

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАЗМЕЩЕНИЯ СКЛАДСКОЙ СЕТИ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Н.В. БЕДАКОВА

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,
электронная почта: natabedakova@gmail.com*

Задача оптимального размещения складских площадей давно изучается, и для решения данной проблемы разработан ряд методик, описанных в литературе. В статье представлен обзор основных методов размещения складских площадей пространственно распределенного предприятия: Рассмотрены: метод «центра тяжести», метод «центра равновесной системы транспортных затрат», метод поиска минимума транспортной работы, метод минимума суммарных затрат, фактор-рейтинговые системы, метод взвешенных факторных нагрузок, множественная регрессионная модель. Рассмотрены достоинства и недостатки перечисленных выше методов размещения складской сети. Для выбора оптимального местоположения склада может потребоваться ни одна модель, а комбинация нескольких моделей. Предложен метод решения комбинаторной оптимизационной задачи – алгоритм муравьиной колонии.

Ключевые слова: методы размещения, складская сеть, алгоритм муравьиной колонии, размещение предприятий, оптимизация.

Задача оптимального размещения складских площадей для обеспечения товарным запасом открывающихся торговых площадей - ключевая задача исследования. Возникают проблемные вопросы формализации правил принятия управленческих решений в задаче размещения складских площадей с учетом открывающихся торговых площадей в условиях расширения торговой сети. Задача оптимального размещения складских площадей давно изучается и для решения данной проблемы разработан ряд методик, описанных в литературе. Каждый метод обладает своими недостатками. Одни используют опыт менеджера, таким образом, при оценке факторов влияющих на размещение складских площадей присутствует доля субъективизма; вторые не могут работать в условиях неопределенности; третьи обладают малой точностью расчета. Но общими их недостатками являются необходимость в большом количестве исходной информации и большое время расчета при сложных вычислениях.

Недостаточность использования современного математического аппарата, инструментальных средств и программного обеспечения, описывающих предмет исследования, приводит к уменьшению их эффективности. Существующие модели структурного и параметрического синтеза и анализа размещения складских площадей, как правило, основаны на аналитических методах их реализации, методах оптимизации и принятия решения по одному критерию. Слабое использование теоретико-множественного подхода к решению этих задач разрушает целостность в рассмотрении и понимании процессов изменения расширения торговой розничной сети, что приводит к появлению частных локальных задач, как правило, не связанных между собой. Современные подходы к решению задачи размещения складских площадей с учетом расширения торговой розничной сети, основанные на использовании теории множеств, векторной оптимизации, принятия решений, распознавания образов, экспертных систем, интеллектуальных гибридных технологий, позволят организовать решение задачи размещения складских площадей в условиях расширения торговой розничной сети более эффективно.

Наилучшей товаропроводящей складской сетью является сеть, которая обеспечивает наивысший уровень обслуживания потребителей при минимальных общих затратах. Одной из наиболее важных и непростых задач при проектировании пространственно распределительных систем является выбор варианта размещения складских площадей.

Целью данной статьи является анализ существующих методов размещения складской сети для решения задачи структурно-топологической оптимизации размещения предприятий.

В зависимости от того, какое количество факторов учитывается, методы делятся на однофакторные и многофакторные. Также можно классифицировать методы размещения по критерию оптимизации, так как решение задачи оптимизации непосредственно зависит от выбора параметра, по которому проводится оптимизация. По типу решаемой задачи размещения различают методы, позволяющие решать непрерывную или дискретную задачи

размещения. Методы решения непрерывной задачи размещения имеют общую особенность: их использование подразумевает возможность размещения объекта в любой координате рассматриваемой территории, что не всегда соответствует реальной действительности. Если после использования метода было определено место, в котором размещение объекта невозможно, то необходимо дополнительное исследование близлежащих подходящих мест размещения. В основе методов решения дискретной задачи размещения лежит идея выбора места размещения из заранее установленных пунктов размещения.

Некоторые, наиболее часто описываемые в литературе, методы размещения объекта приведены в таблице 1, которые классифицированы по критерию оптимизации и по дискретному/непрерывному типу решаемой задачи размещения [1]. В таблице также указаны тип размещаемого объекта и факторы, учитывающиеся в каждом методе.

Таблица 1. Методы определения оптимального размещения объекта.

Тип задачи	Метод	Критерий оптимизации	Факторы, учитывающиеся в методе
Непрерывная задача размещения	Метод «центра тяжести»	Минимум транспортных расходов	Объем поставок продукции
	Метод «центра равновесной системы транспортных затрат»		Объем поставок продукции, транспортный тариф
	Метод поиска минимума транспортной работы		Спрос
Дискретная задача размещения	Метод минимума суммарных затрат	Минимум суммарных затрат	Виды затрат
	Фактор-рейтинговые системы	Максимум интегрального показателя	Основные факторы, характеризующие места размещения
	Метод взвешенных факторных нагрузок		
	Множественная регрессионная модель	Максимум прибыли	Факторы, коррелирующие с доходом

Методы решения непрерывной задачи размещения объекта.

Метод "центра тяжести" (метод гравитации) [2] наиболее часто описывается в литературе для решения проблемы размещения. Данный метод

аналогичен физической модели определения центра тяжести физического тела.

Метод центра тяжести в экономических задачах зачастую применяется для размещения промежуточных складов хранения или центральных распределительных центров.

Примером может служить совокупность магазинов района и обслуживающая их оптовая база. Местоположение объекта определяется в виде координат центра тяжести потоков товаров, что приводит к минимизации транспортных затрат.

При этом для расчета координат центра тяжести используются следующие формулы:

$$X = \frac{\sum Q_i x_i}{\sum Q_i}, Y = \frac{\sum Q_i y_i}{\sum Q_i}, \quad (1.1)$$

где X , Y - координаты нового объекта (центр тяжести), км; Q_i - объем поставок продукции в/из i -го местоположения, т.; x_i , y_i - координаты i -го поставщика/клиента, км.

Параметр Q_i может быть выражен и в других единицах измерения, например, времени перевозки продукции. Выбор системы координат при использовании метода совершенно произвольный. Целью является установление относительных расстояний между местами расположения объектов. При принятии решений обычно используют координаты долготы и широты. Применение метода центра тяжести ограничено следующим условием: расстояния между объектами учитываются по прямой, в связи с чем моделируемая территория должна иметь развитую сеть дорог. В упрощенном виде этот метод предполагает, что все транспортные расходы в прямом и обратном направлении одинаковы, и не учитывает потери при неполной загрузке транспорта.

Метод центра тяжести не учитывает качественную составляющую объекта, что породило усовершенствование этого метода: введение дополнительных весовых коэффициентов. Метод получил название метод «центра равновесной системы транспортных затрат», Координаты

размещаемого объекта определяются по формулам:

$$X = \frac{\sum T_i Q_i x_i}{\sum T_i Q_i}, Y = \frac{\sum T_i Q_i y_i}{\sum T_i Q_i}, \quad (1.2)$$

где T_i - транспортный тариф для i -го поставщика (клиента), руб/ткм.

Очевидно, что при $T_i = const$ формулы (1.1) и (1.2) совпадают. Транспортные тарифы T_i в формуле (1.2) играют роль весовых коэффициентов, которые могут принимать различные значения и, следовательно, расширяют возможности учета различных факторов по сравнению с формулой (1.1). Однако тарифы функционально связаны с грузооборотом (ткм) и объемом перевозок (т), поэтому их упрощенный учет в расчетных зависимостях требует дополнительного обоснования либо введения более сложных зависимостей. Так же все ограничения метода центра тяжести остаются при использовании усовершенствованного метода.

В методе поиска минимума транспортной работы [1] координаты размещаемого склада определяются исходя из условия, что сумма расстояний от поставщиков/клиентов с учетом спроса до координат склада была минимальной. Целевая функция записывается в виде:

$$P(x, y) = \sum Q_i \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} \rightarrow \min$$

где X, Y - координаты нового склада, км; x_i, y_i - координаты i -го поставщика/клиента, км.

Принципиальное отличие данного метода заключается в том, что, во-первых, он сформулирован как классическая оптимизационная задача, во-вторых, расстояние между новым объектом и другими объектами определяется как «гипотенуза», тогда как в описанных выше задачах рассматриваются расстояния по координатным осям. Для нахождения координат X и Y на первом этапе используется аналитический метод определения системы из двух уравнений в виде частных производных функции $P(x, y)$ и на втором этапе - итерационный метод решения полученной системы.

Метод не учитывает существующие склады в регионе, а также

дополнительные факторы, влияющие на выбор места размещения, например, карту дорог, номенклатуру товаров и т.п.

Методы решения дискретной задачи размещения объекта.

Метод минимума суммарных затрат [1] предполагает расчет вариантов сумм затрат, необходимых для создания нового объекта, и выбор места размещения с наименьшими затратами. По альтернативным вариантам размещения подсчитывается сумма эксплуатационных расходов, транспортных расходов, капитальных вложений с учетом срока окупаемости проекта. Метод минимума суммарных затрат предполагает использование только экономического подхода в решении задачи размещения. Метод имеет ограничения на применение в практике и идет в дополнение к количественным методам для достижения лучших результатов.

Фактор-рейтинговые системы, очевидно, представляют собой наиболее широко используемый общий метод выбора места расположения, так как он обеспечивает механизм, позволяющий объединить различные факторы в легкодоступную форму. Для этого необходимо определить шкалы оценок (в баллах) основных факторов, влияющих на выбор места расположения. Факторы оцениваются в баллах, чтобы не было влияния разных единиц измерения на конечный результат. По этим факторам нужно оценить каждое возможное место расположения, используя соответствующие шкалы балльных оценок, и затем найти их суммы. После сравнения полученных сумм для каждого участка по наибольшей сумме баллов выбирается место расположения объекта.

Достоинство метода фактор-рейтинговых систем состоит в том, что он учитывает различную физическую природу локальных качественных показателей. Недостаток - субъективность при определении балльной шкалы для каждого фактора и баллов для каждого места расположения. Формальные признаки в данном случае отсутствуют, что предполагает использование имеющегося опыта менеджера при решении подобных задач. Фактор-рейтинговые системы не учитывают полезность каждого фактора в определении реальной ценности места размещения. Один фактор может иметь

наибольшее количество баллов, но быть малополезным для принятия решения о размещении, а другой фактор может иметь малую шкалу, но зато позволяет установить действительное преимущество места размещения.

Метод взвешенных факторных нагрузок [1] является модификацией фактор-рейтинговых систем. В нем дополнительно учитывается полезность (вес) каждого фактора. Вес фактора назначается в зависимости от профиля будущего объекта и субъективных оценок предпринимателя важности каждого фактора. Взвешенная факторная нагрузка для j -го местоположения определяется как сумма произведений весов факторов на факторную нагрузку t_{ij} в баллах:

$$W_j = \sum_i w_j t_{ij}$$

По максимальному значению коэффициента W_j определяется рекомендуемое для размещения место. Данную средневзвешенную оценку можно рассматривать в качестве интегрального показателя каждого места размещения. Для увеличения чувствительности метода взвешенных факторных нагрузок можно рассчитывать коэффициенты W_j как произведение факторных нагрузок, взятых в степени весовых коэффициентов [1]. Тогда разница между значениями коэффициентов будет более ощутима. Все недостатки метода фактор-рейтинговых систем не разрешаются в методе взвешенных факторных нагрузок и даже усугубляются введением субъективных весовых коэффициентов.

Множественная регрессионная модель. Методы регрессионного анализа, нашедшие широкое применение для решения различных экономических задач, также применяются для выбора места расположения фирмы. Для построения множественной регрессионной модели первоначально необходимо определить переменные, которые коррелируют с выходным показателем - доходом. Перечень переменных определяется на основании данных об уже существующих предприятиях. Рассчитываются коэффициенты парной корреляции для определения факторов, которые будут включены в модель.

Затем с помощью метода наименьших квадратов оцениваются коэффициенты уравнения регрессии. Уравнение множественной регрессии имеет общий вид:

$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k + \xi$ где y - зависимая переменная (доход), x_i - независимые переменные, a_i - коэффициенты регрессионного уравнения, ξ - ошибка с нормальным законом распределения, средним равным нулю и стандартным отклонением σ .

Построенная регрессионная модель может быть использована для анализа потенциальных мест размещения нового объекта путем оценки его будущего успеха. Исходя из требований к организации бизнеса, можно создать специальную модель для определения наиболее важных характеристик выбора места расположения. Достоинство метода множественной регрессионной модели - строгий формальный подход к решению задачи размещения, без наличия фактора субъективизма. Недостаток - связь между любым параметром и доходом принимается линейная (прямая либо обратная пропорциональность), что не всегда соответствует действительности. Для построения более точной модели необходимо собрать как можно больше статистического материала, что предполагает немалые капиталовложения. Статистический материал, собранный для поиска места размещения магазина какого-либо нового вида либо на специфической территории, должен быть соответствующим образом скорректирован. Так же необходимо помнить, что при использовании многих переменных в модели многофакторной регрессии может возникнуть проблема мультиколлинеарности факторов, т.е. их тесной линейной связи. А одним из условий регрессионного анализа является независимость объясняющих переменных. При наличии мультиколлинеарности интерпретировать влияние отдельной независимой переменной на зависимую гораздо сложнее.

Нужно отметить, что принципиальное отличие регрессионной модели от метода взвешенных факторных нагрузок - это выявление влияния различных факторов на результирующий показатель. А в методе взвешенных факторных нагрузок рассчитывается коэффициент по всем факторам без определения связи факторов с каким-либо зависимым показателем.

Рассмотренными в обзоре методами не ограничивается широкий спектр моделей размещения. Возможны другие подходы и схемы. Приведенные методы свидетельствуют о возможности математического описания и оптимизации проблемы размещения объекта. Не один из рассмотренных методов не является универсальным, отвечающим всем требованиям и запросам современного рынка. Таким образом, нельзя сказать, что проблема размещения объекта, как одна из задач логистического управления товародвижением полностью разрешена. Любой из рассмотренных методов требует уточнений и доработок. Также необходимо развитие комплексных подходов, включающих в себя взаимосвязанные расчеты по нескольким методам. Особое внимание необходимо уделить разработке алгоритмов и рекомендаций, которыми мог бы воспользоваться каждый.

В настоящее время в большинстве предприятий задача размещения складских комплексов рассматривается как задача оценки инвестиционного проекта. Для определения оптимального местоположения складских комплексов в основном используют метод центра тяжести [2]. Но, к сожалению, применяемая методика не дает ответа на вопрос о том, насколько востребован будет складской комплекс в выбранном месте, т.е. каким спросом он будет пользоваться у покупателей. Отсюда следует, что стандартные методики, используемые компаниями для оценки размещения складских комплексов, не дают возможности учесть очень важные факторы, связанные с покупательским спросом и классом, к которому принадлежит определенный потребитель.

Каждая из описанных выше моделей имеет свои преимущества и недостатки. Однако для выбора оптимального местоположения склада может потребоваться ни одна модель, а комбинация нескольких моделей. В литературе часто встречается описание комбинации дискретных моделей основанных на методе «центра тяжести», но такие модели не подходят для крупных пространственно распределенных предприятий.

Рассмотрим алгоритм муравьиной колонии, который впервые был предложен Dorigo, Maniczzo и Colorni [4] как метод решения трудных

комбинаторных оптимизационных задач, таких как задача коммивояжера и квадратичная задача о назначениях. С тех пор алгоритмы муравьиной колонии активно развивались и стали применяться к другим задачам дискретной оптимизации. Появились алгоритмы для задач маршрутизации, задачи о раскраске графа, задач раскроя и упаковки, простейшей задачи размещения, задачи о p -медиане и ряда других задач.

Муравей – это программный агент, который является членом большой колонии и используется для решения какой-либо проблемы. Муравей снабжается набором простых правил, которые позволяют ему выбрать путь на графе.

Пусть дискретная задача оптимизации – это задача определения на множестве $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, $D \subseteq Z$ – множество допустимых решений задачи. Функция $f: D \rightarrow R$ – целевая функция задачи. Требуется найти такое решение задачи s^* , что $s^* \in D$ и $f(s^*) \leq f(s), \forall s \in D$. Некоторое подмножество s множества Z является частичным решением задачи, причем если $s \in D$, то s представляет собой допустимое решение [3].

На каждой итерации алгоритма муравьиной колонии конечное число искусственных муравьев или агентов ищут допустимое решение дискретной оптимизационной задачи. Решением является путь минимальной стоимости по некоторым состояниям задачи, представляющим собой частичные решения. Муравей строит решение, начиная с некоторого начального состояния в зависимости от специфики решаемой задачи. В результате, после того, как искусственный муравей построил решение, он получает некоторую информацию о задаче, которая обрабатывается и используется агентами в дальнейшем. Эта информация и является аналогом феромона живых муравьев.

Искусственный муравей строит решение, «двигаясь» по состояниям задачи согласно некоторому вероятностному правилу. После завершения построения решения (или в течение построения) агент оценивает решение и изменяет значение уровня феромона на компонентах, используемых в данном

решении. Таким образом, искусственный муравей – это некоторый жадный алгоритм, который итеративно шаг за шагом строит решение задачи. На каждом шаге r муравей l определяет множество возможных направлений $A_l^r(\varphi)$ из текущего состояния φ и выбирает одно из них с некоторой вероятностью. Для муравья l вероятность $p_{\varphi\psi}^l$ перехода из состояния φ в состояние ψ зависит от комбинации значений привлекательности перехода и уровня феромона.

Уровень феромона $\tau_{\varphi\psi}$ представляет собой положительное число, показывающее на сколько часто муравьи двигались из состояния φ в состояние ψ на предыдущих итерациях. Таким образом, указанная величина отражает апостериорную (выведенную из опыта) желательность перехода. Обычно уровень феромона переопределяется в тот момент, когда все искусственные муравьи закончили построение решения на данной итерации. Увеличение или уменьшение уровня феромона для соответствующих переходов между состояниями зависит от того, к решениям какого качества они относятся.

Основная идея, лежащая в основе алгоритма муравьиной колонии, заключается в использовании механизма положительной обратной связи, который помогает найти наилучшее приближенное решение в сложных задачах оптимизации. Эффективность муравьиных алгоритмов увеличивается с ростом размерности задачи оптимизации.

Описанный выше алгоритм муравьиной колонии известен в англоязычной литературе как Ant System (AS). Данный алгоритм изначально применялся для задачи коммивояжёра и квадратичной задачи о назначениях и стал прототипом большого числа алгоритмов муравьиных колоний для различных задач дискретной оптимизации.

Алгоритм оптимизации муравьиной колонии может быть успешно применен для решения сложных комплексных задач оптимизации. Цель решения сложных комплексных задач оптимизации – поиск и определение наиболее подходящего решения для оптимизации целевой функции из

дискретного множества возможных решений. Пример решения подобной задачи – это задача календарного планирования, квадратичная задача о назначениях, задача маршрутизации транспорта, различных сетей (GPS, ГЛОНАСС, телефонные и компьютерные и т.п.), распределение ресурсов и работ. Перечисленные задачи возникают в инженерии, производстве, бизнесе и во многих других областях.

Исследование выполнено при поддержке научно-исследовательского проекта РГНФ «Управление эффективностью пространственно распределённых промышленных предприятий с учётом фактора надёжности», № 14-02-00334а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов Р.А. Модели оптимального размещения складских комплексов с учетом различного потребительского спроса населения в задаче логистического управления товародвижением: дис...канд. техн. наук: 05.13.10, Воронежская государственная лесотехническая академия. Воронеж, 2012. - 150с.
2. Константинов Р.В. Проектирование оптимальной складской сети: Инженерный вестник Дона. - 2011. - №4, том 18. – 8с.
3. Лореш М.А. Алгоритмы муравьиной колонии для простейшей задачи размещения: Препринт. – Омск, ОмГУ. - 2006. – 19с.
4. Лореш М.А. Разработка и исследование алгоритмов муравьиной колонии для решения задач оптимального размещения предприятий: дис... канд. техн. наук: 05.13.01, ОмГУ. Омск, 2006. - 113с.

REFERENCES

1. Mikhaylov R.A. Modeli optimalnogo razmeshcheniya skladskikh kompleksov s uchetom razlichnogo potrebitelskogo sprosa naseleniya v zadache logisticheskogo upravleniya tovarodvizheniem: dis... kand. tekhn. nauk: 05.13.10, Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya. Voronezh, 2012. -150s.

2. Konstantinov R.V. Proektirovanie optimalnoy skladskoy seti: Inzhenernyy vestnik Dona. - 2011. - №4, tom 18. – 8s.

3. Loresh M.A. Algoritmy muravinoy kolonii dlya prosteyshyey zadachi razmeshcheniya: Preprint. – Omsk, OmGU. - 2006. – 19s.

4. Loresh M.A. Razrabotka i issledovanie algoritmov muravinoy kolonii dlya resheniya zadach optimalnogo razmeshcheniya predpriyatiy: dis... kand. tekhn. nauk: 05.13.01, OmGU. Omsk, 2006. - 113s.

*ANALYSIS METHODS OF PLACEMENT NETWORK
STORAGE SPACE DISTRIBUTED ENTERPRISES*

N.V. BEDAKOVA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072
e-mail: natabedakova@gmail.com*

The problem of optimal placement of warehouse space for a long time and studied for solving this problem has developed a number of techniques described in the literature. The article presents an overview of the main methods for placement of warehouse space spatially distributed enterprise, "center of gravity" method, "the transport costs of the equilibrium center of the system," Method Search Method minimum transport work, method of minimum total cost, factor-rating system, method of weighted factor loads, Multiple regression model. The advantages and disadvantages of the above methods warehouse network placement. no model may need to select the best site for a warehouse, and the combination of several models. A method for solving a combinatorial optimization problem – Ant System.

Key words: placement methods, storage network, Ant System, the location of enterprises, optimization.