



Андрей Бочкарев,
д.э.н., профессор департамента логистики
и управления цепями поставок, Санкт-
Петербургский филиал Национального
исследовательского университета «Высшая
школа экономики»



Ярослава Кузьмина,
аспирант департамента логистики
и управления цепями поставок,
Санкт-Петербургский филиал Национального
исследовательского университета «Высшая
школа экономики»

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ДИСЛОКАЦИИ СКЛАДОВ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК

Аннотация. Рассматриваются возможности применения метода анализа иерархий для решения задачи об оптимальной дислокации складов в цепях поставок. Решение данной задачи в условиях расширения сбытовой сети, по нашему мнению, может быть рассмотрено как часть более широкого алгоритма оптимизации сети распределения.

Ключевые слова. Размещение мощностей, логистические сети, оптимальная дислокация складов, метод анализа иерархий.

Annotation. Is considered possibilities of application of the method of the Analytic Hierarchy Process for the solution of the problem on optimum dislocation of warehouses in supply chains. The solution of this problem in the conditions of extension of the sales network, in our judgement, can be considered as the part of wider algorithm of optimization of the network of distribution.

Key words. Placement of capacities, logistic networks, optimum dislocation of warehouses, Method of the Analytics of Hierarchies.

Представленная статья является продолжением статьи «Многокритериальная модель оптимальной дислокации складов в цепях поставок», опубликованной в № 2 и 3 журнала «Логистика» за 2017 г. [1, 2], в которой рассматривались постановка и решение задачи оптимизации цепи поставок на примере дистрибутора строительных и хозяйственных товаров с использованием метода математического программирования. В настоящей статье внимание уделяется возможности применения метода анализа иерархий (МАИ) в решении данного типа задач. Решение задачи дислокации склада в условиях расширения сбытовой сети, по нашему мнению, может быть рассмотрено как часть алгоритма оптимизации сети распределения.

Существует большое количество работ, посвященных применению различных методов поддержки принятия решений в управлении цепями поставок. В частности, хороший обзор моделей и методов проектирования оптимальной логистической сети распределения и ее

складской сети представлен в монографии [7, с. 170–187]. В связи с увеличением числа рассматриваемых факторов широко применяются многокритериальные методы оптимизации цепей поставок: алгоритмы, основанные на методах нечетких множеств, нейронные сети, эволюционный алгоритм, нелинейное программирование, линейное программирование, аналитический метод сетей и метод анализа иерархий [3–6, 8–13].

На данный момент все чаще компании-дистрибуторы используют динамичную логистическую стратегию. Данная стратегия позволяет обеспечить более высокий уровень обслуживания клиентов компании за счет улучшения логистического сервиса, одним из показателей которого является время доставки заказа. В различных условиях работы дистрибутора приемлемое время доставки товаров клиентам может варьироваться в очень широких пределах. Например, для регионов Европейской части России оно может составлять не более 48 ч, а для потребителей, расположен-

ных в Сибири и на Дальнем Востоке, время доставки неизбежно увеличивается до 30 и более дней. Таким образом, одним из наиболее значимых вопросов, решаемых службой логистики компании, является исследование возможности открытия нового склада для улучшения качества сервиса.

Метод структуризации задачи принятия решения путем формирования многоуровневой иерархии был предложен еще в 70-е гг. XX в. Томасом Саати и назван им методом анализа иерархий (МАИ) [11]. Он представляет собой комплексную схему анализа и моделирования многокритериальных задач принятия решений путем построения многоуровневой иерархии целей, действующих сил, исходов и альтернатив. Данный метод предусматривает проведение оценки и сравнения альтернатив в соответствии со специально разработанной формализованной процедурой. В целом МАИ сочетает в себе математическую структурированность задачи с гибкостью и регулируемостью в зависимости от действия

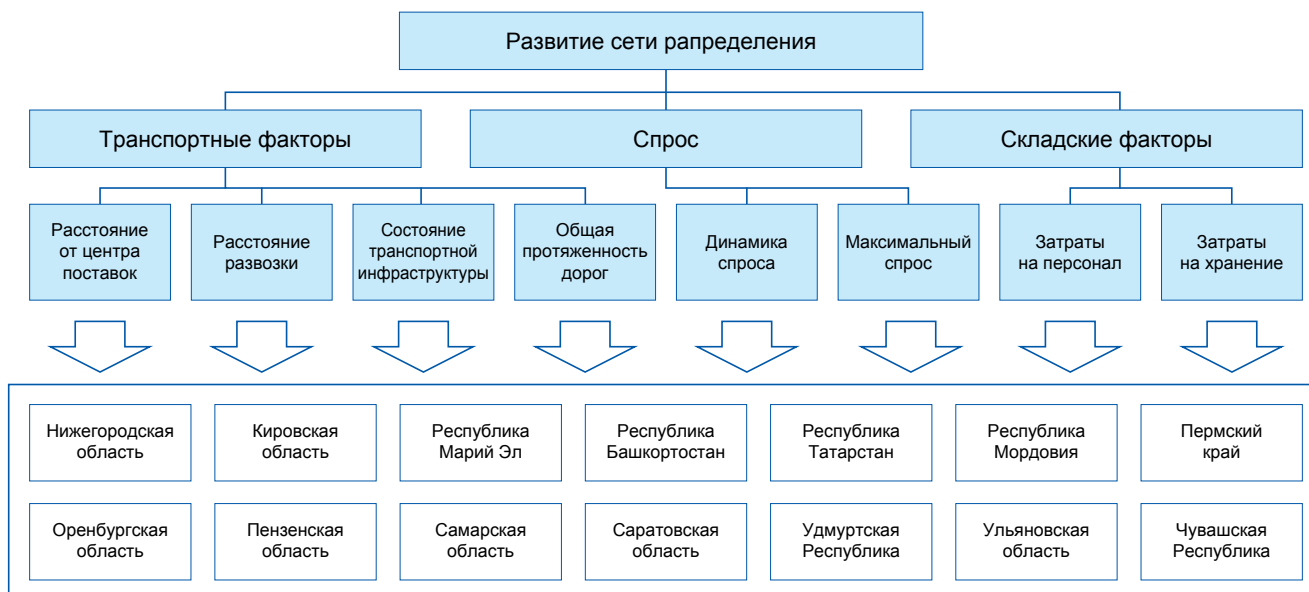


Рисунок 1. Иерархическое представление задачи выбора места дислокации нового склада
Источник: составлено авторами

факторов внешней и внутренней среды, которая обеспечивается за счет экспертных мнений и предпочтений.

Однако большая часть работ по МАИ относится к области общего менеджмента, и основным фокусом в таких работах становятся методология его применения, модификации методов либо включение данного метода в специальную базу знаний и прочее [9, 10]. Вместе с тем примеров применения данного метода в реальных условиях существует немного. Среди них обращают на себя внимание работы Г.Л. Бродецкого, Д.А. Гусева и А.В. Фель [3–5], посвященные использованию метода анализа иерархий для решения задачи места дислокации склада одновременно с выбором формы собственности склада. В свою очередь, статья [8] демонстрирует возможность применения МАИ для решения задачи дислокации склада с учетом таких критериев, как стоимость строительства, время в пути (от распределительного центра до склада), потери времени на ожидание услуг (транспортная доступность, возникновение очередей).

К основным преимуществам данного метода принято относить следующие:

- наглядность метода, простота вычислений и интерпретации полученных результатов позволяют довольно широко использовать данный метод для решения разнообразных задач;
- формализованный метод позволяет осуществлять оценку и выбор из существующих альтернатив на основе качественной оценки субъективных критериев группой экспертов либо не-

посредственно лицом, принимающим решения;

- метод устойчив к транзитивности субъективных качественных оценок.

Среди недостатков метода следует назвать:

- его применимость только при условии заранее известного конечного числа альтернатив;
- невозможность полностью нивелировать зависимость метода от субъективных качественных оценок.

В данной статье рассматривается проблема выбора места оптимальной дислокации склада в цепи поставок крупной компании-дистрибутора на рынке строительных, хозяйственных товаров в Российской Федерации. Данные взяты для Приволжского федерального округа (ПФО), снабжение которого осуществляется из распределительного центра, расположенного в Москве. Таким образом, целью был выбор такого места дислокации склада, которое обеспечивало бы минимальные затраты на хранение и отправку заказов клиентам региона при требуемом уровне логистического сервиса.

На наш взгляд, при решении вопроса развития распределительной сети компании-дистрибутора основное значение имеют факторы, которые могут быть отнесены к группам складских, транспортных факторов и факторов спроса.

К транспортным факторам в рассматриваемой ситуации следует отнести:

- расстояние от центра поставок (данный фактор отражает расстояние от центрального города рассматрива-

емого региона до распределительного центра, расположенного в Москве);

- суммарное расстояние развозки (представляет собой величину, отражающую кратчайшие расстояния между центрами региона, значения соответствуют реальным расстояниям развозки грузов по автодорогам и получены с использованием программного продукта SevenWays);

- состояние транспортной инфраструктуры, которое соответствует рангу в рейтинге дорожной сети России, составленному с учетом состояния дорог как гарантийных и учитывающему общее состояние дорожной сети региона (представлен в открытом доступе на сайте <http://dorogi-onf.ru/news/roads/>);

- общую протяженность автодорог, которая, на наш взгляд, может значительно ограничивать возможности развития сети в рассматриваемом регионе (данные для проведения необходимых расчетов были получены в открытом доступе на сайте www.gks.ru).

К факторам спроса, отражающим наиболее важные аспекты в контексте решаемой задачи, следует отнести:

- максимальный спрос потребителей данного региона (отражает как существование возможности развития спроса в данном регионе, так и необходимость поддержания высокого уровня страхового запаса в регионе для повышения уровня сервиса);

- динамику потребления (отражает средний темп роста оборота по региону; расчет среднего темпа роста оборота

Таблица 1.
Фундаментальная шкала Томаса Саати
 Источник: [11, с. 37]

Степень превосходства	Интерпретация
1	Равная значимость сравниваемых элементов
3	Умеренное превосходство x_i над x_j
5	Существенное превосходство x_i над x_j
7	Сильное превосходство x_i над x_j
9	Максимальное превосходство x_i над x_j
2, 4, 6, 8	Компромиссные уровни превосходства x_i над x_j
1/2, 1/3... 1/9	Обратные величины превосходства, необходимые для заполнения обратно-симметричной матрицы парных сравнений

представлен как среднее геометрическое приращения оборота в последующий месяц по сравнению с предыдущим, по данным компании).

К складским факторам следует отнести:

- затраты на хранение, отражающие стоимость аренды склада в рассматриваемом регионе (данные были получены от специалистов компании и из открытых источников);
- затраты на оплату труда и отчисления в налоговый фонд (отражают величину затрат на персонал, работающий на складе, и значительно отличаются в различных регионах РФ).

При решении данной задачи рассматривается доставка автомобильным транспортом по причине малых объемов отправок и расстояний доставки, не превышающих 1000 км, а также из-за необходимости оперативной доставки заказов в сжатые сроки (в течение 48 ч).

В качестве альтернатив нами была рассмотрена возможность аренды склада во всех областях, входящих в состав Приволжского федерального округа. К областям и республикам ПФО, в которых расположены потребители продукции компании, относятся Кировская область, Нижегородская область, Оренбургская область, Пензенская область, Пермский край, Республика Башкортостан, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Татарстан, Самарская область, Саратовская область, Удмуртская Республика, Ульяновская область, Чувашская Республика. Таким образом получаем, что в данной задаче есть 14 вариантов – альтернатив решения задачи, 3 группы факторов, имеющих

различную степень значимости, а также ряд факторов в каждой группе, оказывающих различное влияние на окончательный выбор экспертов.

На рис. 1 схематично изображено иерархическое представление задачи выбора места дислокации нового склада. Иерархическая структура имеет вид: «цель – группы факторов – отдельные факторы – альтернативы». Из представленной схемы видно, что каждый элемент 1-го уровня, т.е. уровня группы факторов, является детализацией цели иерархии, критерии 2-го уровня связаны лишь с теми элементами 1-го уровня, к которым они имеют непосредственное отношение. В свою очередь, 3-й уровень представлен альтернативами, имеющими отношение ко всем элементам 2-го уровня иерархии. Из элементов 3-го уровня рассматриваемой иерархии и необходимо выбрать наиболее предпочтительную альтернативу.

Интенсивность взаимодействия элементов иерархии может быть оценена с помощью весовой функции, таким образом нами были выявлены локальные приоритеты 1-го уровня иерархии. Значения этих приоритетов указывают на степень важности данной группы критериев, другими словами – на вклад оцениваемой группы критериев в достижение цели.

Также были выявлены приоритеты 2-го уровня – отдельные факторы, которые по отношению к группе факторов задают величину вклада данного фактора в обеспечение свойств группы факторов.

В свою очередь, локальные приоритеты уровня альтернатив относительно отдельных критериев соответствуют отно-

сительным критериальным оценкам рассматриваемых альтернатив.

Для расчета локальных приоритетов нами был использован метод парных сравнений, который заключается в сравнении элементов одного уровня друг с другом с использованием фундаментальной шкалы Т. Саати для получения матрицы парных сравнений элементов x_i и x_j между собой (табл. 1).

Матрица A_i состоит из a_{ij} – оценок степени превосходства x_i над x_j относительно цели. Значение приоритетов w_i нами было вычислено с помощью метода собственного вектора с использованием программного обеспечения MathLab. Метод вычисления собственного вектора является наиболее математически корректным, однако существует ряд других методов, таких как последовательное возведение в степень, средние геометрические и другие.

В табл. 2 представлена матрица парных сравнений общих критериев для группы факторов.

В свою очередь, каждый фактор подразделяется на следующем уровне еще на несколько факторов, результаты попарного сравнения факторов представлены в табл. 3–5.

Однако в данном случае представленные матрицы не являются полностью согласованными, о чем свидетельствует величина индексов согласованности матриц A_1 и A_2 .

В случае получения недостаточного уровня согласованности матриц Г.Л. Бродецкий, Д.А. Гусев и А.В. Фель в своих работах [5, 6] предлагают использовать метод бинарных отношений, в частности отношений строгого порядка. Применение данного метода потребует произвести преобразования в полученных ранее по методу Т. Саати матрицах попарных сравнений. Реализация данного метода предполагает выделение альтернатив мажорантов и дальнейший выбор наилучшего решения. Далее задача многокритериального анализа иерархии была переформулирована в многокритериальную задачу с восемью частными критериями по алгоритму, представленному в работе [5].

В соответствии с предложенным алгоритмом разнонаправленные критерии были переформулированы в однонаправленные критерии¹:

- (Т1) – расстояние от центра поставок;
- (Т2) – расстояние развозки в регионе;
- (Т3) – состояние транспортной инфраструктуры, отраженное показателем ранга региона;

¹ Знаком * отмечены откорректированные критерии.



Рисунок 2. Отношение строгого порядка по частному критерию T1
 Источник: составлено авторами

(T4*) – минимизация разницы между максимальным и фактическим значением общей плотности автодорог региона;
 (СК1) – затраты на персонал в рассматриваемом регионе;
 (СК2) – затраты на хранение в рассматриваемом регионе;
 (С1*) – минимизация разницы между максимальным спросом по всему федеральному округу и фактическим спросом региона;
 (С2*) – разница между максимальным темпом роста динамики потребления по федеральному округу и фактическими показателями региона.

Оценки частных критериев для альтернатив представлены в табл. 6.

Далее в соответствии с положениями теории бинарных отношений возможна формализация отношений между парами альтернатив только в формате заданного или не заданного предпочтения. Нами были формализованы отношения строгого порядка по каждому критерию (более подробно использование метода бинарных отношений см. в работе [6]).

По данным, указанным в табл. 6, необходимо ранжировать альтернативы по каждому критерию от наилучшей к наихудшей.

Отношение строгого порядка задается ориентированным графом по каждому частному критерию, по критерию «расстояние от центра поставок – T1» приведен ориентированный граф на рис. 2.

Заданные ориентированным графом отношения строгого порядка легко преобразовать в бинарную матрицу. При построении необходимо помнить, что 1 на пересечении альтернатив означает, что альтернатива в строке лучше альтернативы в столбце. По каждому частному критерию были составлены бинарные матрицы, в табл. 7 представлена матрица по частному критерию T1.

В результате произведенных расчетов остается пять Парето-оптимальных альтернатив для дальнейшего анализа, как показано в табл. 8. Сокращение числа альтернатив позволяет значительно упростить применение метода анализа иерархии.

Альтернативами, пригодными для оценки и поиска оптимального решения, будут являться отдельные регионы с советующими величинами показателей по критериям. Дополнительно необходимо учитывать, что наихудшие

Таблица 2.

Матрица парных сравнений (A1) общих критериев для группы факторов

Источник: оставлено авторами

Факторы	Транспортные факторы	Складские факторы	Спрос
Транспортные факторы	1	5	3
Складские факторы	1/5	1	2
Спрос	1/3	1/2	1

Таблица 3.

Матрица парных сравнений (A2) для транспортных факторов

Источник: составлено авторами

Факторы	Расстояние от центра поставок (Москва)	Расстояние развозки (суммарное)	Состояние транспортной инфраструктуры	Общая протяженность автодорог
Расстояние от центра поставок (Москва)	1	7	5	4
Расстояние развозки (суммарное)	1/7	1	7	9
Состояние транспортной инфраструктуры	1/5	1/7	1	2
Общая протяженность автодорог	1/4	1/9	1/2	1

Таблица 4.

Матрица парных сравнений (A3) для складских факторов

Источник: составлено авторами

Факторы	Затраты на хранение	Затраты на персонал
Затраты на хранение	1	9
Затраты на персонал	1/9	1

Таблица 5.

Матрица парных сравнений (A4) для факторов спроса

Источник: составлено авторами

Факторы	Динамика потребления	Максимальный спрос потребителей данного региона
Динамика потребления	1	5
Максимальный спрос потребителей данного региона	1/5	1

Таблица 6.

Оценки частных критериев

Источник: составлено авторами

Регион	Альтернатива	Критерий							
		T1	T2	T3	T4*	СК1	СК2	C1*	C2*
Кировская область	S1	795	8290	37	309	22,88	576	2953,23	0,2283
Нижегородская область	S2	400	7117	21	133	26,84	720	817,67	0,2265
Оренбургская область	S3	1250	9837	31	256	26,07	1080	0	0,1409
Пензенская область	S4	559	7643	114	137	22,99	1350	1256,42	0,1471
Пермский край	S5	1184	9846	44	293	27,28	594	3181,91	0,2111
Республика Башкортостан	S6	1174	8294	48	127	28,16	762,6	2233,53	0,1894
Республика Марий Эл	S7	646	6090	100	213	21,23	900	3892,57	0
Республика Мордовия	S8	524	6770	4	140	20,9	540	4129,91	0,3381
Республика Татарстан	S9	735	5453	32	0	27,06	720	2271,73	0,1496
Самарская область	S10	864	6501	65	119	27,06	810	2780,92	0,1926
Саратовская область	S11	733	9129	108	244	23,43	420	1997,14	0,3101
Удмуртская Республика	S12	976	7445	49	180	23,43	360	3433,88	0,1506
Ульяновская область	S13	704	5714	111	186	22,88	330	3483,81	0,2352
Чувашская Республика	S14	615	5853	66	13	22,99	540	1794,96	0,3016

Таблица 7.

Матрица отношений строгого порядка по частному критерию T1

Источник: составлено авторами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
S12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Страхование грузов

Более 1 000 000 полисов страхования грузов в год

Компания 15 лет входит в топ-10 по страхованию грузов в России

Рейтинг А+, что означает очень высокий уровень надежности (по данным «РА Эксперт»)

Обеспечивает более 20% всего рынка страхования грузов в России

На страховом рынке с 1992 года

16 филиалов в крупнейших регионах

+7 (495) 721-12-21
+7 (495) 994-44-54





WWW.SKPARI.RU

регионы по всем показателям исключаются из рассмотрения, так как не могут впоследствии дать оптимального решения. Оптимизация по Парето позволяет оставить для дальнейшего рассмотрения только те альтернативы (регионы), которые лучше по конкретному критерию и уступают другим регионам по другому или остальным критериям.

В рассматриваемой задаче в результате проведения оптимизации по Парето остались следующие регионы: Кировская область, Пензенская область, Пермский край, Республика Башкортостан, Республика Мордовия.

Пороговое значение для каждого частного критерия не задано, позиция предпочтения остается нейтраль-

ной, и рассматривается все многообразие альтернатив.

Оценка частных критериев для альтернатив мажорантов проводится путем попарного сравнения альтернатив по частному критерию после применения метода бинарных отношений и позволяет выявить уровень значимости каждой альтернативы по каждому критерию.

Таблица 8.

Альтернативы, оптимальные по Парето

Источник: составлено авторами

Критерий → max	Значения по возрастанию (так как критерии min)	Альтернативы
T1	524, 559, 795, 1174, 1184	S8, S4, S1, S6, S5
T2	6770, 7643, 8290, 8294, 9846	S8, S4, S1, S6, S5
T3	4, 37, 44, 48, 114	S8, S1, S5, S6, S4
T4*	127, 137, 140, 293, 309	S6, S4, S8, S5, S1
CK1	20,9 22,88 22,99 27,28 28,16	S8, S1, S4, S5, S6
CK2	540, 576, 594, 762,6 1350	S8, S1, S5, S6, S4
C1*	1256,42, 2233,53, 2953,23, 3181,91, 4129,91	S4, S6, S1, S5, S8
C2*	0,1471, 0,1894, 0,2111, 0,2283, 0,3381	S4, S6, S5, S1, S8

Сравнение альтернатив происходит с использованием фундаментальной шкалы Томаса Саати. В табл. 9 представлено попарное сравнение альтернатив по частному критерию T2 (расстояние развозки в регионе).

Для каждой матрицы парных сравнений рассчитан индекс согласованности, причем для каждой из матриц он не превышает 0,1, что полностью соответствует требованиям метода аналитической иерархии.

После проведения попарного сравнения альтернатив по всем критериям необходимо перейти к новым показателям значимости – модифицированным критериям выбора, которые максимизируются в процессе решения задачи.

На данный момент существуют несколько модифицированных критериев, используемых в аналитической иерархии, в основном используются следующие:

- модифицированный максиминный критерий, при котором с каждой альтернативой сопоставляется наихудший показатель значимости по всем частным критериям;
- модифицированный скалярный критерий, позволяющий соотносить с каждой альтернативой показатель, который является суммой ее показателей значимости;
- модифицированный критерий произведений, который позволяет сопоставлять показатель, являющийся произведением всех показателей значимости частных критериев для этой альтернативы.

Модифицированные показатели отражают уровень значимости альтернатив по каждому частному критерию, значения взяты по последним столбцам таблиц из матриц попарных сравнений и представлены в виде безразмерной величины (в %):

A1 – модифицированный показатель значимости частного критерия T1;

A2 – модифицированный показатель значимости частного критерия T2;

A3 – модифицированный показатель значимости частного критерия T3;

A4 – модифицированный показатель значимости частного критерия T4*;

B1 – модифицированный показатель значимости частного критерия Sk1;

B2 – модифицированный показатель значимости частного критерия Sk2;

D1 – модифицированный показатель значимости частного критерия C1*;

D2 – модифицированный показатель значимости частного критерия C2*.

В табл. 10 приведены модифицированные частные показатели. Необходимо отметить, что оптимизация по Парето

Таблица 9.

Попарное сравнение альтернатив по частному критерию T2

Источник: составлено авторами

	S1	S4	S5	S6	S8	Среднее геометрическое	Значимость, %
S1	1,00	0,33	5,00	3,00	0,20	1,00	12,96
S4	3,00	1,00	7,00	5,00	0,33	2,04	26,38
S5	0,20	0,14	1,00	0,33	0,11	0,25	3,29
S6	0,33	0,20	3,00	1,00	0,14	0,49	6,36
S8	5,00	3,00	9,00	7,00	1,00	3,94	51,00
						7,72	100,00

Таблица 10.

Показатели значимости частных критериев

Источник: составлено авторами

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	D1	D2
S1	13,54	12,96	26,34	6,15	26,30	26,73	16,02	9,75
S4	26,73	26,38	6,15	26,34	14,44	3,73	41,74	41,74
S5	3,73	3,29	16,02	9,75	7,93	13,54	9,75	16,02
S6	6,86	6,36	9,75	41,74	4,45	6,86	26,34	26,34
S8	49,14	51,00	41,74	16,02	46,88	49,14	6,15	6,15

Таблица 11.

Выбор по модифицированному максиминному критерию

Источник: составлено авторами

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	D1	D2	Минимальное значение
S1	13,54	12,96	26,34	6,15	26,30	26,73	16,02	9,75	6,15
S4	26,73	26,38	6,15	26,34	14,44	3,73	41,74	41,74	3,73
S5	3,73	3,29	16,02	9,75	7,93	13,54	9,75	16,02	3,29
S6	6,86	6,36	9,75	41,74	4,45	6,86	26,34	26,34	4,45
S8	49,14	51,00	41,74	16,02	46,88	49,14	6,15	6,15	6,15
	Максимальное значение								6,15

то в данном случае невозможна, однако в ряде случаев она на этом этапе расчетов позволяет дополнительно сократить количество рассматриваемых альтернатив.

Далее в табл. 11–13 представлены результаты выбора наилучшей альтернативы по модифицированным критериям.

В данном случае наилучшим вариантом дислокации склада, согласно всем модифицированным критериям выбора, будет являться Республика Мордовия (альтернатива S8).

Таким образом, в результате применения метода бинарных отношений в ходе

анализа иерархии возможно не только достичь согласованности матриц, но и значительно упростить решаемую задачу за счет отбрасывания альтернатив, не удовлетворяющих условиям Парето-оптимальности. Наилучший выбор реализуется при решении задачи с помощью модифицированных показателей значимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочкарев А.А., Кузьмина Я.В. Многокритериальная модель оптимальной

Таблица 12.

Выбор по модифицированному скалярному критерию

Источник: составлено авторами

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	D1	D2	
S1	13,54	12,96	26,34	6,15	26,30	26,73	16,02	9,75	137,78
S4	26,73	26,38	6,15	26,34	14,44	3,73	41,74	41,74	187,26
S5	3,73	3,29	16,02	9,75	7,93	13,54	9,75	16,02	80,03
S6	6,86	6,36	9,75	41,74	4,45	6,86	26,34	26,34	128,69
S8	49,14	51,00	41,74	16,02	46,88	49,14	6,15	6,15	266,23

Таблица 13.

Выбор по модифицированному критерию произведений

Источник: составлено авторами

	A1	A2	A3	A4	B1	B2	D1	D2	
S1	13,54	12,96	26,34	6,15	26,30	26,73	16,02	9,75	3120375461
S4	26,73	26,38	6,15	26,34	14,44	3,73	41,74	41,74	10722875960
S5	3,73	3,29	16,02	9,75	7,93	13,54	9,75	16,02	32155638
S6	6,86	6,36	9,75	41,74	4,45	6,86	26,34	26,34	375688986
S8	49,14	51,00	41,74	16,02	46,88	49,14	6,15	6,15	146062422178

дислокации складов в цепях поставок. Часть I // Логистика. – 2017. – № 2. – С. 32–36.

- Бочкарев А.А., Кузьмина Я.В. Многокритериальная модель оптимальной дислокации складов в цепях поставок. Часть II // Логистика. – 2017. – № 3. – С. 52–55.
- Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А., Фель А.В. Особенности процедур многокритериальной оптимизации цепей поставок для обобщенных критериев выбора. Часть I // Логистика. – 2016. – № 2. – С. 50–54.
- Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А., Фель А.В. Особенности процедур многокритериальной оптимизации цепей поставок для обобщенных критериев выбора. Часть II // Логистика. – 2016. – № 3. – С. 48–52.
- Бродецкий Г.Л., Гусев Д.А., Фель А.В. Эффективность процедур фильтрации альтернатив при многокритериальном выборе места дислокации и формы собственности склада // Менеджмент качества. – 2017. – № 1 (37). – С. 42–58.
- Гусев Д.А. Использование бинарных отношений при оптимизации запасов методом аналитической иерархии // Менеджмент качества. – 2016. – № 4 (36). – С. 262–279.
- Дыбская В.В. Проектирование систем распределения в логистике: монография. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 235 с.
- Емельянова А.В., Закиева А.И. Многокритериальная оптимизация решений в логистике на основе метода анализа иерархий. Электронный ресурс: URL: <https://www.scienceforum.ru/2015/pdf/12348.pdf>
- Мадера А.Г. Моделирование и принятие решений в менеджменте: Руководство для будущих топ-менеджеров: учебник. Стер. изд. – М.: ЛКИ, 2015. – 688 с.
- Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2004. – Т. 44, № 7. – С. 1261-1270. Электронный ресурс: URL: http://www.apmath.spbu.ru/ru/staff/nogin/nogin_p11.pdf
- Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / пер. с англ.; под науч. ред. А.В. Андрейчикова, О.Н. Андрейчикова. Изд. 4-е. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 360 с.
- Сергеев В.И. Управление цепями поставок: учебник для бакалавров и магистров. – М.: Юрайт, 2015. – 479 с.
- Kannan G., et al. Analysis of closed loop supply chain using genetic algorithm and particle swarm optimization // International Journal of Production Research. – 2009. – Vol. 47, iss. 5. Электронный ресурс: URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540701543585>