



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



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

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОЙ ДИСЛОКАЦИИ СКЛАДОВ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК

Часть II

Аннотация. Построение логистической цепи – стратегически важная задача практически для каждой компании. Существует множество формулировок моделей и алгоритмов решения, которые отличаются фундаментальными предположениями, математически сложны и т.п. В данной статье рассматривается классификация моделей дислокации логистических мощностей и предлагается многокритериальная модель оптимальной дислокации складов в цепях поставок.

Ключевые слова. Размещение мощностей, логистические сети, математическое моделирование, оптимальная дислокация складов.

Annotation. The design of logistics chain is strategically important issue for almost every company. There is a large variety of model formulations and solving algorithms, which vary in fundamental assumption, mathematical complexity, etc. In this paper classification of models of dislocation of logistic capacities is considered and the multicriteria model of optimum dislocation of warehouses in supply chains is offered.

Key words. Facility location, logistics networks, mathematical modelling, optimum dislocation of warehouses.

Во второй части статьи представлены алгоритм решения задачи оптимальной дислокации складов в цепи поставок дистрибуторов и пример его практической реализации. Для решения рассматриваемой задачи предлагается использовать комбинированный алгоритм оптимизации логистической сети компании, блок-схема которого представлена на рис. 1.

Данный алгоритм включает следующие этапы:

1. Формирование базы данных (БД) показателей в таком объеме, в каком это необходимо для решения проблемы. В данном случае БД будет включать следующие информационные блоки:
 - расстояния между распределительными центрами, региональ-

ными складами и множеством имеющихся клиентов;

- транспортные затраты для каждого складского объекта;
 - затраты на доставку с каждого склада до клиентов;
 - затраты, связанные с содержанием складов;
 - данные о пропускной способности (мощности) складов;
 - данные о спросе и предложении клиентов/складов (распределительных центров).
2. Анализ рыночных факторов и выбор стратегии управления цепями поставок. При выборе стратегий управления цепями поставок возможны следующие варианты:
 - бережливая стратегия (стратегия, ориентированная на эффективность). Цель стратегии – полное удовлетворение спроса

клиентов при обеспечении минимального уровня затрат;

- гибридная стратегия. Цель – обеспечение баланса между уровнем логистических издержек и скоростью реакции цепи поставок на изменение рыночного спроса;
 - динамичная стратегия, ориентированная на уровень сервиса. Цель – максимально быстрая реакция на изменение спроса.
3. Анализ факторов, влияющих на выбор места дислокации склада и определение регионов, в которых должны быть открыты новые склады (с помощью метода анализа иерархий).
 4. Формирование модели транспортно-складской задачи и сценариев поиска решения. Возможны следующие варианты.

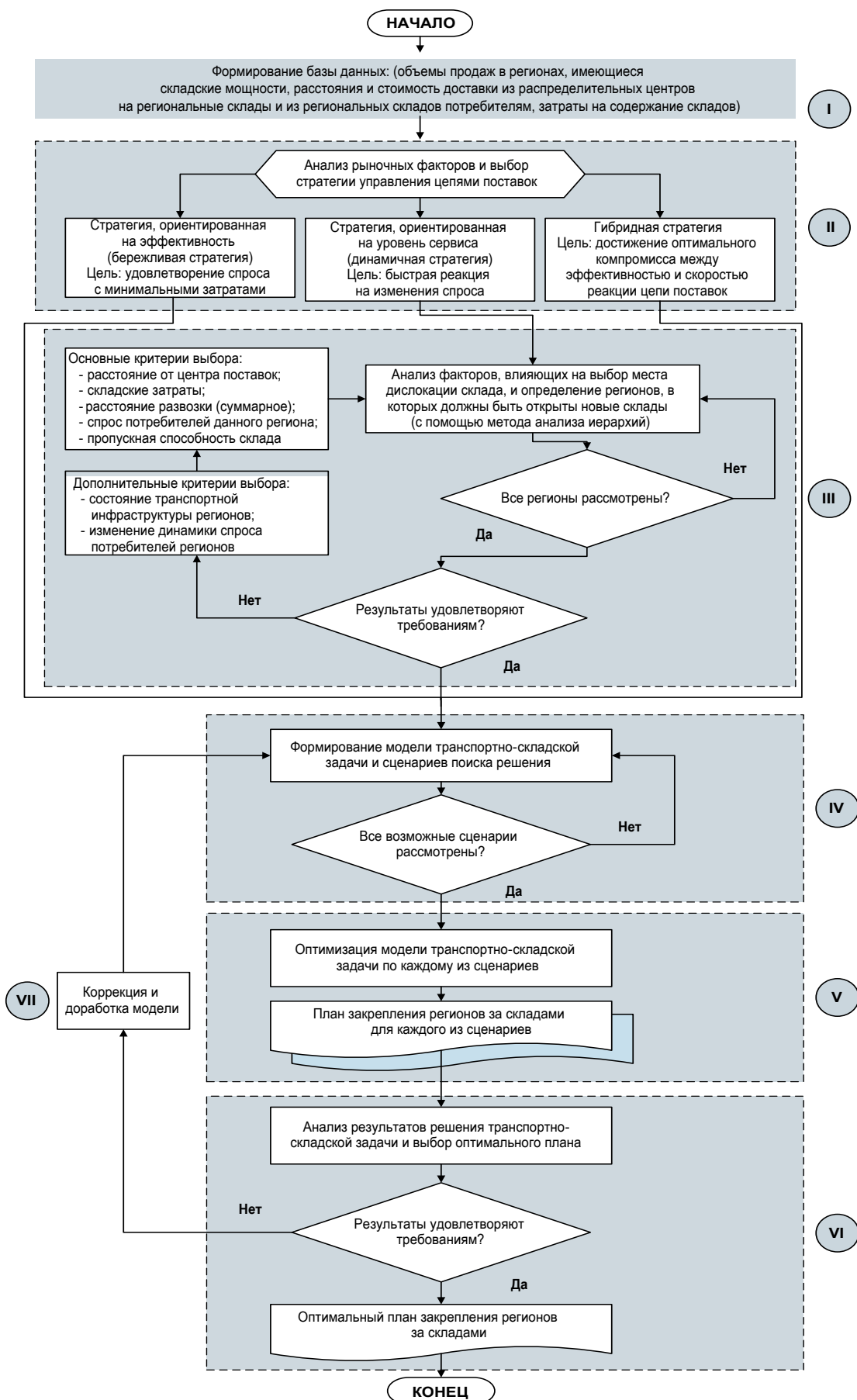


Рисунок 1. Комбинированный алгоритм оптимизации складской сети

4.1. Если компания придерживается стратегии, ориентированной на эффективность (бережливой), необходимо разработать индивидуальную модель однокритериальной транспортно-складской задачи по критерию минимума транспортно-складских затрат и сценарии, которые будут учитывать возможное сокращение или увеличение спроса в будущем.

4.2. Если компания придерживается стратегии, ориентированной на уровень сервиса (динамичной), необходимо разработать индивидуальную модель многокритериальной транспортно-складской задачи, которая будет включать дополнительные склады и сценарии, учитывающие возможное сокращение или увеличение спроса в будущем.

4.3. Если компания придерживается стратегии, ориентированной на достижение оптимального компромисса между эффективностью и скоростью реакции цепи поставок (гибридной), необходимо разработать индивидуальную модель многокритериальной транспортно-складской задачи и сценарии, которые будут учитывать возможное сокращение или увеличение спроса в будущем. Отличие данного варианта решения от динамичной стратегии в том, что дополнительные склады не открываются и поиск решения осуществляется на том же множестве альтернатив, на котором решается однокритериальная задача при выборе бережливой стратегии.

5. Следующий этап – оптимальное прикрепление регионов к складам для каждого сценария, разработанного в пункте 4. Как правило, задачи такого типа имеют большую размерность. Например, для рассматриваемой компании количество переменных транспортно-складской задачи составляет $x_{ij} + y_j = n \times m + n = 16 \times 79 + 16 = 1280$. Ввиду большой размерности рассматриваемой задачи для поиска решения необходимо использовать коммерческое программное обеспечение, например программу PremiumSolverPro – надстройку пакета MSExcel, которая увеличивает количество изменяемых ячеек до 2000.

6. Верификация полученных решений. Данная процедура состоит в том, что полученное оптимальное решение проверяется на непротиворечивость стратегии управления

цепями поставок. Возможны следующие исходы.

6.1. Оптимальное решение не противоречит установленной стратегии управления цепями поставок. Это означает, что оптимальное решение по конфигурации логистической сети найдено.

6.2. Оптимальное решение не согласуется со стратегией управления цепями поставок. Возникновение такой ситуации обусловлено тем, что решение, оптимальное по затратам, может стать неприемлемым с точки зрения времени обслуживания клиентов либо решение оптимально по времени обслуживания, но неприемлемо по затратам. При подобном исходе необходимо перейти к этапу 7.

7. Коррекция и доработка модели. Если среди сценариев, построенных на этапе 4, не нашлось ни одного сценария, удовлетворяющего требованиям стратегии управления цепями поставок, необходимо повторить процедуру, начиная с шага 4.

Далее построим оптимальную конфигурацию цепи поставок для рассматриваемой компании, используя предложенный алгоритм.

Рассматриваемая компания придерживается гибридной стратегии в отношении своей цепи поставок, целью которой является достижение оптимального компромисса между эффективностью и скоростью реакции цепи поставок на появление или изменение спроса. Согласно данной стратегии компании общие логистические издержки должны стремиться к минимуму при условии, что доставка любого заказа не будет превышать двух дней (для регионов, расположенных в европейской части Российской Федерации) или семь дней (для удаленных регионов Сибири, Дальнего Востока и Казахстана). Мы разработали индивидуальную постановку двухкритериальной транспортно-складской задачи для данной компании. Для ее оптимального решения использовались методы уступок и аддитивной свертки критериев. Полученные решения представлены в табл. 1.

Следует отметить, что сценарии поиска решения создавались в данном случае для отработки методики решения этой задачи. Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что имеются три отличающихся решения:

1) оптимизация по критерию минимума суммарного времени доставки (сценарий 1) требует, чтобы были открыты все 16 складов. По сравнению с фактическим вариантом суммарное время доставки сокращается на 52,51%, но транспортно-складские издержки возрастают на 0,59%;

2) оптимизация по критерию минимума общих логистических издержек (сценарий 2) требует, чтобы были закрыты склады в городах Казани, Кирове, Красноярске и Нижнем Новгороде. К аналогичному результату приводит решение двухкритериальной задачи методами уступок и аддитивной свертки критериев (сценарии 4, 5 и 6);

3) оптимизация по критерию минимума общих логистических издержек, но при учете дополнительного ограничения, на максимальное суммарное время доставки товаров региональным потребителям (сценарий 3). Происходит сокращение суммарного времени доставки на 50,14%, а транспортно-складские затраты сокращаются на 5,44%.

Таким образом, с точки зрения достижения оптимального компромисса между экономической эффективностью и временем обслуживания потребителей для рассматриваемой компании оптимальным решением является закрытие четырех складов в Казани, Кирове, Красноярске и Нижнем Новгороде.

В ходе проведенного исследования показано, что существует большое разнообразие моделей оптимальной дислокации складских мощностей, а также методов решения данной задачи. Предлагаемая классификация моделей дислокации объектов логистической инфраструктуры по десяти признакам позволяет глубже понять, где применяются и как используются те или иные модели, а также служит концептуальной основой для ее адекватного выбора при решении конкретной задачи. В статье рассмотрена общая математическая постановка двухкритериальной транспортно-складской задачи и разработан комбинированный алгоритм решения задачи оптимизации складской сети, который позволяет учесть различные стратегии управления цепями поставок, а также различные количественные и качественные ограничения. Проведена апробация данного алгоритма с разработкой индивидуальной математичес-

Таблица 1.

Рассматриваемые сценарии закрытия региональных складов

Сценарии поиска решения	Общие издержки, руб./мес.	в том числе		Снижение затрат, %	Суммарное время, дни	Снижение времени, %	Закрыты склады
		складские	транспортные				
Фактический вариант (открыты 16 складов)	674347,36	149520,92	524826,44	0,00	24061	0,00	нет
Сценарий 1 (критерий «Суммарное время доставки, дни»)	678319,79	149520,92	528798,87	–0,59	11426	52,51	нет
Сценарий 2 (критерий «Общие логистические издержки, руб.»)	609722,16	120507,40	489214,76	9,58	11787	51,01	Казань, Киров, Красноярск, Нижний Новгород
Сценарий 3 (критерий «Общие логистические издержки, руб.», введено доп. ограничение на максимальное суммарное время доставки для региона)	637675,08	149520,92	488154,16	5,44%	11998	50,14	нет
Сценарий 4 (двухкритериальная, метод уступок, значение критерия «Суммарное время доставки, дни» = 11926)	609722,16	120507,40	489214,76	9,58	11787	51,01	Казань, Киров, Красноярск, Нижний Новгород
Сценарий 5 (двухкритериальная, метод уступок, значение критерия «Суммарное время доставки, дни» = 12426)	609722,16	120507,40	489214,76	9,58	11787	51,01	Казань, Киров, Красноярск, Нижний Новгород
Сценарий 6 (двухкритериальная, метод аддитивной свертки, $\alpha_1 = 0,8$, $\alpha_2 = 0,2$)	609794,34	120507,40	489286,94	9,57	11787	51,01	Казань, Киров, Красноярск, Нижний Новгород

кой постановки двухкритериальной транспортно-складской задачи для дистрибуторской компании, разработку сценариев поиска решения, создание и оптимизацию табличной модели задачи в MSExcel. Численное решение рассматриваемой задачи получено с помощью программы PremiumSolverPro, являющейся надстройкой пакета MSExcel и позволяющей решать задачи математического программирования большой размерности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 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.
- Модели и методы теории логистики: учеб.пособие. – 2-е изд. / под ред. В.С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
- Сергеев В.И. Управление цепями поставок: учебник для бакалавров и магистров / В.И. Сергеев. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 479 с.
- Andreas Klose, Andreas Drexl Facility location models for distribution system design // European journal of operational research. – 2005. – Vol.162 (1). – P. 4–29. DOI 10.1016/j.ejor.2003.10.031
- Benaissa M., Benabdelhafid A. A multi-product and multi-period facility location model for reverse logistics // Polish journal of management studies. – 2010. – Vol. 2 (1). – P. 7–19.
- Cristoph Bolkart Heuristic for multi-echelon facility location problems with non-linear inventory considerations. Master's thesis. – Technische Universität München. – 2014.
- Eiselt H.A., Marianov V. Foundations of location analysis. Berlin: Springer Science+Business Media. – 2011. DOI 10.1007/978-1-4419-7572-0_2.