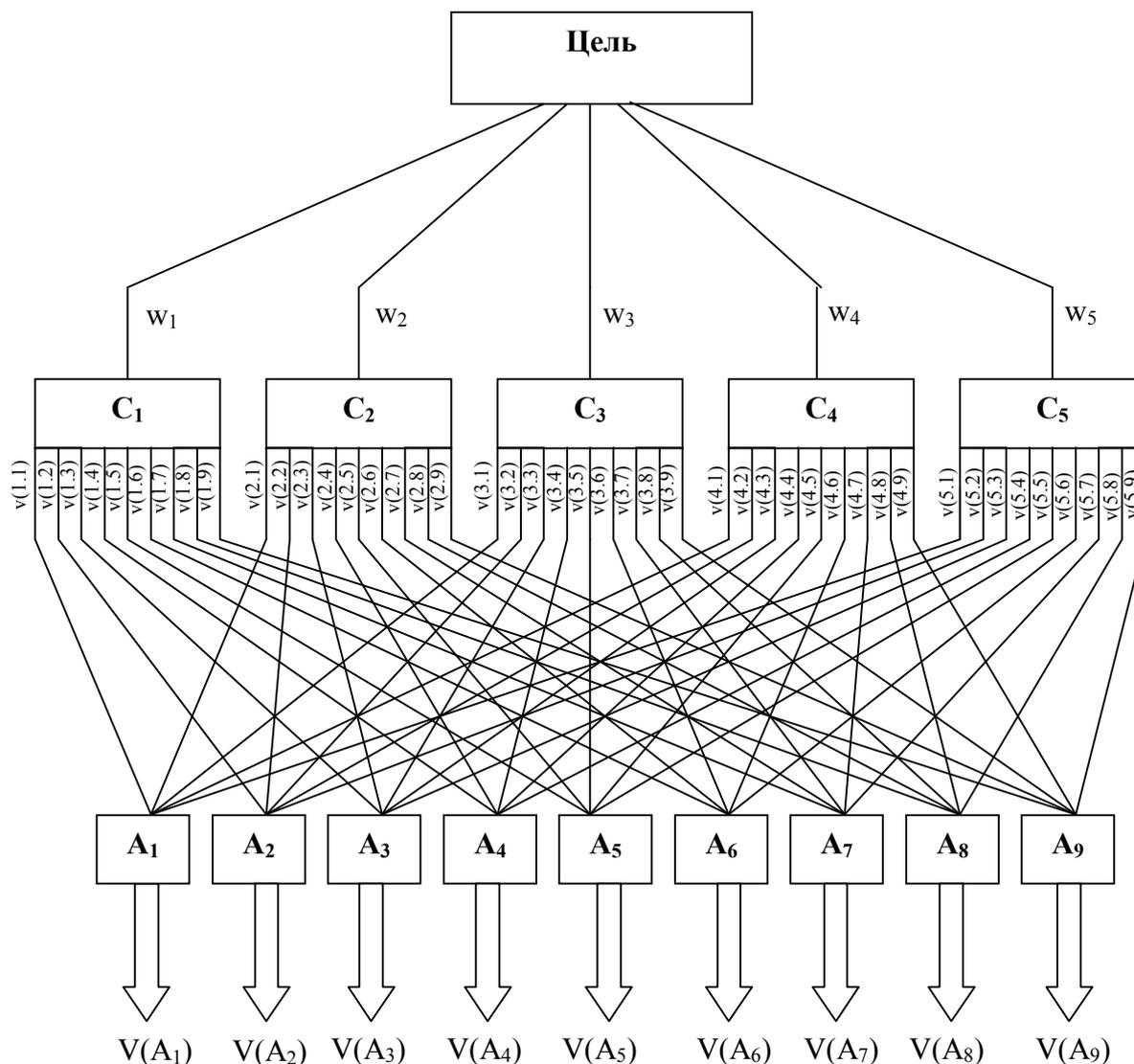


Рис. 1. Иерархическая структура в формате примера

Иерархическая структура рассматриваемой задачи представлена на рис. 1. При этом приняты следующие обозначения в формате метода АНР:

w_i – коэффициент важности критерия C_i , $i = 1..5$;

$V(i,j)$ – коэффициент важности альтернативы A_j при сравнении по критерию C_i , $i = 1..5$, $j=1..9$;

$V(A_j)$ – приоритет альтернативы j , $j=1..9$.

В формате метода АНР приоритеты альтернатив определяются следующим образом. Необходимо использовать следующую формулу для определения приоритета альтернативы j :

$$V(A_j) = w_1 \cdot V(1.j) + w_2 \cdot V(2.j) + w_3 \cdot V(3.j) + w_4 \cdot V(4.j) + w_5 \cdot V(5.j), \quad j=1..9 \quad (*)$$

Наилучшей является альтернатива, имеющая наибольший приоритет. Для сравнения альтернатив по разным критериям ЛПП в формате данного метода может использоваться агрегированные показатели затрат как величины соответствующих критериев. Они приведены в табл.1. и получены на основе расчетов по алгоритмам, представленным в книге В. В. Дыбской «Логистика для практиков. Эффективные решения в складировании и грузопереработке». Такие показатели являются основой для реализации попарных сравнений с учетом личного отношения ЛПП к уровню ожидаемых затрат.

Таблица 1

Затраты по альтернативам (тыс. долл. США)

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	219,8	109,9	476,3	880
A_2	63,6	147,0	476,3	880
A_3	91,9	208,8	476,3	880
A_4	246,4	135,9	497,6	955,9
A_5	76,1	175,8	497,6	955,9
A_6	91,9	208,8	497,6	955,9
A_7	237,5	144,5	516,3	944,5
A_8	76,5	176,8	516,3	944,5
A_9	75,2	170,8	516,3	944,5

Значения критерия C_5 представлены далее рейтинговыми оценками, основанными на шкале, приведенной в табл. 2.

Таблица 2

Шкала оценка качества складского сервиса

Рейтинг	Обозначение
Высший	А
Отличный	В
Хороший	С
Удовлетворительный	Д
Неудовлетворительный	Е

Таким образом, ЛПР оценил качество складского сервиса для каждой из рассматриваемых альтернатив:

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
C ₅	В	В	С	В	В	С	С	Д	С

Для реализации попарных сравнений все исходные данные объединены в одну табл.

3.

Таблица 3

Матрица исходных данных для попарных сравнений

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	219,8	109,9	476,3	880	В
A ₂	63,6	147,0	476,3	880	В
A ₃	91,9	208,8	476,3	880	С
A ₄	246,4	135,9	497,6	955,9	В
A ₅	76,1	175,8	497,6	955,9	В
A ₆	91,9	208,8	497,6	955,9	С
A ₇	237,5	144,5	516,3	944,5	С
A ₈	76,5	176,8	516,3	944,5	Д
A ₉	75,2	170,8	516,3	944,5	С

Обратим внимание на следующее. Критерии C₁ – C₄ являются количественными, причем величины соответствующих затрат должны минимизироваться, а критерий C₅ – качественный. Это обстоятельство существенно затрудняет сравнение альтернатив. Тем не менее, метод АНР эффективно справляется с такими трудностями.

Попарные сравнения в формате метода АНР реализуются на основе специальной шкалы, приведенной в табл. 4.

Таблица 4

Рекомендуемая шкала попарных сравнений

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

Напомним, что ЛПР имеет право проставлять любые баллы по 10-бальной шкале. Приведенные в табл. 4. рекомендации являются опорными положениями, разработанными психологами. Например, «6» означает более, чем существенное, но менее, чем большое превосходство.

На основе своего отношения к важности критериев $C_1 - C_5$ лицо, принимающее решения (ЛПР) заполняет соответствующую матрицу попарных сравнений критериев (табл. 4).

Таблица 5

Матрица попарных сравнений важности критериев

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	1	3	1/6	1/2	2
C_2	1/3	1	1/6	1/5	2
C_3	6	6	1	2	7
C_4	2	5	1/2	1	5
C_5	1/2	1/2	1/7	1/5	1

Заполнение табл. 5. происходит в результате попарных сравнений важности рассматриваемых критериев относительно друг друга. При этом важность оценивается для критерия, представленного в каждой строке по отношению к критерию, представленному в каждом столбце. В частности, по мнению ЛПР, критерий C_1 имеет (по важности) умеренное превосходство перед критерием C_2 , что отражено значением «3» на пересечении первой строки и второго столбца в табл. 5. Соответственно, критерий C_2 (по важности) умеренно уступает критерию C_1 и поэтому на пересечении второй строки и первого столбца стоит

значение «1/3». Таким образом, матрица попарных сравнений является обратно-симметричной. По диагонали стоят единицы, так как любой критерий всегда эквивалентен самому себе. При заполнении матрицы попарных сравнений ЛПР достаточно заполнить ячейки, в которых будут числа, не меньше единицы. Остальные ячейки заполняются автоматически, используя тот факт, что рассматриваемая матрица является обратно-симметричной.

Определение коэффициентов важности

Найдем коэффициенты важности рассматриваемых критериев. Для этого вводим дополнительный столбец к матрице попарных сравнений критериев. Его элементы определяются следующим образом. Для каждой строки рассматриваемой матрицы найдем среднее геометрическое ее элементов. В частности, для i –той строки элемент дополнительного столбца d_i получаем по формуле:

$$d_i = \sqrt[5]{c_{i1} \cdot c_{i2} \cdot c_{i3} \cdot c_{i4} \cdot c_{i5}}$$

где $c_{i1} - c_{i5}$ – элементы i –той строки.

Таблица 6

Расчет коэффициентов важности критериев

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Дополнительный столбец	Нормированный столбец
C_1	1	3	1/6	1/2	2	0,87	0,12
C_2	1/3	1	1/6	1/5	2	0,47	0,07
C_3	6	6	1	2	7	3,47	0,49
C_4	2	5	1/2	1	5	1,90	0,27
C_5	1/2	1/2	1/7	1/5	1	0,37	0,05

В табл. 6 приведены результаты соответствующих расчетов и найден дополнительный столбец для рассматриваемой матрицы сравнений критериев. После этого проведена процедура его нормирования, то есть каждый его элемент был разделен на сумму его элементов. В рассматриваемой ситуации такая сумма элементов дополнительного столбца составляет – 7,08. Пример нормирования для первого элемента первой строки:

$$0,87 / 7,08 = 0,12.$$

В рамках метода аналитической иерархии нормированный вектор столбец представляет искомые коэффициенты важности критериев. Таким образом, коэффициенты важности применительно к рассматриваемой ситуации составляют:

Критерии	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Коэффициенты важности (w _i)	0,12	0,07	0,49	0,27	0,05

Формат метода аналитической иерархии требует оценить согласованность суждений ЛПР при реализации попарных сравнений. Под согласованностью понимается соблюдение на приемлемом уровне принципа, который соответствует на количественному представлению транзитивности суждений ЛПР.

Для определения степени согласованности суждений ЛПР используют индекс согласованности (ИС), который позволяет оценить, приемлемы ли произведенные ЛПР попарные сравнения в формате метода АНР или же необходимо их скорректировать.

Определение индекса согласованности

Для расчета ИС необходимо получить еще один дополнительный столбец, который далее называем λ -столбец. Такой столбец имеет компоненты, соответственно, ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$).

Таблица 7

Расчет λ -столбца для определения индекса согласованности

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	Нормированный столбец	λ -столбец
C ₁	1	3	1/6	1/2	2	0,12	$\lambda_1 = 0,647$
C ₂	1/3	1	1/6	1/5	2	0,07	$\lambda_2 = 0,346$
C ₃	6	6	1	2	7	0,49	$\lambda_3 = 2,52$
C ₄	2	5	1/2	1	5	0,27	$\lambda_4 = 1,335$
C ₅	1/2	1/2	1/7	1/5	1	0,05	$\lambda_5 = 0,269$

В табл. 7 λ -столбец получен при умножении матрицы попарных сравнений на нормированный столбец. В частности, например,

$$\lambda_1 = 1 \cdot 0,12 + 3 \cdot 0,07 + 1/6 \cdot 0,49 + 1/2 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,05 = 0,647 ;$$

$$\lambda_2 = 1/3 \cdot 0,12 + 1 \cdot 0,07 + 1/6 \cdot 0,49 + 1/5 \cdot 0,27 + 2 \cdot 0,05 = 0,346$$

и т.д.

Далее необходимо найти отношения соответствующих элементов λ -столбца и нормированного столбца:

$$1) \lambda_1 / 0,12 = 0,647 / 0,12 = 5,39;$$

$$2) \lambda_2 / 0,07 = 0,346 / 0,07 = 4,94;$$

$$3) \lambda_3 / 0,49 = 2,52 / 0,49 = 5,14;$$

$$4) \lambda_4 / 0,27 = 1,335 / 0,27 = 4,94;$$

$$5) \lambda_5 / 0,05 = 0,269 / 0,05 = 5,38;$$

Определим λ_{\max} как среднее арифметическое таких отношений:

$$\lambda_{\max} = (5,39+4,94+5,14+4,94+5,38) / 5 = 5,158$$

Тогда, зная n – число сравниваемых объектов (в данном случае критериев), находим индекс согласованности по следующей формуле:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,158 - 5}{5 - 1} = 0,0395$$

Степень согласованности сравнений ЛПР в данном случае приемлема, поскольку согласно требованиям метода соответствующий индекс согласованности не должен превышать 0,1

Матрицы попарных сравнений анализируемых альтернатив по критериям C_1 - C_5 приведены в табл. 8-12. Такие матрицы были получены следующим образом. Например, матрицу в табл.8. представило ЛПР на основе анализа показателей первого столбца табл. 1. по критерию C_1 :

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆	A₇	A₈	A₉
C₁	219,8	63,6	91,9	246,4	76,1	91,9	237,5	76,5	75,2

При этом, например, сопоставляя значения альтернатив A_2 и A_1 по критерию C_1 , ЛПР считает, что альтернатива A_2 имеет большое превосходство по отношению к альтернативе A_1 , поэтому на пересечении второй строки и первого столбца матрицы попарных сравнений в табл. 8. стоит число «7». Соответственно, на пересечении первой строки и второго столбца стоит число «1/7». Далее, например, ЛПР считает эквивалентными по критерию C_1 значения альтернатив A_5 , A_8 и A_9 , и поэтому в матрице попарных сравнений на соответствующих пересечениях пятой, восьмой и девятой строк с пятым, восьмым и девятым столбцами стоят числа «1».

Для каждой из рассматриваемых матриц попарных сравнений с использованием рассмотренных выше процедур определены коэффициенты важности альтернатив ($V(i,j)$) и индексы согласованности (ИС).

Таблица 8

Попарные сравнения важности альтернатив по критерию C_1

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆	A₇	A₈	A₉

A₁	1	1/7	1/2	2	1/4	1/2	3	1/4	1/4
A₂	7	1	6	8	3	6	9	3	3
A₃	2	1/6	1	2	1/3	1	3	1/3	1/3
A₄	1/2	1/8	1/2	1	1/5	1/2	2	1/5	1/5
A₅	4	1/3	3	5	1	3	6	1	1
A₆	2	1/6	1	2	1/3	1	3	1/2	1/2
A₇	1/3	1/9	1/3	1/2	1/6	1/3	1	1/6	1/6
A₈	4	1/3	3	5	1	2	6	1	1
A₉	4	1/3	3	5	1	2	6	1	1

Коэффициенты важности альтернатив по критерию C_1 и индекс согласованности составят:

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆	A₇	A₈	A₉
V(i.1)	0,044	0,34	0,06	0,032	0,151	0,064	0,023	0,144	0,144
ИС	0,016								

Таблица 9

Попарные сравнения важности альтернатив по критерию C_2

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆	A₇	A₈	A₉
A₁	1	2	6	2	4	6	2	4	4
A₂	1/2	1	4	1	2	4	1	2	2
A₃	1/6	1/4	1	1/4	1/2	1	1/4	1/2	1/2
A₄	1/2	1	4	1	2	4	1	2	2
A₅	1/4	1/2	2	1/2	1	2	1/2	1	1
A₆	1/6	1/4	1	1/4	1/2	1	1/4	1/2	1/2
A₇	1/2	1	4	1	2	4	1	2	2
A₈	1/4	1/2	2	1/2	1	2	1/2	1	1
A₉	1/4	1/2	2	1/2	2	2	1/2	1	1

Коэффициенты важности альтернатив по критерию C_2 и индекс согласованности составят:

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅	A₆	A₇	A₈	A₉
V(i.2)	0,273	0,145	0,038	0,145	0,072	0,038	0,145	0,072	0,072
ИС	0,001								

Таблица 10

Попарные сравнения важности альтернатив по критерию C_3

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	1	1	1	2	2	2	4	4	4
A ₂	1	1	1	2	2	2	4	4	4
A ₃	1	1	1	2	2	2	4	4	4
A ₄	1/2	1/2	1/2	1	1	1	2	2	2
A ₅	1/2	1/2	1/2	1	1	1	2	2	2
A ₆	1/2	1/2	1/2	1	1	1	2	2	2
A ₇	1/4	1/4	1/4	1	1/2	1/2	1	1	1
A ₈	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1	1
A ₉	1/4	1/4	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1	1

Коэффициенты важности альтернатив по критерию C₃ и индекс согласованности составят:

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
V(i.3)	0,19	0,19	0,19	0,095	0,095	0,095	0,048	0,048	0,048
ИС	0								

Таблица 11

Попарные сравнения важности альтернатив по критерию C₄

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
A ₁	1	1	1	6	6	6	4	4	4
A ₂	1	1	1	6	6	6	4	4	4
A ₃	1	1	1	6	6	6	4	4	4
A ₄	1/6	1/6	1/6	1	1	1	1/2	1/2	1/2
A ₅	1/6	1/6	1/6	1	1	1	1/2	1/2	1/2
A ₆	1/6	1/6	1/6	1	1	1	1/2	1/2	1/2
A ₇	1/4	1/4	1/4	1	2	2	1	1	1
A ₈	1/4	1/4	1/4	2	2	2	1	1	1
A ₉	1/4	1/4	1/4	2	2	2	1	1	1

Коэффициенты важности альтернатив по критерию C₄ и индекс согласованности составят:

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
V(i.4)	0,233	0,233	0,233	0,036	0,036	0,036	0,065	0,065	0,065
ИС	0,002								

Попарные сравнения важности альтернатив по критерию C_5

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
A_1	1	1	4	1	1	4	4	6	4
A_2	1	1	4	1	1	4	4	6	4
A_3	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1	1	2	1
A_4	1	1	4	1	1	4	4	6	4
A_5	1	1	4	1	1	4	4	6	4
A_6	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1	1	2	1
A_7	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1	1	2	1
A_8	1/6	1/6	1/2	1/6	1/6	1/2	1/2	1	1/2
A_9	1/4	1/4	1	1/4	1/4	1	1	2	1

Коэффициенты важности альтернатив по критерию C_5 и индекс согласованности составят:

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
$V(i.5)$	0,193	0,193	0,05	0,193	0,193	0,05	0,05	0,029	0,05
ИС	0,002								

Зная коэффициенты важности критериев (табл.6.), найдем приоритеты альтернатив по формулам (*):

- 1) $V(A_1) = 0,12*0,044 + 0,07*0,273 + 0,49*0,19 + 0,27*0,233 + 0,05*0,193 = 0,19$
- 2) $V(A_2) = 0,12*0,34 + 0,07*0,145 + 0,49*0,19 + 0,27*0,233 + 0,05*0,193 = 0,217$
- 3) $V(A_3) = 0,12*0,06 + 0,07*0,038 + 0,49*0,19 + 0,27*0,233 + 0,05*0,05 = 0,168$
- 4) $V(A_4) = 0,12*0,032 + 0,07*0,145 + 0,49*0,095 + 0,27*0,036 + 0,05*0,193 = 0,08$
- 5) $V(A_5) = 0,12*0,151 + 0,07*0,072 + 0,49*0,095 + 0,27*0,036 + 0,05*0,193 = 0,089$
- 6) $V(A_6) = 0,12*0,064 + 0,07*0,038 + 0,49*0,095 + 0,27*0,036 + 0,05*0,05 = 0,069$
- 7) $V(A_7) = 0,12*0,23 + 0,07*0,145 + 0,49*0,048 + 0,27*0,065 + 0,05*0,05 = 0,081$
- 8) $V(A_8) = 0,12*0,144 + 0,07*0,072 + 0,49*0,048 + 0,27*0,065 + 0,05*0,029 = 0,065$
- 9) $V(A_9) = 0,12*0,144 + 0,07*0,072 + 0,49*0,048 + 0,27*0,065 + 0,05*0,05 = 0,066$

Представим все полученные параметры на рис.2, отражающем иерархическую структуру рассматриваемой задачи.

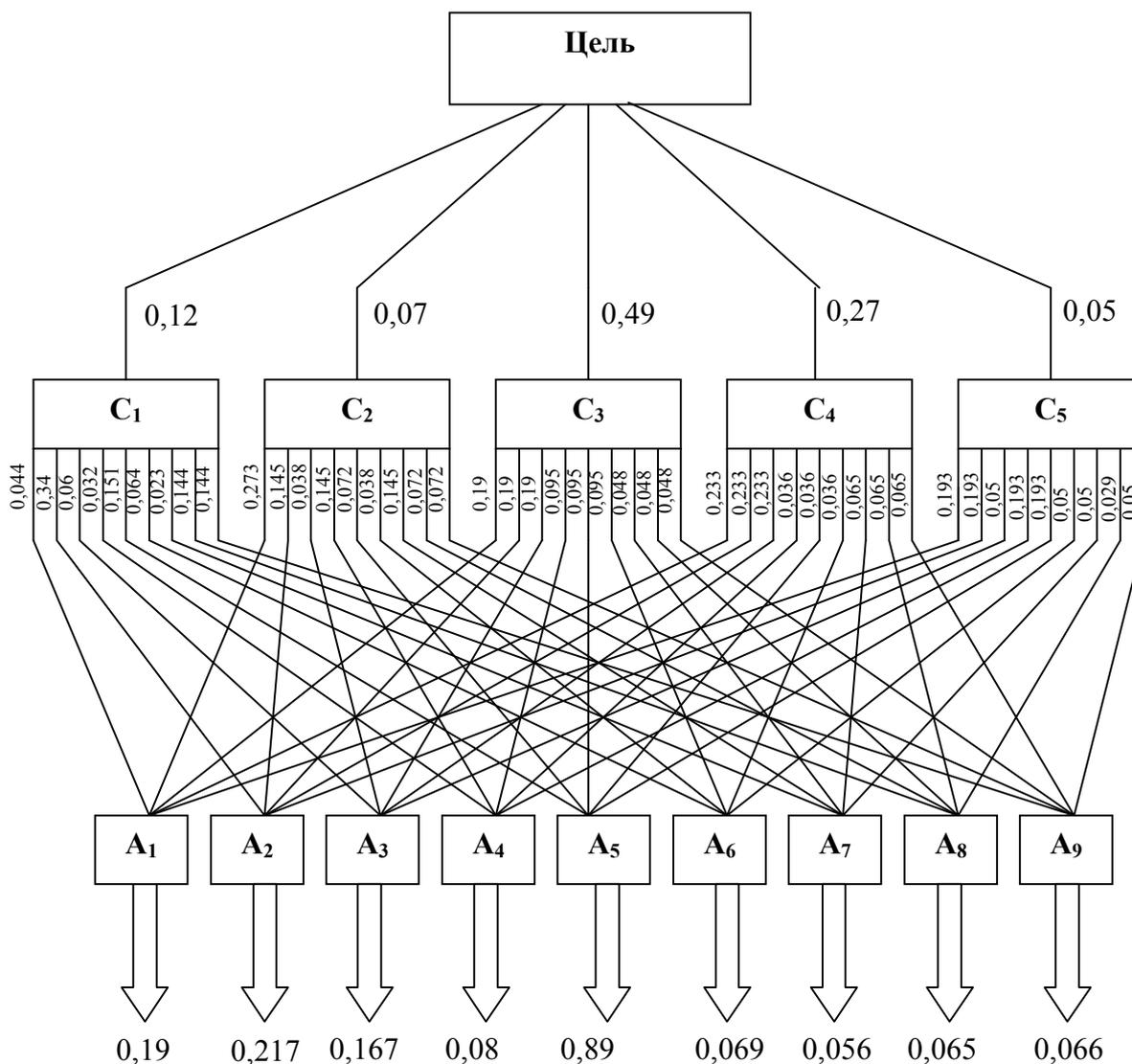


Рис. 1. Иерархическая структура с параметрами в формате примера

Таким образом, получены приоритеты альтернатив:

Альтернативы	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
Приоритеты	0,19	0,217	0,167	0,08	0,089	0,069	0,056	0,065	0,066

В результате наилучшей альтернатива по методу АНР является альтернатива A₂ – аренда складских мощностей в г. Казань. Она имеет наибольший приоритет

Выбор дислокации и формы собственности склада в сегменте «Юг» на основе многокритериальной оптимизации по методу идеальной точки

Для метода идеальной точки (в формате методов многокритериальной оптимизации) характерно представление рассматриваемых альтернатив в виде точек в соответствующем n – мерном пространстве, где n – число используемых критериев. Таким образом, каждая

альтернатива имеет набор координат в таком пространстве. При этом, если указать так называемую утопическую точку (УТ), имеющую наилучшие значения по всем критериям, то расположенная на наименьшем расстоянии от нее точка и даст наилучшее решение по методу идеальной точки.

Рассматриваются следующие альтернативы $A_1 - A_9$:

A_1 – покупка функционирующих складских хозяйств в г. Ростов-на-Дону;

A_2 – аренда складских мощностей в г. Ростов-на-Дону;

A_3 – использование СОП в г. Ростов-на-Дону;

A_4 – покупка функционирующих складских хозяйств в г. Краснодар;

A_5 – аренда складских мощностей в г. Краснодар;

A_6 – использование СОП в г. Краснодар;

A_7 – покупка функционирующих складских хозяйств в г. Волгоград;

A_8 – аренда складских мощностей в г. Волгоград;

A_9 – использование СОП в г. Волгоград;

Агрегированные показатели затрат применительно к данному сегменту, которые закладываются в основу для попарных сравнений ЛПР, получены на основе расчетов по алгоритмам, представленным в книге В. В. Дыбской «Логистика для практиков. Эффективные решения в складировании и грузопереработке», и приведены в табл. 13.

Таблица 13

Затраты по альтернативам (тыс. долл. США)

	C_1	C_2	C_3	C_4
A_1	205,5	101,2	490,9	947,9
A_2	58,9	136,2	490,9	947,9
A_3	83,6	189,8	490,9	947,9
A_4	185,9	83,7	621,0	1195,8
A_5	52,1	120,2	621,0	1195,8
A_6	75,2	170,8	621,0	1195,8
A_7	185,9	83,7	557,7	1026,8
A_8	51,5	119,0	557,7	1026,8
A_9	75,2	170,8	557,7	1026,8

Пусть для рассматриваемой задачи оптимизации применительно к данному сегменту «Юг» используется тот же набор критериев. Поскольку количественные критерии C_1 - C_4 представляют собой затраты и минимизируются, то требуется представить значения качественного критерия C_5 в специальной бальной шкале. Соответствующие оценки приведены в табл. 14, причем представленные баллы являются «штрафными» и будут минимизироваться (данные «штрафные» балльные оценки соответствуют предпочтениям ЛПР)

Таблица 14

Бальная шкала качества складского сервиса

Рейтинг	Обозначение	Балл
Высший	A	10
Отличный	B	20
Хороший	C	30
Удовлетворительный	D	40
Неудовлетворительный	E	50

Таким образом, ЛПР оценил качество складского сервиса для каждой из рассматриваемых альтернатив:

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
C ₅	10	30	20	10	30	30	10	30	40

Для реализации попарных сравнений все исходные данные объединены в одну табл. 15.

Таблица 15

Затраты по альтернативам (тыс. долл. США)

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	205,5	101,2	490,9	947,9	10
A ₂	58,9	136,2	490,9	947,9	30
A ₃	83,6	189,8	490,9	947,9	20
A ₄	185,9	83,7	621,0	1195,8	10
A ₅	52,1	120,2	621,0	1195,8	30
A ₆	75,2	170,8	621,0	1195,8	30
A ₇	185,9	83,7	557,7	1026,8	10

A₈	51,5	119,0	557,7	1026,8	30
A₉	75,2	170,8	557,7	1026,8	40

Координатами утопической точки являются наилучшие показатели в соответствующих столбцах табл. 15 :

УТ	51,5	83,7	490,9	947,9	10
-----------	------	------	-------	-------	----

Расстояние от альтернативы до утопической точки в n-мерном пространстве вычисляется по известным формулам линейной алгебры. В частности, расстояние от УТ до A₁ равно:

$$\sqrt{(205,5 - 51,5)^2 + (101,2 - 83,7)^2 + (490,9 - 557,2)^2 + (947,9 - 947,9)^2 + (10 - 10)^2} = 155,0$$

Расстояния от остальных альтернатив до УТ вычисляются аналогично и составляют:

Альтернативы	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
Расстояния до УТ	155,0	56,7	111,3	310,6	283,0	294,8	169,6	111,1	140,5

В формате метода идеальной точки наилучшей является альтернатива A₂ – аренда складских мощностей в г. Ростов-на-Дону, поскольку точка с координатами, соответствующими показателям этой альтернативы, имеет наименьшее расстояние до утопической точки.

Выбор дислокации и формы собственности склада в сегменте «Урал» на основе многокритериальной оптимизации по методу взвешенной суммы оценок критериев

При использовании метода взвешенных оценок критериев для каждого критерия ЛПР задает соответствующие веса для частных критериев. Наилучшей является альтернатива с наилучшим средневзвешенным показателем.

Пусть в формате рассматриваемой задачи оптимизации для рассматриваемого сегмента «Урал» используется тот же набор критериев, за исключением критерия C₅. Например, ЛПР посчитал целесообразным принимать решения только на основе критериев C₁ – C₄.

Рассматриваются следующие альтернативы A₁ – A₆:

A₁ – покупка функционирующих складских хозяйств в г. Екатеринбург;

A₂ – аренда складских мощностей в г. Екатеринбург;

A₃ – использование СОП в г. Екатеринбург;

A₄ – покупка функционирующих складских хозяйств в г. Пермь;

A₅ – аренда складских мощностей в г. Пермь;

A₆ – использование СОП в г. Пермь.

Агрегированные показатели затрат для данного сегмента, которые являются основой для попарных сравнений, представлены в табл. 16. в которой соответствующие веса критериев, определенные ЛПР, даны над их обозначениями.

Таблица 16

Затраты по альтернативам (тыс. долл. США)

	0,4	0,1	0,1	0,4	Взвешенная сумма
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
A ₁	146,5	63,7	420,3	883,9	460,6
A ₂	38,5	95,1	420,3	883,9	420,5
A ₃	100,3	227,8	420,3	883,9	458,5
A ₄	164,2	90,5	360,1	748,6	410,2
A ₅	48,6	120,0	360,1	748,6	366,9
A ₆	83,6	189,8	360,1	748,6	387,9

Дополнительный столбец «Взвешенная сумма» получен как среднее арифметическое взвешенное показателей каждой строки с учетом весов критериев. Например, такая «взвешенная сумма» для альтернативы один составит:

$$146,5*0,4 + 63,7*0,1 + 420,3*0,1 + 883,9*0,4 = 460,6$$

«Взвешенные суммы» для остальных альтернатив рассчитываются аналогично.

Как видно из табл. 14, в формате метода взвешенной суммы оценок критериев наилучшей является альтернатива A₅ – аренда складских мощностей в г. Пермь. Она имеет наилучший средневзвешенный показатель (наименьший, поскольку оцениваются затраты).

Выбор формы собственности склада в Москве методом минимизации обобщенного скалярного критерия

Характерным отличием данного метода от метода взвешенных оценок критериев является то, что веса частных критериев не задаются ЛПР, а определяются непосредственно при вычислении обобщенной критериальной функции по следующей формуле:

$$F(A_k) = \sum_{i=1}^n \frac{g(C_i^{(k)}) - g_{\min}(C_i)}{g_{\min}(C_i)},$$

где $F(A_k)$ – значение критериальной функции для k -той альтернативы;

$g(C_i^{(k)})$ – показатель i -того критерия для k -той альтернативы;

$g_{\min}(C_i)$ – показатель минимального значения i -того критерия среди всех анализируемых альтернатив.

В формате метода минимизации обобщенного скалярного критерия наилучшей является альтернатива с наименьшим значением соответствующей критериальной функцией F .

Подчеркнем, что особенностью данного критерия является ориентация направляющей для линии уровня критерия к утопической точке (с наилучшими показателями частных критериев). Другими словами, «прицел» в формате этого критерия установлен на утопическую точку. Понятно, что такая ориентация будет интересна для многих ЛПР.

Пусть для решения задачи выбора форм собственности склада в Москве рассматриваются три альтернативы $A_1 - A_3$:

A_1 – строительство, оснащение и содержание собственного склада в г. Москва;

A_2 – аренда складских мощностей в г. Москва;

A_3 – использование СОП в г. Москва.

Сформулированы следующие критерии $C_1 - C_3$:

C_1 – совокупные (капитальные и эксплуатационные) затраты на складирование и грузопереработку в 2007-2009 гг. ;

C_2 – совокупные (капитальные и эксплуатационные) затраты на складирование и грузопереработку в 2010-2012 гг.;

C_3 – совокупные (капитальные и эксплуатационные) затраты на складирование и грузопереработку в 2013-2015 гг.

Агрегированные показатели затрат, необходимые для применения метода минимизации обобщенного скалярного критерия представлены в табл. 17.

Таблица 17

Затраты по альтернативам (тыс. долл. США)

	C_1	C_2	C_3
A_1	11035,2	7550,4	9060,5
A_2	6600,5	16501,4	19801,7

A_3	4731,5	18620,4	22344,5
-------	--------	---------	---------

Соответственно, найдем показатели $g_{\min}(C_i)$ для каждого из критериев

Критерии	A_1	A_2	A_3
Показатели $g_{\min}(C_i)$	4731,5	7550,4	9060,5

Зная эти показатели, определим соответствующие значения критериальной функции:

$$1) F(A_1) = \frac{11035,2 - 4731,5}{4731,5} + \frac{7550,4 - 7550,4}{7550,4} + \frac{9060,5 - 9060,5}{9060,5} = 1,33;$$

$$2) F(A_2) = \frac{6600,5 - 4731,5}{4731,5} + \frac{16501,4 - 7550,4}{7550,4} + \frac{19801,7 - 9060,5}{9060,5} = 3,7;$$

$$3) F(A_3) = \frac{4731,5 - 4731,5}{4731,5} + \frac{18620,4 - 7550,4}{7550,4} + \frac{22344,5 - 9060,5}{9060,5} = 2,93.$$

Таким образом, в формате метода минимизации обобщенного скалярного критерия наилучшей является альтернатива A_1 – строительство, оснащение и содержание собственного склада в г. Москва.

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлен обзор методов многокритериальной оптимизации с учетом специфики их применения при решении задачи выбора дислокации и формы собственности регионального склада в составе распределительной сети, состоящей из нескольких сегментов. Применительно к каждому сегменту задача была решена на основе конкретного своего метода многокритериальной оптимизации, включая метод аналитической иерархии, метод идеальной точки, метод средневзвешенной суммы оценок критериев, метод минимизации обобщенного скалярного критерия.