ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОВАРНЫХ ПОТОКОВ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Е.И. Казакова, В.Н. Павлыш

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Донецкая Народная Республика.

kazakova_donetsk@mail.ru pavlyshvn@mail.ru

Аннотация. Разработана комплексная система эффективного управления заказами и поставками в логистической системе. Рассмотрен кибернетический подход в логистических системах. Разработана имитационная модель управления заказами и поставками на и проведена апробация имитационной модели управления заказами и поставками на примере ООО «Мастер-Торг». Установлены зависимости деятельности предприятия от различных факторов. Проведено сравнение кибернетического и системного подходов. С целью обобщения опыта в данном направлении, рассмотрены достоинства и недостатки уже существующих моделей, а также методика их составления. Рассмотрена общая характеристика компании. Произведен анализ внешней среды и конкурентных преимуществ компании, соответственно, проведены Pest – анализ и анализ пяти сил Портера. Результаты проведенных экспериментов позволили установить, что применение метода сопряженных градиентов позволило сократить количество невыполненных заказов в 5 раз. Имитационная модель достаточно точно имитирует рыночный механизм координации заказов и поставок во временном промежутке. Данная разработка рекомендована к применению в дистрибьюторской компании ООО «Мастер-торг». Кроме того, она может быть применена к любой коммерческой компании с учётом корректировки соответствующих ограничений.

Ключевые слова. Логистическая система, имитационная модель, аппроксимация, метод сопряженных градиентов, заказ, поставки.

Система управления заказами и поставками в дистрибьюторском подразделении ООО «Мастер-торг» осуществляется посредством работы трёх отделов: отдела прямых продаж, отдела транспортной логистики и отдела складской логистики.

Функционирование отдела прямых продаж регламентировано технологическим циклом, началом которого является получение плана выполнения работ торговыми представителями. Получив план работ, торговые представители начинают сбор заявок у клиентов, информация о которых содержится в клиентской базе. Данные заказы автоматически переносятся в базу данных 1С, для дальнейшей обработки. При дальнейшем проведении «Заказов покупателя» оператором базы данных заполняется дополнительная информация о товаре, если она присутствует, так же в момент проведения в заказе расставляются цены, учитывающие «вид контрагента» (дилер, опт, розница), либо заполняются специальные цены для контрагента, согласованные дополнительно индивидуальным договором. После выполнения вышеперечисленных требований составляются расходные складские ордера (РСО) которые передаются в отдел транспортной логистики, что и является результатом функционирования отдела прямых продаж [1].

Началом данного технологического процесса является передача информации о заказах из отдела прямых продаж в отдел транспортной логистики. Получив данную информацию, логист формирует

маршрутный лист, в котором включены все расходные складские ордера в статусе «Требование на склад». Так же в маршрутный лист входит дополнительная информация о виде доставки. В самом маршрутном листе расходные складские ордера распределяются по маршрутам, к которым прикрепляется свободный автомобиль. Общий вес товара не должен превышать грузоподъемность автомобиля, при превышении грузоподъемности товар возвращается на перераспределение. После распределения всех расходных складских ордеров, по каждому маршруту составляется погрузочный лист, который содержит информацию об автомобиле, водителе и экспедиторе. Так же дополнительно в погрузочном листе может содержаться информация о последовательности сборки товаров и очередности загрузки автомобилей. Все погрузочные листы печатаются и передаются на склад.

Работа отдела складской логистики начинается после передачи погрузочных листов из отдела транспортной логистики. Погрузочные листы передаются заведующему складом, который в свою очередь распределяет документацию между бригадами передавая её бригадирам. Далее документация распределяется среди сборщиков, устанавливая ответственных за сборку заказов. Следующим этапом является сбор товаров на паллеты, пакетирование и транспортировка на погрузку. Далее кладовщик и экспедитор проверяют сохранность и учёт товаров, параллельно проверенные товары грузятся в автомобили. После

погрузки пакет документов передаётся экспедитору, и автомобиль отправляется к заказчику.

В ходе проведения анализа дистрибьюторской деятельности компании была выявлена неоптимальная координация заказов и поставок, что влечёт за собой уменьшение прибыли компании [2]. С учётом полученных результатов задачей дальнейшего исследования будет оптимизация координации заказов и поставок.

Для достижения максимальной совокупной прибыли необходимы разработки местных (локальных) критериев управления (расчета). Требуется отыскать такие значения объемов заказов Z и поставок P , при которых прибыль окажется максимальной и будут выполнены как условия ограниченности ресурсов, так и условие равновесия в оптимальном временном диапазоне [3;4]. С учётом этих предположений получаем следующую математическую запись задачи:

$$Q(Z, P, t_i) \rightarrow \max \quad (1)$$

При условиях:

$$\begin{aligned} t_{\min} &\leq t \leq t_{\max} \\ w_{\min} &\leq w \leq w_{\max} \\ v_{\min} &\leq v \leq v_{\max} \end{aligned} \quad (2)$$

Роль целевой функции в данном случае играет функция, представляющая собой разность прибыли и издержек компании во временном промежутке:

$$Q = \sum_i (w(Z_i) - v(P_i)) \gamma \rightarrow \max \quad (3)$$

Варьируя в допустимых пределах t , согласно (2), определяется необходимое оптимальное значение Q , как некоторой функции параметров: w – доход, v – издержки при учёте случайной составляющей, характеризующий вероятность выполнения поставщиками принятых на себя обязательств [5;6]. Но функцию цели Q нельзя вычислить аналитически, а можно только посчитать ее значение с помощью моделирования процесса расчета совокупного дохода. Так как функция имеет сложный вид, то для ее максимизации необходимо применять методы оптимизации, которые учитывают сложную структуру функции цели [7;8]. Одним из таких методов является метод сопряженных градиентов в различных модификациях. Его достоинством является то, что он имеет скорость сходимости как метод Ньютона, но в тоже время не требует вычисления вторых производных. Применим данный метод для максимизации функции цели, на переменные которой наложены условия (2). Для описания метода введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} t_1 &\geq t \geq t_2; \\ c_1 &= w_{\min}, c_2 = v_{\min}; \\ d_1 &= v_{\max}, d_2 = w_{\max}; \end{aligned} \quad (4)$$

Запишем в векторной форме

$$\vec{t} = (t_1, t_2)^m; \vec{c} = (c_1, c_2)^m; \vec{d} = (d_1, d_2)^m \quad (5)$$

где m – символ транспонирования.

Обозначим через n количество компонентов вектора $\vec{t}$ (в нашем случае $n = 2$). Тогда задача в новом обозначении выглядит следующим образом: разработать метод максимизации функции, учитывающий условие:

$$c \leq t \leq d \quad (6)$$

Будем считать i -й вектор $\vec{t}^i$ лучше j -го вектора $\vec{t}^j$, если $Q(\vec{t}^i) < Q(\vec{t}^j)$, а $\vec{t}^i$ и $\vec{t}^j$ удовлетворяют (5). Обозначим через I_k – множество индексов компонент вектора $\vec{t}^k$, для которых неравенство (5) удовлетворяется как равенство с одной и другой стороны:

$$I_k = \begin{cases} +i, k_i^k = d_i, i = 1, 2, \dots, n \\ -i, k_i^k = c_i \end{cases} \quad (7)$$

Множество I_k помогает судить о том, какие ограничения выполняются как равенство.

При таких ограничениях метод оптимизации можно описать следующим образом. Выбираем первоначально допустимый вектор $\vec{t}^0$ (например, $\vec{t}^0$ может быть вычислено как $\vec{t}^0 = (c + d)/2$ или $\vec{t}^0 = c$).

Вычисляем $Q(\vec{t}^0)$ и $\nabla Q(\vec{t}^0)$, и обозначим через $q_i^0 = Q(\vec{t}^0)$, $\vec{g}^0 = \nabla Q(\vec{t}^0)$. Так как градиент представляет собой направление наибольшего возрастания функции, в качестве первоначального направления максимизации $\vec{S}^0$, выберем направление, противоположное направлению градиента:

$$\vec{S}^0 = -\vec{g}^0 \quad (8)$$

Пусть k – номер вектора $\vec{t}$. Положим $k = 0$. Если вектор находится на границе, то вектор направления максимизации $\vec{S}^k$ может выходить из допустимой области, который представлен на рисунке 1. Поэтому необходима специальная процедура построения такого вектора максимизации $\vec{S}^k$.

Рис. 1. Построение допустимого направления поиска $\vec{S}^k$.

Например, точка t^0 лежит на двух границах $t_1^0 = c_1$, $t_2^0 = c_2$. Множество индексов $I = \{-1, -2\}$. Вектор $\vec{S}^0$ имеет направление, выходящее из допустимой области. Тогда $\vec{S}^0 = (S^0)$. После того, как выбрано направление максимизации, необходимо выбрать наилучший вектор $\vec{t}^{k+1}$ на данном направлении. Для этой цели служит следующая процедура: определяем максимальный шаг λ^k , который можно сделать в направлении $\vec{S}^k$, не выходя из допустимой области (рисунок 2).

Обозначим через λ_1^k и λ_2^k – шаги, с помощью которых могут быть достигнуты границы c и d :

$$\begin{cases} t^k + \lambda_1^k \cdot \vec{S}^k = c \\ t^k + \lambda_2^k \cdot \vec{S}^k = d \end{cases} \quad (9)$$

Граница будет достигаться при отрицательных компонентах вектора, а граница – при положительных компонентах вектора, представлено на рисунке 9, и определяются из условия:

$$\begin{cases} \lambda_1^k = \max_{s_i^k < 0} \frac{c_i - t_i^k}{S_i^k} \\ \lambda_2^k = \max_{s_i^k > 0} \frac{d_i - t_i^k}{S_i^k} \end{cases} \quad (9)$$

Тогда максимальный шаг λ^k будет равен наименьшему из λ_1^k и λ_2^k :

$$\lambda^k = \min\{\lambda_1^k, \lambda_2^k\}$$

Рис. 2. Определение текущего минимального возможного шага поиска

После того, как найден минимальный шаг λ^k , отыскивается с помощью одномерного поиска лучший вектор на данном направлении $\vec{S}^0$, так как функция Q является функцией одной переменной λ :

$$Q(t^{k+1}) = (t^k + \lambda^k \vec{S}^k) = \max_{0 < \lambda < \lambda^k} Q(t^k + \lambda^k \vec{S}^k)$$

После нахождения вектора $\vec{t}^{k+1}$, необходимо найти направление которое состоит в том, что необходимо учитывать границы допустимой области. Для построения $\vec{S}^{k+1}$ разработана следующая процедура. Находим множество I_{k+1} для вектора $\vec{t}^{k+1}$. Если $I_{k+1} = I_k$, то новое направление находится по формуле:

$$\begin{aligned} \vec{S} &= -\vec{g}^{k+1} + \lambda_k \vec{S}^k \\ \lambda &= \|\vec{g}^{k+1}\| / \|\vec{S}^k\| \end{aligned}$$

Если $I_{k+1} \neq I_k$, то $\vec{S} = -\vec{g}^{k+1}$. Последний случай говорит о том, что мы попали на новые границы допустимой области, поэтому информацию о предыдущих направлениях поиска нет необходимости использовать. После нахождения $\vec{S}^{k+1}$ проверяется следующие условия окончания поиска:

$$\|t^{k+1} - t^k\| \leq \varepsilon_1, |Q^{k+1} - Q^k| \leq \varepsilon_2, \|\vec{S}^{k+1}\| \leq \varepsilon_3$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – заданные точности по вектору $\vec{t}$, по значению функции и по вектору направления, соответственно. Если эти условия выполнены, то происходит окончание процесса максимизации, иначе данный процесс повторяется, начиная с построения $\vec{S}^{k+1}$.

На рисунке 3 приведена диаграмма причинно-следственных связей, отражающая основные изучаемые процессы, составляющие основу дальнейших процедур моделирования.

Рис. 3. Диаграмма причинно-следственных связей

Применение теории системной динамики в процессе моделирования системы управления заказами и поставками в торговом предприятии предполагает проверку адекватности построенной модели реаль-

ным экономическим процессам [9]. На рисунке 4 представлена имитационная модель управления заказами и поставками на примере ООО «Мастер-Торг».

Рис. 4. Имитационная модель управления заказами и поставками на примере ООО «Мастер-Торг»

Данная проверка реализуется путем проведения ряда имитаций, на основе которых проверяется адекватность введенных предположений и допущений относительно среды функционирования предприятий, правильности построения диаграммы причинно-следственных связей и, как следствие, самой модели управления заказами и поставками в виде следующих составляющих ее элементов: уровней модели; функций решений; управляющих параметров или параметров модели, задаваемых извне.

Разработана имитационная модель управления заказами и поставками на примере ООО «Мастер-

Торг». Апробация разработанной модели показала, что при применении метода сопряженных градиентов количество заказов составило 8660, количество обработанных заказов за аналогичный период составило 8240, а количество невыполненных заказов составило 420. При этом используя стандартную стратегию торгового предприятия, учитывая аналогичные условия, количество заказов составило 8660, количество обработанных заказов за аналогичный период составило 6681, а количество невыполненных заказов составило 1979.

Данный процесс достаточно точно имитирует рыночный механизм координации заказов и поста-

вок во временном промежутке. Отдельные шаги соответствуют разработанному и утвержденному торговому циклу. Данная разработка рекомендована к применению в дистрибьюторской компании ООО «Мастер-торг». Кроме того, она может быть применена к любой коммерческой компании с учётом корректировки соответствующих ограничений.

Литература

1. Kazakova E., Kolomutseva A., Panov E., Svetlichnyi M. Features of the information and hierarchical model of enterprise management // Proceeding of 6-th International Conference «Science and Society» Academic Graphics Communications Publishing. Hamilton Vancouver Canada. 2018. – P. 145–150.
2. Казакова Е.И., Михайлович Ф. Особенности оптимизации системы управления заказами и поставками на примере ООО «Мастер-торг» // Весенние дни науки ВШЭМ: Сб. докл. междунар. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых, 17–19 апреля 2019 г. ФГАОУ ВО «УрФУ» имени первого президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2019. – с. 247–251.
3. Kazakova E., Kolomytseva A., Medvedeva M. Interaction Risk Assessment in Partner Entrepreneurial Networks 15th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017, American Institute of Physics Inc., ISBN 978-0-7354-1690-1. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5044042>.
4. Казакова Е.И., Коломыцева А.О. Модельный базис оценки риска взаимодействия в архитектуре партнерской сети // Научный журнал «Информатика и кибернетика». – Д.: ДонНТУ, – 2017. – № 4(10). – С. 52–56.
5. Казакова Е.И. Стохастическая модель оптимального управления при наличии случайных возмущений // Математика в образовании: Сб. статей. Вып. 11 / Под ред. И.С. Емельяновой. – Чебоксары: из-во Чуваш. ун-та, 2015. – с. 155–161.
6. Казакова Е.И. Стохастическая модель оптимального управления неоднородных процессов // Материалы международной конференции «Образование, наука и экономика в ВУЗах. Интеграция в международное образовательное пространство», 20–25 сентября 2010, г. Плоцк, Польша: Wydawnictwo Naukowe, «NOVUH» sp z o.o., – 09–402 Plock, Wyszogrodzka 22a – с. 513–519.
7. Diyschikov A., Kazakova E. Conjugate gradient method under nonlinear restrictions. // BULLETIN d'EUROTALENT – FIDJIP, 2014, Volume 5A, Editions du IPTO, 2014, 11, rue de la Concorde, 10100 Romilly sur Seine (France) – Pp 8–11
8. Казакова Е.И., Костин В.И. Метод сопряженных градиентов при нелинейных ограничениях // Научно методический сборник «Наука-практика» Выпуск №5, Донецк, 2000 – с. 65–77.
9. Kazakova E., Zayarsky I. and Medvedev M. Forecasting of financial flows in business systems taking into account the risk and uncertainty of interaction. AIP Conference Proceedings 2116, 430021(2019); <https://doi.org/10.1063/1.5114458>

IMITATION MODELING OF COMMODITY STREAMS IN THE LOGISTIC DISTRIBUTION SYSTEM

E. Kazakova, V.N. Pavlysh.

Donetsk National Technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic

kazakova_donetsk@mail.ru pavlyshvn@mail.ru

Abstract. A comprehensive system for effective management of orders and deliveries in the logistics system has been developed. The cybernetic approach in logistics systems is considered. A simulation model for order and supply management was developed and a simulation model for order and supply management was tested using the example of Master-Torg LLC. Dependences of the enterprise activity on various factors have been determined. Comparison of the cybernetic and systemic approaches is carried out. In order to generalize the experience in this direction, the advantages and disadvantages of existing models, as well as the methodology for their compilation, are considered. The general characteristics of the company are considered. The analysis of the external environment and competitive advantages of the company was carried out, respectively, Pest was carried out – an analysis and analysis of Porter's five forces. The results of the experiments made it possible to establish that the use of the conjugate gradient method has reduced the number of backorders by 5 times. The simulation model fairly accurately simulates the market mechanism for coordinating orders and deliveries over time. This development is recommended for use in the distribution company Master-Torg LLC. In addition, it can be applied to any commercial company, subject to the adjustment of the corresponding restrictions.

Keywords. Logistic system, simulation model, approximation, conjugate gradient method, order, deliveries.

References

1. Kazakova E., Kolomutseva A., Panov E., Svetlichnyi M. Features of the information and hierarchical model of enterprise management // Proceeding of 6-th International Conference «Science and Society» Academic Graphics Communications Publishing. Hamilton Vancouver Canada. 2018. – P. 145–150. (In English)
2. Kazakova E.I., Mikhailovich F. Peculiarities of optimizing the order and supply management system using the example of Master-Torg Ltd. // Spring days of the Higher School of Economics science: Sat. doc. int. conf. students, graduate students, young scientists, April 17–19, 2019 FSAEI HE “UrFU” named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. – Yekaterinburg: Publishing House of the UMTS UPI, 2019. – p. 247–251. (In Russian)
3. Kazakova E., Kolomytseva A., Medvedeva M. Interaction Risk Assessment in Partner Entrepreneurial Networks 15th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017, American Institute of Physics Inc., ISBN 978–0–7354–1690–1. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5044042>. (In English)
4. Kazakova E.I., Kolomytseva A.O. Model Basis for Interaction Risk Assessment in the Partner Network Architecture // Scientific journal “Informatics and Cybernetics.” – D.: DonNTU, – 2017. – No. 4 (10). – Pp. 52–56. (In Russian)
5. Kazakova E.I. Stochastic model of optimal control with random disturbances // Mathematics in Education: coll. Release 11 / ed. by I.S. Ymelyanova. – Cheboksary: Chuv. Univ. Publishing House. 2015. – Pp. 155–161. (In Russian)
6. Kazakova E.I. Stochastic model of optimal control of heterogeneous processes // Materials of the international conference “Education, Science and Economics in Universities. Integration into the international educational space”, September 20–25, 2010, Plock, Poland: Wydawnictwo Naukowe, “NOVUH” sp z o.o., – 09–402 Plock, Wyszogrodzka 22a. – Pp. 513–519. (In Russian)
7. Diyschkov A., Kazakova E. Conjugate gradient method under nonlinear restrictions. // BULLETIN d'EUROTALENT – FIDJIP, 2014, Volume 5A, Editions du JIPTO, 2014, 11, rue de la Concorde, 10100 Romilly sur Seine (France). – Pp. 8–11. (In English)
8. Kazakova E.I., Kostin V.I. The method of conjugate gradients under nonlinear constraints // Scientific-methodical collection “Science-Practice” Issue No. 5, Donetsk, 2000. – Pp. 65–77. (In Russian)
9. Kazakova E., Zayarsky I. and Medvedev M. Forecasting of financial flows in business systems taking into account the risk and uncertainty of interaction. AIP Conference Proceedings 2116, 430021(2019); <https://doi.org/10.1063/1.5114458> (In English)