



**ВОЛЬХИН Евгений Геннадьевич**

Кандидат экономических наук,  
доцент кафедры логистики

Уральский государственный  
экономический университет  
620144, РФ, г. Екатеринбург,  
ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45  
Тел.: (343) 221-17-74  
E-mail: volc1970@mail.ru

**Ключевые слова**

МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ СКЛАДА

ОПТИМИЗАЦИЯ СКЛАДСКИХ ЗАТРАТ

МИНИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ИЗДЕРЖЕК

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗМЕЩЕНИЯ

**Аннотация**

Исследование направлено на разработку модели размещения распределительных центров на территории крупнейших городов с целью минимизации общих логистических затрат. Данная цель достигается за счет оптимизации складских и транспортных затрат и максимизации эффективности использования промышленно-транспортных зон на территории крупнейших городов. Несмотря на достаточное количество существующих способов решения данной проблемы, они имеют некоторые недостатки: не совсем реалистичны и не в полной мере отвечают требованиям логистической оптимизации и технологической производительности, игнорируют топографические ограничения, отсутствие транспортных коммуникаций и других необходимых ресурсов и факторов. Разработанная автором модель имеет более практичное применение в связи с использованием скорректированного расстояния для прогнозирования уточненного значения грузооборота, оптимизации транспортных и минимизации общих логистических затрат. Такой метод может быть использован как провайдером для анализа и выбора оптимального места размещения логистического центра с учетом существующей клиентской базы, так и владельцами промышленно-транспортных зон, находящихся непосредственно на территории крупных и крупнейших городов.

**JEL classification**

R15, R33, R34

## Модели размещения распределительных центров

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время остро стоит вопрос формирования эффективной логистической инфраструктуры для обслуживания контрагентов на территории крупных и крупнейших городов. Проблема выбора оптимального места размещения склада существует достаточно давно, и для ее решения предложено несколько моделей [5; 14; 18]. На наш взгляд, некоторые из них имеют ограничения для применения на рынке промышленной продукции, другие требуют применения более совершенных алгоритмов и технологий моделирования, третьи модели не учитывают различные фактические ограничения.

Цель исследования – разработать модель, позволяющую выбрать минимальный грузооборот на основе более практичного определения величины расстояний пробега транспортных средств при доставке груза из логистического центра потребителям.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести максимальный обзор моделей размещения складских мощностей, известных на текущий момент, обозначив их преимущества и недостатки;
- разработать практико-ориентированный метод корректировки расстояний доставки груза для уточнения прогноза грузооборота, транспортных и складских затрат;
- предложить вариант повышения эффективности использования транспортно-складских зон на территории крупнейшего города.

**ОБЗОР МОДЕЛЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ  
СКЛАДСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Модели размещения складских объектов можно разделить на две группы. В *первую группу* входят простые арифметические модели, минимизирующие общие затраты на работу склада.

1. Модель И. фон Тюнена опирается на теорию экономической географии. Согласно этой модели в экономических границах некоторой территории затраты

на производство сельскохозяйственной продукции и цена ее реализации должны быть одни и те же для любой точки рынка. И только транспортные затраты при доставке продукции со склада конечным потребителям будут различными – по причине неравномерности заселения территории людьми. Поэтому предлагается выбирать лучшее место для склада по критерию минимальных транспортных затрат на рынке потребления [3; 5]. По нашему мнению, модель фон Тюнена имеет ограничение для применения на рынке промышленной продукции.

2. Модель А. Вебера, в отличие от предыдущей модели, посвящена именно проблеме выбора лучшего места для размещения склада на промышленном рынке. Согласно ее положениям, затраты в транспортной системе «сырье – готовая продукция» будут выше в том случае, когда масса перемещаемого груза будет максимально тяжелой. Если масса используемого сырья превышает массу полученной из него готовой продукции, то склад следует располагать ближе к месту добычи сырья. Если масса готовой продукции превышает массу исходного сырья, то склад следует располагать ближе к рынку реализации товаров. Если же масса используемого сырья равна массе изготовленной из него продукции, то склад следует располагать посередине транспортного маршрута: от места добычи сырья до рынка реализации товаров. Подробнее о данной модели см.: [1; 12; 19].

3. Модель Э. Гувера. При всей логичности положений модели Вебера, существует один ее явный недостаток, состоящий в предположении, что на достаточно протяженном транспортном отрезке тарифы на перевозку груза не меняются. На практике же удельная цена перевозки груза (тариф) экспоненциально снижается при увеличении расстояния. Это происходит на основе эффекта масштаба в соответствии с законом убывающей отдачи и предельных затрат на конкурентном рынке. Поэтому модель Гувера рекомендует размещать склад ближе именно

## Location Models for Distribution Centres

к пункту назначения груза, т.е. ближе к рынку реализации товаров. Подробнее об этом см.: [12; 19].

4. Модель М. Гринхарта, в дополнение к критерию минимального грузооборота, добавляет требования по обеспечению экономической и экологической безопасности, а также учету всех других факторов, снижающих переменные затраты и повышающих рентабельность деятельности склада. Подробнее о данной модели см.: [12; 19].

Во *вторую группу* входят экономико-математические и компьютерные модели.

5. Планарная модель представляет собой достаточно простой алгоритм принятия решения и вариант моделирования. Это модель оптимизации при определении лучшего места для размещения складов на основе таких факторов, как:

- отсутствие топографических, административных и социальных ограничений;
- наличие достаточных ресурсов энергоносителей и воды;
- необременительное налоговое законодательство;
- наличие квалифицированной рабочей силы и т.д.

Подробнее см.: [10; 14].

Однако, на наш взгляд, определение конкретных мест размещения логистических мощностей на практике требует применения более совершенных алгоритмов и технологий моделирования.

6. Модель складирования внешнего и внутреннего размещения. При моделировании *внешнего* размещения определяется географическое место размещения склада. При моделировании *внутреннего* размещения оптимизируют распределение запасов внутри склада с учетом планировки его внутренних зон. О данной модели подробно говорится во многих источниках: (см., например: [2; 7–9]).

7. Сетевая модель сходна с планарной, но имеет важное дополнение: место размещения склада должно находиться непосредственно на транспортной сети

либо поблизости от нее. В отличие от планарной модели, которая определяет оптимальное место расположения в любом подходящем месте на плане, сетевая модель устанавливает только то место, которое привязано к различным транспортным путям сообщения: автомобильным, железнодорожным, водным и воздушным. Поэтому число потенциальных мест размещения склада в данном случае намного меньше, но они более реалистичны и наиболее полно отвечают требованиям логистической оптимизации и технологической производительности. Подробнее о данной модели см.: [3; 4].

8. Дискретная модель определения мест расположения склада максимально отражает существующие реалии, но она и самая сложная. Она должна учитывать общие, как постоянные, так и переменные затраты. Она сочетает факторы всех предыдущих моделей и тарифы обслуживания потребителей, стоимостные параметры многочисленных факторов, влияющих на место размещения, и поэтому осуществима только при условии моделирования с использованием программно-компьютерного обеспечения. Данная модель должна не только определить лучшее место размещения складского комплекса, но и спроектировать его оптимальную инфраструктуру и планировку с учетом максимальной эффективности и производительности его работы. Подробнее см.: [1; 10; 12].

9. Модель без ограничения выбора вариантов размещения склада основана на принципе определения физического центра тяжести. Суть данного принципа в следующем: если на рычаги, образованные плечами расстояний от поставщиков до склада и от склада к потребителям, действуют различные силы, образованные массами входящих и исходящих грузов, то можно определить единственную точку на плоскости, уравновешивающую все эти силы. Эту точку и следует выбрать для размещения склада. Главными недостатками модели являются всевозможные топографические ограничения, отсутствие транспортных

### ► Yevgeny G. VOLKHIN

*Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor of Logistics Dept.*

**Ural State University of Economics  
620144, RF, Yekaterinburg,  
8 Marta/Narodnoy Voli St., 62/45  
Phone: (343) 221-17-74  
E-mail: volc1970@mail.ru**

### Keywords

WAREHOUSE LOCATION MODEL  
WAREHOUSE COST OPTIMIZATION  
TRANSPORT COST MINIMIZATION  
LOCATION EFFICIENCY

### Abstract

The study aims to develop a location model for distribution centres in the territory of the largest cities with a view to minimizing overall logistic costs. Optimization of warehouse and transport costs and maximization of the efficiency of using industrial-transport zones in the territory of the largest cities help to achieve the stated goal. Despite the fact that there is a sufficient number of ways to solve this problem, they have certain weaknesses: they are not entirely realistic and do not fully meet the requirements of logistic optimization and technological productivity, ignore topographical restrictions and lack transport communications and other necessary resources and factors. The proposed model is of more practical use since it utilizes the corrected distance for forecasting a more accurate value of freight turnover, optimizing transport costs and minimizing overall logistic costs. This method can be used by providers for analysing and choosing the optimal location of a logistic centre for the existing customer base, as well as by owners of industrial-transport zones situated in large and the largest cities.

### JEL classification

**R15, R33, R34**

коммуникаций и других необходимых ресурсов и факторов. Подробнее об этой модели см.: [6; 9; 13].

Известными разновидностями данной модели являются:

9.1. Модель прямых поставок без размещения склада – классическая транспортная задача распределения массы груза от поставщиков потребителям напрямую.

9.2. Модель размещения склада на линии (коммуникации) – определение оптимального расстояния, грузоподъемности и количества промежуточных складов, проектируемых на пути следования заданной протяженности методом «пробной точки». Подробнее см.: [6].

9.3. Модель размещения склада на плоскости – определение географических координат в системе Декарта, грузоподъемности и количества промежуточных складов, проектируемых на полигоне логистического обслуживания заданной площади. Подробнее см.: [6].

9.4. Модель размещения склада на транспортной сети – формирование оптимального выбора в результате анализа предложений, исходящих от складских операторов, уже функционирующих в пределах транспортной сети. Подробнее см.: [8].

9.5. Модель Рейли (схема коммерческого притяжения), основанная на постулате, что спрос на товары (услуги) прямо пропорционален численности населения в населенном пункте и обратно пропорционален квадрату расстояния от потребителя до него. По указанной формуле можно найти границу так называемой «зоны безразличия» между двумя населенными пунктами, жители которых будут совершать примерно одинаковую долю покупок в своих пунктах.

При выявлении «зоны безразличия» можно определить территориальный предел коммерческого притяжения покупателей к проектируемому складу. Главными недостатками данной модели являются предположения о равных скоростях доставки и, соответственно, времени доставки товаров потребителям, а также их одинаковой покупательной способности. Подробнее о данной модели см.: [7].

#### РАЗРАБОТКА АВТОРСКОЙ МОДЕЛИ РАЗМЕЩЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В КРУПНЕЙШИХ ГОРОДАХ

Наиболее приемлемыми при выборе оптимального варианта размещения мощностей по хранению и переработке грузов нам представляются методы,

приведенные А.П. Тяпухиным [11]. Например, в методе «Калькуляция затрат» предлагается делать выбор на основе минимальной суммы расстояний от логистического центра до потребителей продукции, умноженной на массу грузов, доставленную соответствующим потребителям. По сути, выбор должен делаться не просто по сумме минимальных расстояний, а по минимизации грузооборота на одном и том же полигоне логистического обслуживания. Ведь без учета массы доставляемого груза предполагается, что транспортные средства просто перемещаются без груза, но это неверно. Однако в алгоритме указанного метода присутствует одно существенное допущение, что транспортные средства перемещаются строго по прямым линиям в двумерном пространстве (длина и ширина плоскости). Это вызвано использованием декартовой системы координат при определении места размещения логистического центра и его потребителей. Так, ортогональное расстояние от места размещения логистического центра (ЛЦ) до каждого клиента может быть определено по формуле

$$Op = [X_i - x_j] + [Y_i - y_j], \quad (1)$$

где  $Op$  – ортогональное расстояние (по катетам прямоугольного треугольника);  $X_i$  – координата размещения варианта ЛЦ по оси абсцисс;  $x_j$  – координата размещения клиента по оси абсцисс;  $Y_i$  – координата размещения варианта ЛЦ по оси ординат;  $y_j$  – координата размещения клиента по оси ординат.

Ортогональное расстояние – это путь следования по катетам прямоугольного треугольника, что не отражает заинтересованности субъектов управления в минимизации расстояния пробега транспортных средств и грузов. Этот момент фиксирует неполноценность представленного метода для практического применения, в том числе и для целей нашего исследования.

Как известно, минимальным расстоянием между двумя точками (в нашем случае – от логистического центра до потребителя товара) является прямая линия.

Используя знаменитую теорему Пифагора о том, что «квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов прямоугольного треугольника», можно определить расстояние по прямой линии от места размещения логистического центра до каждого клиента в декартовой системе координат по формуле

$$РПЛ = \sqrt{(X_i - x_j)^2 + (Y_i - y_j)^2}, \quad (2)$$

где РПЛ – расстояние движения по прямой линии (по гипотенузе прямоугольного треугольника).

Такой подход, предложенный профессором Е.И. Зайцевым (см.: [5. С. 182–189]), полностью отражает заинтересованность субъектов управления в минимизации пробега транспортных средств и грузов.

Рассмотрим его подробнее (рис. 1). Предложена методика определения географических координат склада по критерию минимальных транспортных затрат на доставку груза с одного склада нескольким потребителям. С этой целью предлагается использовать модель математического программирования:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \times C_0 \times \exp(-d \times m_i) \times \sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2} \rightarrow \min,$$

где  $S$  – целевая функция минимизации транспортных затрат;  $w_i$  – приоритет (значимость очередности) доставки груза;  $n$  – количество адресов доставки груза (магазинов);  $C_0$  – базовый тариф за транспортировку груза;  $\exp$  – экспоненциальная зависимость изменения базового тарифа;  $(-d)$  – коэффициент снижения удельных транспортных затрат в зависимости от увеличения расстояния доставки груза;  $m_i$  – масса груза, доставляемого в адрес каждого магазина;  $a$  – оптимальная координата размещения искомого склада по оси абсцисс;  $b$  – оптимальная координата размещения искомого склада по оси ординат;  $x_i$  – координата размещения каждого магазина по оси абсцисс;  $y_i$  – координата размещения каждого магазина по оси ординат.

Подставляя в данную модель известные значения ( $w_i, C_0, n, m_i, x_i, y_i$ ), получаем искомые значения координат  $a$  и  $b$ , соответствующие оптимальному месту размещения склада, минимизирующие грузооборот и обеспечивающие необходимую и достаточную величину транспортных затрат на доставку груза потребителям.

Данная модель учитывает одну важную особенность транспортной работы – снижение удельных транспортных затрат в зависимости от увеличения расстояния доставки груза. Это актуально при организации маятниковых маршрутов в адрес каждого получателя (магазина). Однако эта особенность теряет свою актуальность при организации кольцевых развозочных маршрутов по грузополучателям (магазинам)

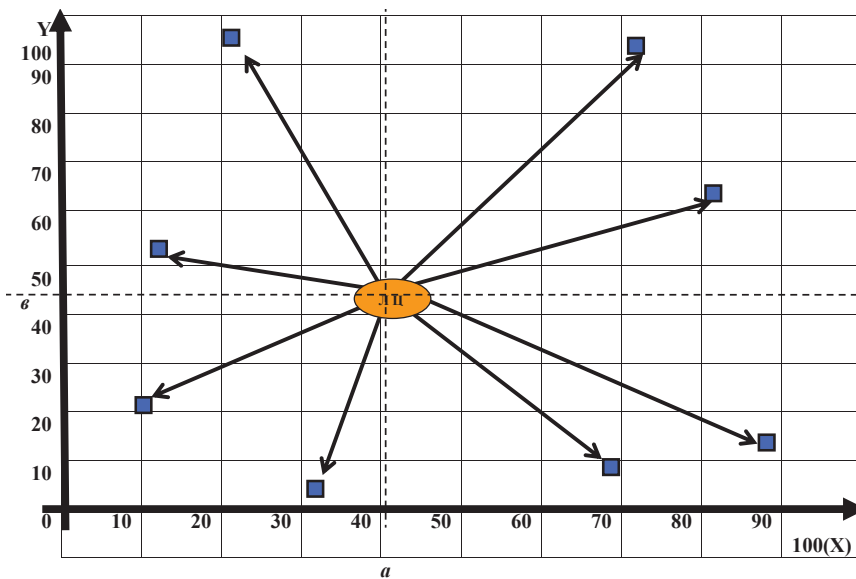


Рис. 1. Схема оптимизации места размещения склада по модели Е.И. Зайцева

на территории города, потому что разные кольцевые маршруты имеют примерно одинаковую удаленность от центра (склада). Тем более не актуально для практического применения указанной выше модели движение транспортных средств из склада по гипотенузам, т.е. по прямым линиям.

Хорошо известно, что пути следования наземных транспортных средств (в первую очередь автомобильных) на территории крупных и крупнейших городов далеки от формы идеальной прямой. Таким образом, возникает дилемма, согласно которой субъекты управления транспортными процессами по доставке грузов будут постоянно стремиться минимизировать расстояние пробега, но на практике вероятность минимизации данного расстояния до прямой линии будет стремиться к нулю. Это объясняется значительным количеством препятствий в виде: зданий, инженерных сооружений, реальной дорожной сети и других естественных и искусственных преград.

Тем не менее для определения грузооборота необходимо использовать параметр «расстояние». Нами предлагается нижеследующий алгоритм.

Сначала следует определить соотношение между максимальным ортогональным расстоянием и минимальным расстоянием движения по прямой линии – гипотенузе. Обозначим его как «коэффициент объезда» ( $Ko$ ).

$$Ko = Op_i : PnL_i, \quad (3)$$

где  $Op_i$  – ортогональное расстояние от места размещения логистического центра до каждого клиента;  $PnL_i$  – расстояние по прямой линии – движение от места размещения логистического центра до каждого клиента.

Далее нужно определить среднее арифметическое значение коэффициента объезда из суммы всех его значений на данном полигоне обслуживания.

$$Ko_{cp} = \sum_{i=1}^n Ko : n, \quad (4)$$

где  $n$  – количество мест размещения клиентов на полигоне обслуживания.

Таким образом, умножая данное среднее арифметическое значение коэффициента объезда на соответствующее расстояние движения по прямой линии от места размещения логистического центра до каждого клиента, мы получим скорректированное расчетное расстояние ( $Pp$ ).

$$Pp_i = PnL_i \times Ko_{cp}. \quad (5)$$

Для определения общего грузооборота рассматриваемого полигона обслуживания в течение всего периода прогнозирования расчетное расстояние следует умножить на соответствующее значение массы доставляемого из логистического центра груза. Как правило, период прогнозирования грузооборота ( $Go$ ) должен соответствовать сроку эксплуатации проектируемых мощностей.

$$Go_{общ} = \sum_{i=1}^n Pp_i \times m_i, \quad (6)$$

где  $m_i$  – масса груза, доставляемого из логистического центра каждому конкретному клиенту в течение учетного периода.

Используя предлагаемый алгоритм, можно получить прогнозное значение общего грузооборота из одного места размещения логистического центра до места дислокации каждого клиента (магазина).

Таким образом, если рассматривается несколько вариантов места размещения логистического центра, то при неизменном месте размещения клиентов следует определить прогнозное значение общего грузооборота из каждого места размещения логистического центра до каждого клиента ( $Go_{общj}$ ), где  $j$  – количество вариантов мест размещения логистического центра.

Сравнивая между собой итоговые значения, окончательный выбор следует сделать по минимальному значению общего грузооборота.

$$Go_{общj} \rightarrow \min.$$

Именно минимальное значение общего грузооборота из данного места размещения логистического центра до каждого клиента будет иметь минимум транспортных затрат, которые при прочих равных операционных затратах позволят минимизировать общие логистические затраты логистического центра.

Таким образом, модифицированный нами метод имеет большее практическое применение в связи с использованием скорректированного расстояния для прогнозирования уточненного значения грузооборота, транспортных и общих затрат. Такой метод может быть использован провайдерами при анализе и выборе оптимального места размещения логистического центра с учетом существующей клиентской базы.

Однако есть еще одно направление использования предложенного метода – со стороны владельцев промышленно-транспортных зон, находящихся непосредственно на территории крупных и крупнейших городов. Такая инфраструктура представляет собой наследие градостроительной политики времен Советского Союза и в настоящее время является проблемой для функционирования как самих промышленно-транспортных зон, так и городов в целом. Эти зоны наносят существенный ущерб экологии и внешнему облику современных крупнейших городов.

Одной из поставленных задач является исследование вариантов модернизации и повышения эффективности использования промышленно-транспортных зон их собственниками. Для собственника промышленно-транспортной зоны актуальна не проблема выбора места размещения каких-либо новых мощностей, а выбор наиболее эффективного их использования с учетом множества ограничений. Актуальным становится выбор наиболее

прибыльной клиентской базы, позволяющей повысить рентабельность проекта и сократить период его окупаемости. Таким привлекательным клиентом может стать торговая сеть, включающая несколько десятков магазинов на территории крупнейшего города. С учетом того, что на территории таких городов могут конкурировать несколько торговых сетей, нуждающихся в эффективном логистическом центре, возникает проблема выбора одной из них – самой прибыльной.

Превосходящая прибыльность в данном случае будет зависеть в том числе и от возможности сокращения транспортных затрат на доставку грузов из логистического центра в магазины данной торговой сети.

В этом случае предложенную выше методику оптимизации транспортных затрат по грузообороту можно модифицировать следующим образом: не выбирать место размещения логистического центра (так как других вариантов не существует), а определять минимальный удельный грузооборот в расчете на каждый адрес доставки груза. Поскольку количество магазинов у конкурирующих торговых сетей, как правило, различно и адреса их размещения не совпадают, то критерием оптимизации в данном случае будет минимальный грузооборот, соотношенный с количеством магазинов соответствующей торговой сети.

Теперь нужно, как и в первом случае, по формулам (1)–(6) определить общий грузооборот для обслуживания соответствующей торговой сети в течение всего срока эксплуатации проектируемых мощностей. Но сравнивать итоговые значения грузооборота разных торговых сетей недопустимо, так как они могут включать различное количество адресов доставки груза (магазинов). Поделив общий грузооборот каждой торговой сети на соответствующее количество входящих в нее магазинов, мы получим удельный грузооборот на один адрес доставки груза ( $G_{0,удj}$ ):

$$G_{0,удj} = G_{0,общj} : k_j, \quad (7)$$

где  $k_j$  – количество магазинов на полигоне обслуживания соответствующей торговой сети.

Сравнивая между собой полученные значения удельного грузооборота каждой торговой сети, следует выбрать ту сеть, у которой его значение будет минимальным:  $G_{0,удj} \rightarrow \min$ . Это будет соответствовать минимальным удельным транспортным затратам на обслуживание

клиентской базы. При прочих равных операционных затратах это позволит минимизировать общие логистические затраты, повысить прибыльность выбранной клиентской базы, а соответственно увеличить рентабельность проекта строительства логистического центра и сократить период его окупаемости.

При всех достоинствах представленных выше методов следует указать, что оба способа определения затрат на доставку груза предусматривали движение по прямой, т.е. по гипотенузе прямоугольного треугольника. Таким образом, предполагается использование маятниковых маршрутов: из логистического центра в пункт разгрузки и обратно. Однако движение по маятниковым маршрутам не соответствует концепции бережливого производства и распределения. Согласно данной концепции, ежедневная доставка груза, организованная по кольцевому развозочному маршруту, позволяет сократить не только размеры страхового, текущего и максимального запасов, но и время реагирования на выполнение заказов вдоль потока создания ценности (подробнее об этом см.: [15–17; 20]. Таким образом, транспортное средство должно загружаться в логистическом центре для доставки груза в адрес не одного, а нескольких пунктов назначения – в соответствии с его технической грузоподъемностью и грузоподъемностью. Эти параметры усложняют модель определения оптимального решения из-за повышения количества вариантов полезного пробега транспортных средств.

Данное обстоятельство требует модификации предложенных выше методов минимизации транспортных затрат. Здесь следует использовать методику определения объема партии перевозимого груза для выбора оптимальной вместимости транспортного средства и, соответственно, нести необходимые и достаточные транспортные затраты.

Зная количество и массу грузовых пакетов, которые требуется доставлять в каждый магазин торговой сети, можно определить общее расстояние развозочных кольцевых маршрутов. Таким образом, можно определить суммарный грузооборот каждой выбираемой сети для проектируемого логистического центра по предлагаемой ниже авторской методике (рис. 2).

1. Взять географическую карту, включающую все пункты доставки грузов анализируемых торговых сетей (магазины, клиенты) и на полях карты отложить

оси декартовой системы координат – абсцисс и ординат.

2. На обеих осях системы отложить единицу измерения расстояний в соответствии с масштабом географической карты (как правило, это 1 см, равный определенному количеству километров).

3. Через точку расположения логистического центра (уже существующего или пока только проектируемого) провести линии  $a$  и  $b$ .

4. Присвоить номер (от 1 до 4) каждому полигону обслуживания, полученному при пересечении линии:  $a$  и  $b$  (лучше это делать против часовой стрелки).

5. Определить последовательность заезда в каждый пункт доставки груза (конфигурацию развозочного кольцевого маршрута) в соответствии с технической грузоподъемностью и грузоподъемностью транспортных средств.

6. Определить ортогональное расстояние от места размещения логистического центра до первого магазина (клиента), а также от первого магазина (клиента) до следующего [по формуле (1)].

7. Определить расстояние по прямой линии от места размещения логистического центра до каждого клиента в декартовой системе координат [по формуле (2)].

8. Определить коэффициент объезда – соотношение между максимальным ортогональным расстоянием и минимальным расстоянием движения по прямой линии ( $K_0$ ) [по формуле (3)].

9. Определить среднее арифметическое значение коэффициента объезда из суммы всех его значений на данном полигоне обслуживания [по формуле (4)].

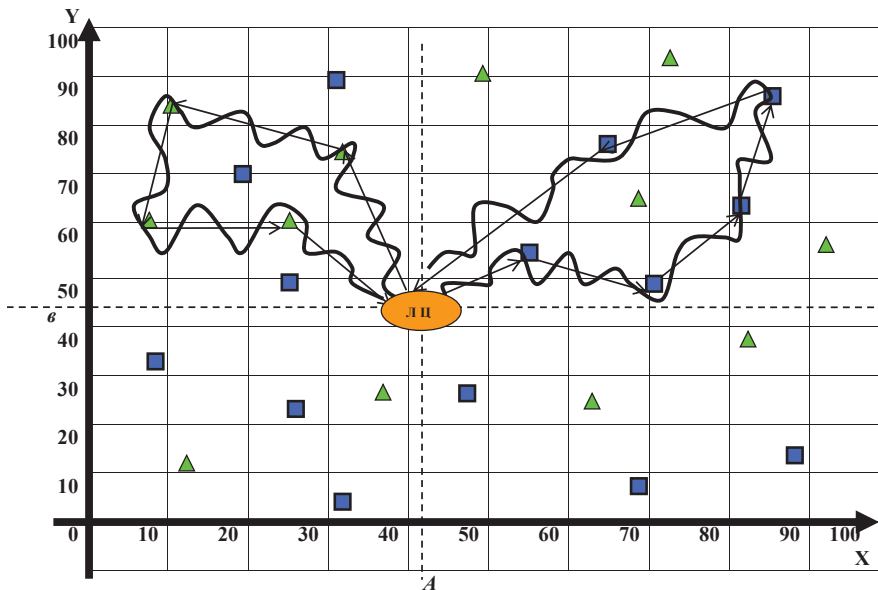
10. Определить скорректированное расчетное расстояние на данном полигоне обслуживания (квадранте) [по формуле (5)].

11. Определить общий грузооборот рассматриваемого полигона обслуживания [по формуле (6)].

12. Определить удельный грузооборот в каждый адрес доставки груза [по формуле (7)].

13. Сравнивая между собой полученные значения удельного грузооборота каждой торговой сети, выбрать ту, у которой его значение будет минимальным. Это позволит минимизировать общие логистические затраты и период окупаемости логистического центра, максимизировать его прибыльность и рентабельность.

Подробнее следует остановиться на алгоритме формирования структуры кольцевого развозочного маршрута, ко-






 Траектория движения по расчетному расстоянию (с учетом коэффициента объезда)  
 Магазин торговой сети,  $i = 1$   
 Магазин торговой сети,  $i = 2$

Рис. 2. Схема оптимизации места размещения логистического центра

торый может быть получен несколькими методами. При небольшом количестве пунктов доставки груза (до 100) структуру кольцевого развозочного маршрута можно сформировать методом подстановки значений массы и объема груза – к ограничениям по грузоподъемности и грузовместимости доступных транспортных средств.

Через точку размещения логистического центра нужно провести перпендикуляры:  $a$  – к оси абсцисс и  $b$  – к оси ординат. Таким образом, все координатное поле разобьется на 4 квадранта. Соответственно в каждом квадранте образуется определенное множество пунктов доставки груза.

Ввиду их немногочисленности нужно, последовательно суммируя значения массы и объема груза, прокладывать путь следования транспортного средства, контролируя точку возврата в логистический центр. Иначе говоря, включать в кольцевой маршрут не следующие более удаленные точки, а наоборот, приближенные к логистическому центру, с целью повышения коэффициента использования грузоподъемности и грузовой вместимости транспортного средства при необходимости возврата в логистический центр на очередную загрузку для нового рейса.

Однако при увеличении количества пунктов доставки груза (более 100), а также различных актуальных параметров (расстояние, масса, грузооборот, время и приоритеты доставки) необходимо использовать специализированное про-

граммное обеспечение ГИС-класса (например, «Деловая карта», «Top-logistic» и др.). Целевое назначение этих программ заключается в распределении груза по автомобилям и определении очередности пунктов доставки груза. При этом обеспечивается соблюдение ограничений по времени, грузоподъемности и грузовой вместимости транспортного средства, минимальной сумме расстояний, а на электронной карте отображается планируемый путь следования автомобиля. В результате картографического планирования появляется несколько вариантов маршрутизации, что требует их дополнительного анализа с целью минимизации транспортных затрат.

Алгоритм составления кольцевого маршрута и их последующей оптимизации методом линейного программирования описан достаточно подробно [4; 18]. Указанный алгоритм позволяет получить массив кольцевых маршрутов в соответствии с реальной протяженностью путей сообщения между пунктами доставки груза и складом. Таким образом, реальное расстояние, полученное с помощью специализированного программного обеспечения, можно использовать для выбора торговой сети менее затратной по величине грузооборота. Однако следует учитывать, что в условиях городского движения кратчайший реальный путь следования в определенные периоды времени может быть недоступен из-за ремонта дороги, дорожных пробок, дорожно-транспортных происшествий, коммунальных аварий и т.д. Эти ограни-

чения заставят искать различные пути объезда указанных препятствий. Для определения параметра «расчетное расстояние» и в дальнейшем «грузооборота» также предлагается использовать «коэффициент объезда», алгоритм вычисления которого был представлен выше.

Предлагаемая ниже модель математического программирования позволяет выбрать минимальный грузооборот на основе более реального определения величины расстояний пробега транспортных средств при доставке груза из логистического центра потребителям.

$$Z = \sum_{i=1}^n m_i \times Pp : n \rightarrow \min, \quad (8)$$

где  $Z$  – целевая функция минимизации транспортных затрат;  $m_i$  – масса доставляемого груза в адрес каждого магазина;  $Pp$  – расчетное расстояние кольцевого развозочного маршрута (расстояние прямой линии, умноженное на «коэффициент объезда»);  $n$  – количество адресов доставки груза (клиентов, магазинов).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были рассмотрены основные положения и принципиальные отличия известных моделей размещения распределительных логистических центров. Их детальное рассмотрение выявило соответствующие недостатки и преимущества, что позволило разработать более практичный способ уточнения прогноза грузооборота, транспортных и складских затрат.

Предложенный метод корректировки расстояний доставки груза реализуется с помощью разработки модели математического программирования, позволяющей выбрать минимальный грузооборот на основе оптимизации расстояний пробега транспортных средств при доставке груза из логистического центра его потребителям.

По мнению автора, предложенный вариант позволит существенно повысить эффективность использования транспортно-складских зон на территории крупнейшего города в соответствии с концепцией бережливого производства и распределения. Выполнение требований данной концепции позволит кардинально повысить процесс создания и реализации потребительской ценности: системно предоставлять клиенту именно то, что он хочет, в нужное ему время и удобном для него месте. ■

## Источники

1. Берг Й. Склад как конкурентное преимущество. М.: Axelot, 2013.
2. Волгин В.В. Склад: логистика, управление, анализ. М.: ИД «Дашков и К<sup>о</sup>», 2015.
3. Григорьев М.Н., Уваров С.А. Логистика. М.: Юрайт, 2017.
4. Дитрих М. Складская логистика. М.: КИА-центр, 2004.
5. Дыбская В.В. Управление складированием в цепях поставок. М.: Альфа-Пресс, 2009.
6. Зырянов А.В. Организационно-технические проблемы концентрации материально-технического снабжения: дис. ... д-ра экон. наук. М.: МИНХ им. Г.В. Плеханова, 1989.
7. Маликов О.Б. Складская и транспортная логистика в цепях поставок. СПб.: Питер, 2015.
8. Мерфи П.Р., Вуд Д.Ф. Современная логистика. М.: Вильямс, 2016.
9. Миротин Л.Б. Основы логистики. М.: Горячая линия – Телеком, 2013.
10. Прокофьева Т.А. Логистика транспортно-распределительных систем. Региональный аспект. М.: Росконсульт, 2003.
11. Тяпухин А.П. Логистика. М.: Юрайт, 2013.
12. Фразелли Э. Мировые стандарты складской логистики. М.: Альпина Паблшер, 2013.
13. Шамис В.А., Мочалин С.М. Некоторые аспекты имитационного моделирования в логистике // Наука XXI века: опыт прошлого – взгляд в будущее: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 12 апреля 2015 г.). Омск: Сиб. гос. автомобильно-дорожная акад., 2015.
14. Copacino W.C. 3PLs narrow the gap // *Logistics Management & Distribution Report 03/01/2016*. Cahners Business Information, 2016.
15. Klaus P., Muller-Steinfahrt U. Die Logistik mit Europa // *Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) (Hrsg.)*. Hamburg: Deutscher Verkehrsverlag, 1999.
16. Piller F.T., Meier R. Strategien zur effizienten Individualisierung von Dienstleistungen // *Industrie Management*. 2000. Vol. 17(2). S. 13–17.
17. Steininger S. Lead Logistics Provider // Hossner R. (Hrsg.) *Jahrbuch der Logistik*. Dusseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 2000.
18. Strdube F., Zadek H. Mit E-Logistics zum End-to-End im E-Business // *Technologie und Management*. 2000. Vol. 49. Heft 7/8. S. 24–28.
19. Zadek H. Strategische Neuausrichtung von Logistikdienstleistern – Steuerung globaler Produktions und Dienstleistungsnetzwerke // *Industrie Management*. 2001. Vol. 17(5). S. 28–31.
20. ZLU. Marktpotenziale 3PL und 4PL // *Unveröffentlichte Studie*. Berlin: Zentrum für Logistik und Unternehmensplanung GmbH, 2003.

## References

1. Berg J. *Highly Competitive Warehouse Management* (Russ. ed.: Berg J. *Sklad kak konkurentnoe preimushchestvo*. Moscow: Axelot Publ., 2013).
2. Volgin V.V. *Sklad: logistika, upravlenie, analiz* [Warehouse: Logistics, management, analysis]. Moscow: Dashkov i K<sup>o</sup> Publ., 2015.
3. Grigor'ev M.N., Uvarov S.A. *Logistika* [Logistics]. Moscow: Yurayt Publ., 2017.
4. Ditrikh M. *Skladskaya logistika* [Warehouse logistics]. Moscow: KIA-tsentr Publ., 2004.
5. Dybskaya V.V. *Upravlenie skladirovaniem v tsepyakh postavok* [Warehouse management in supply chains]. Moscow: Al'fa-Press Publ., 2009.
6. Zyryanov A.V. *Organizatsionno-tehnicheskie problemy kontsentratsii material'no-tehnicheskogo snabzheniya: dis. d-ra ekon. nauk* [Organizational and technical problems of concentration of material and technical supply. Dr. econ. sci. diss.]. Moscow: MINKh im. G.V. Plekhanova Publ., 1989.
7. Malikov O.B. *Skladskaya i transportnaya logistika v tsepyakh postavok* [Warehouse and transport logistics in supply chains]. St Petersburg: Piter Publ., 2015.
8. Murphy P.R., Wood D.F. *Contemporary Logistics* (Russ. ed.: Merfi P.R., Vud D.F. *Sovremennaya logistika*. Moscow: Vil'yams Publ., 2016).
9. Mirotin L.B. *Osnovy logistiki* [Fundamentals of logistics]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2013.
10. Prokof'eva T.A. *Logistika transportno-raspreditel'nykh sistem. Regional'nyy aspekt* [Logistics of transport and distribution systems. Regional aspect]. Moscow: Roskonsul't, 2003.
11. Tyapukhin A.P. *Logistika* [Logistics]. Moscow: Yurayt Publ., 2013.
12. Frazelli E. *Mirovye standarty skladskey logistiki* [World standards of warehouse logistics]. Moscow: Al'pina Publisher, 2013.
13. Shamis V.A., Mochalin S.M. [Some aspects of imitation modeling in logistics]. *Nauka XXI veka: opyt proshlogo – vzglyad v budushchee: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (12 aprelya 2015 g., Omsk)* [Science of the 21<sup>st</sup> Century: Experience of the Past – A Look into the Future: Proc. of the Int. sci.-pract. conf. (Omsk, April 12, 2015)]. Omsk: Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya Publ., 2015.
14. Copacino W.C. 3PLs narrow the gap. In: *Logistics Management & Distribution Report 03/01/2016*. Cahners Business Information, 2016.
15. Klaus P., Muller-Steinfahrt U. Die Logistik mit Europa. In: *Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) (Hrsg.)*. Hamburg: Deutscher Verkehrsverlag, 1999.
16. Piller F.T., Meier R. Strategien zur effizienten Individualisierung von Dienstleistungen. *Industrie Management*, 2000, vol. 17(2), pp. 13–17.
17. Steininger S. Lead Logistics Provider. In: *Hossner R. (Hrsg.) Jahrbuch der Logistik*. Dusseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, 2000.
18. Strdube F., Zadek H. Mit E-Logistics zum End-to-End im E-Business. *Technologie und Management*, 2000, vol. 49, Heft 7/8, pp. 24–28.
19. Zadek H. Strategische Neuausrichtung von Logistikdienstleistern – Steuerung globaler Produktions und Dienstleistungsnetzwerke. *Industrie Management*, 2001, vol. 17(5), pp. 28–31.
20. ZLU. Marktpotenziale 3PL und 4PL. In: *Unveröffentlichte Studie*. Berlin: Zentrum für Logistik und Unternehmensplanung GmbH, 2003.

**Библиографическая ссылка:** Вольхин Е.Г. Модели размещения распределительных центров // *Управленец*. 2018. Т. 9. №2. С. 54–60. DOI: 10.29141/2218-5003-2018-9-2-9.

**For citation:** Volkhin Ye.G. Location Models for Distribution Centres. *Upravlenets – The Manager*, 2018, vol. 9, no. 2, pp. 54–60. DOI: 10.29141/2218-5003-2018-9-2-9.