

УДК 658.74.018.2:629.331

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

¹Ивахненко А.А., ²Иващук О.А.

¹ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, e-mail: ivakhnenko_aa@inbox.ru;

²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, e-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

В статье проведен анализ основных принципов управления запасами автосервисных предприятий для решения задач повышения конкурентоспособности и рентабельности деятельности. Показано, что логистический подход к управлению ремонтным производством и управлению запасами при техническом обслуживании, ремонте и сервисе автомобилей предполагает тесную взаимосвязь как информационных, так и материальных потоков, существующих на автосервисном предприятии. Определены основные логистические принципы, которые могут повысить эффективность деятельности автосервисных предприятий. Сформулированы выгоды от решения задачи по автоматизации процесса управления материальными запасами. Рассмотрены факторы автоматизации процесса управления для решения оптимизационных задач. Для моделирования эффективности системы управления запасами в статье предлагается обобщенная аналитико-имитационная модель оптимизации управления запасами, которая включает различные стратегии управления и позволяет проводить их сравнительный анализ. Проведена серия модельных экспериментов по анализу эффективности стратегии управления запасами по критерию «минимум – максимум», которая показала практическую возможность решения задач оптимизации. Сформирована зависимость оптимальных значений параметров стратегии от показателей интенсивности спроса. Предложена методика применения разработанной имитационной модели в подсистеме управления запасами автосервисных предприятий.

Ключевые слова: управление запасами, автосервисное предприятие, аналитико-имитационная модель

SIMULATION OF CAR SERVICE COMPANY INVENTORY MANAGEMENT STRATEGIES

¹Ivakhnenko A.A., ²Ivaschuk O.A.

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, e-mail: ivakhnenko_aa@inbox.ru;

²Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

The article analyzes the basic principles of inventory management of car service companies to solve the problems of increasing the competitiveness and profitability of activities. It is shown that the logistic approach to the management of repair production and inventory management in the maintenance, repair and service of vehicles implies a close relationship between both information and material flows that exist at a car service company. The main logistical principles that can increase the efficiency of car service companies are determined. The benefits of solving the problem of automating the inventory management process are formulated. The factors of automation of the control process for solving optimization problems are considered. To model the effectiveness of the inventory management system, the article proposes a generalized analytical and simulation model for optimizing inventory management, which includes various management strategies and allows for their comparative analysis. A series of model experiments was carried out to analyze the effectiveness of the inventory management strategy according to the “minimum – maximum” criterion, which showed the practical possibility of solving optimization problems. The dependence of the optimal values of the strategy parameters on the demand intensity indicators is formed. A technique for applying the developed simulation model in the inventory management subsystem of car service company is proposed.

Keywords: inventory management, car service company, analytical and simulation model

Степень автоматизации управления автосервисного предприятия (АСП) и практическое использование логистических принципов во многом определяет его конкурентоспособность на рынке услуг [1, 2]. Кроме того, использование современных методов автоматизации и оптимизации политики снабжения вместе с методами, базирующимися на описательно-эмпирическом подходе к решению задач принятия решений по управлению, повышает рентабельность его деятельности.

Основным фактором автоматизации управления является объединение всех потоков в единое поле рассмотрения оптимизационных задач [3]. На основе такого инструмента автосервисные предприятия (АСП) могут:

- существенно повысить точность прогноза и выявить наиболее эффективную с точки зрения прибыльности номенклатуру запчастей, узлов и комплектующих (ЗУК);
- спланировать наиболее выгодные по срокам и стоимости поставки ЗУК с учетом реального спроса и сезонности поставок;

– сократить складскую номенклатуру и размеры складов;

– оптимизировать бизнес-процессы.

Естественно, что автоматизация АСП и использование основных логистических принципов могут лишь повысить эффективность его работы [4–6]. Кроме того, одним из основных звеньев логистической цепи является система управления запасами предприятия, которая должна вписываться в общую структуру автоматизированного управления.

Автоматизация управления запасами на автосервисных предприятиях

Производственно-логистическая сеть (рис. 1) естественным образом связана с формированием сбалансированных запасов относительно спроса на определенные позиции номенклатуры ЗУК.

Автоматизация управления запасами при техническом обслуживании, ремонте и сервисе автомобилей предусматривает тесную взаимосвязь информационных и материальных потоков, существующих на АСП. Продвижение логистических принципов позволяет существенно повысить качество обслуживания клиентов и сократить разрыв между ожидаемым клиентом и фактически предоставляемым АСП качеством обслуживания, в свою очередь, положительные отзывы клиентов определяют конкурентоспособность АСП [7–9].

Автосервисные предприятия, выполняющие техническое обслуживание, ремонт и сервис как легковых, так и грузовых автомобилей, получают все более широкое

распространение. Владельцы легковых автомобилей все меньше выбирают вариант самообслуживания, так как сложность современных автомобилей постоянно возрастает [10, 11]. Учитывая высокую стоимость ремонтного оборудования, клиенты отказываются от собственной сервисной базы и пользуются услугами АСП и АРП, что отвечает требованиям клиентов по минимизации стоимости и временных затрат на поддержание подвижного состава в исправном состоянии.

Обобщенная аналитико-имитационная модель оптимизации управления запасами

Одним из базовых вопросов при моделировании функционирования АСП является оценка эффективности его системы управления запасами ЗУК [12, 13]. В связи с этим в работе предложена обобщенная аналитико-имитационная модель оптимизации управления запасами. Основными предположениями и допущениями при разработке имитационной модели являются:

– формальное описание функционирования АСП за планируемый интервал разбивается на n периодов;

– формирование списка транспортных компаний и поставщиков с их условиями взаимодействия, а также и создание графика взаимодействия на выбранном периоде планирования;

– моделирование оборота различной номенклатуры ЗУК с заданным набором показателей (стоимость хранения, цена продажи, закупочная стоимость) на каждом интервале планирования;

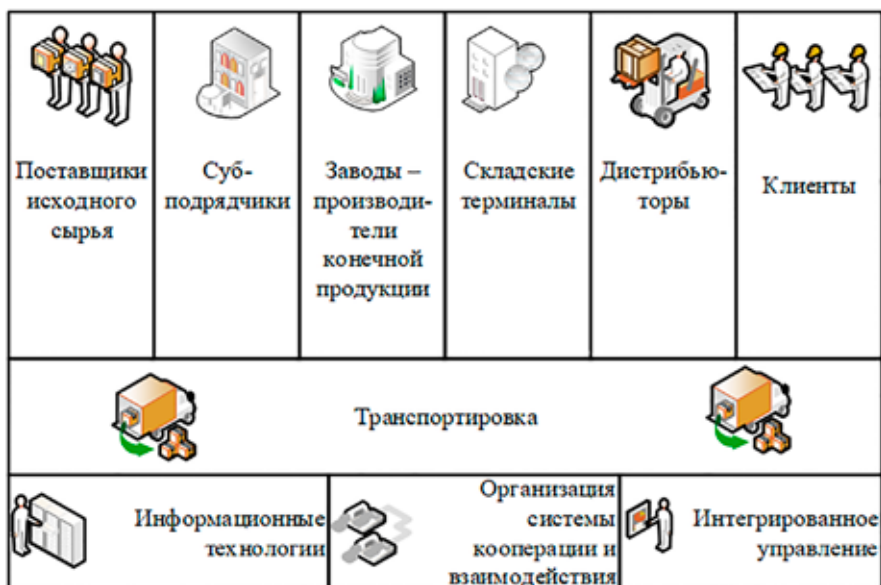


Рис. 1. Производственно-логистическая сеть

– формирование показателей распределений вероятностей для моделирования неопределенности времени поставки ЗУК и моделей рядов спроса на каждую позицию номенклатуры ЗУК;

– решение задачи оценки объемов партий каждой номенклатуры ЗУК на каждом интервале планирования с целью минимизации, общих издержек и возможного объема кредитования.

Входными данными для моделирования системы управления запасами являются: T_{mod} – горизонт планирования; s_{ij} – закупочная цена ЗУК; c_{ij} – стоимость установки ЗУК; F_{ij} – минимальный объем партии поставки у поставщика; s_i – цена хранения i -й позиции ЗУК; g – цена доставки у выбранной компании; L_j^0 – начальные запасы по каждому ЗУК; h_i – штраф за отсутствие (дефицит); Q – размер заказа; τ_j – продолжительность доставки после формирования заказа представляет случайную величину с заданным законом распределения и соответствующими параметрами, которые необходимо оценить в процессе производственного цикла АСП; d_{ij} – спрос на ЗУК; Z_j – случайная величина; Z_j^* – текущий остаток ЗУК.

Интенсивность спроса на отдельные ЗУК в периоде i представляет случайный процесс $\xi_i(t)$ с аргументом t (день), характеристики которого также необходимо оценить в процессе производственного цикла АСП.

Все эти компоненты объединяются в обобщенную аналитико-имитационную модель (рис. 2).

Результатом моделирования и оптимизации должна быть стратегия управления запасами с найденными параметрами, кото-

рая приводит к минимуму ожидаемые производственные издержки АСП [14–16].

Целевой функцией стратегии управления запасами F является минимум общих издержек на хранение запасов с учетом упущенной прибыли из-за нехватки позиции при наличии спроса на нее. Обычно в целевую функцию также входят расходы, которые появляются в случае перебоев поставок.

Результаты исследования и их обсуждение

Естественно, что для различных интенсивностей потоков спроса, расходов на хранение и доставку ЗУК, а также потерь от отсутствия необходимого количества ЗУК для проведения ремонтных работ в текущий момент, одна стратегия поставок ЗУК может быть эффективна, а другая нет [17–19]. Поэтому предлагается использовать всю совокупность основных стратегий управления запасами, а разработанная программно-инструментальная среда может использоваться для оценки оптимальных значений параметров каждой стратегии выбора наиболее рациональной стратегии для текущей ситуации с заказами на АСП.

Стратегия управления запасами «минимум – максимум» $\langle Z_{min}, Z_{max} \rangle$ обычно используется для тех ЗУК, на оформление доставки которых расходы соизмеримы с потерями от дефицита. Это обычно ЗУК с не очень большим спросом. Поэтому запасы пополняются, когда их запасы становятся меньше, чем некоторый установленный уровень (рис. 3). Стратегия управления запасами имеет два значения параметров для ее организации – это минимальный и максимальный объем ЗУК.

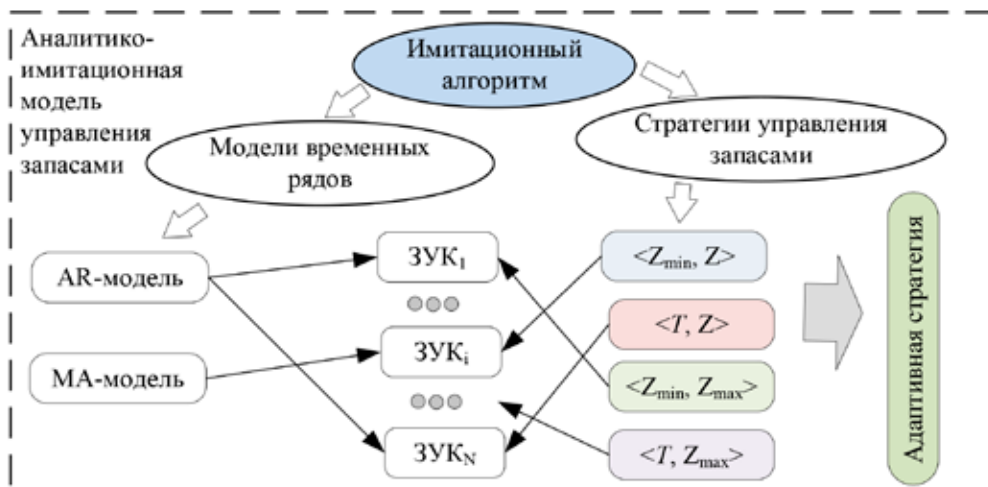


Рис. 2. Структура обобщенной аналитико-имитационной модели

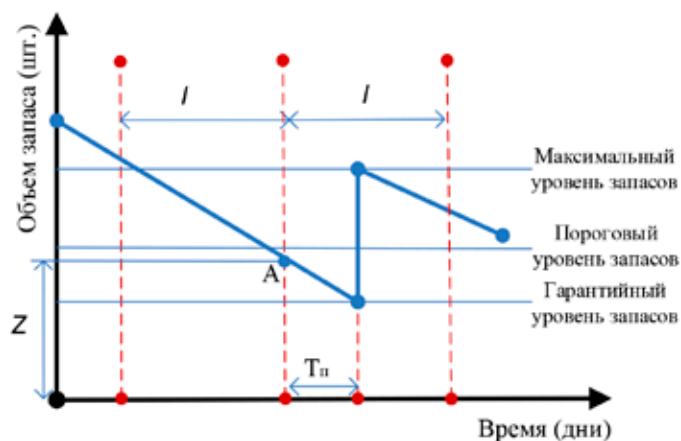


Рис. 3. Движение запасов по стратегии «минимум – максимум»

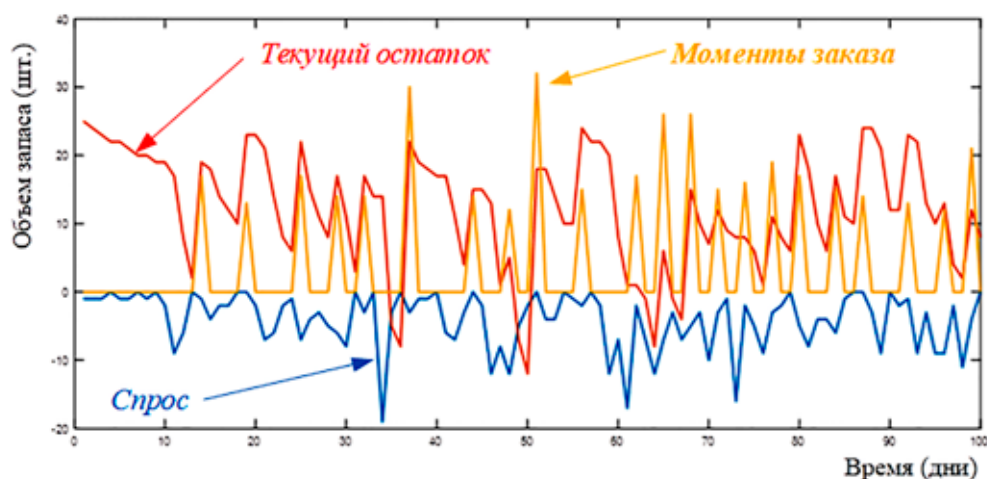


Рис. 4. Выборочная траектория потока спроса, текущих остатков и моментов заказов

Расчет этих параметров стратегии выполняется на основе показателей:

- оборота ЗУК за определенный период;
- промежутка времени между заказами – I ;
- продолжительности реализации заказа – T_p .

Процедура расчета включает шаги:

- сначала определяется дневной расход ЗУК. Выбирается определенный период производственного цикла АСП. Определяется оборот ЗУК на этом периоде. Берется отношение этого оборота к числу рабочих дней;
- гарантированный запас вычисляется как произведения задержки поставки на дневной оборот;
- пороговый уровень вычисляется как произведение дневного оборота на сумму времен поставки и выполнения заказа.

В рамках проведения экспериментов по анализу эффективности стратегии управления запасами «минимум – максимум» в ра-

боте последовательно используется функционал программно-инструментальной среды, который позволяет визуализацию потока спроса вместе с формированием ряда остатков и моментов оформления заявок на доставку очередной партии ЗУК (рис. 4).

В рамках использования процедуры построения временных рядов спроса и остатков можно получить предварительную информацию о некоторых показателях функционирования системы управления запасами.

Для решения задачи оптимизации при заданных параметрах использовалась процедура программно-инструментальной среды, позволяющая в заданной области построить зависимость интегрального критерия в зависимости от выбранного управляемого параметра, определяющего поведение стратегии управления запасами. Моделирование выполнялось для стратегии с параметрами, указанными в таблице.

Параметры Z_{min} и Z_{max} представляют собой точку заказа и максимальный желательный уровень запасов. В ходе моделирования системы управления запасами задача состояла в поиске оптимальных значений точки заказа и максимального желательного уровня запасов. Так, для значения Z_{max} , равного 20, была получена зависимость интегрального критерия от точки заказа, которая имеет минимум (рис. 5).

Однако для более точной оценки значения минимума будем использовать в дальнейшем квадратичную аппроксимацию сразу по нескольким аргументам.

Зафиксировав значения Z_{min} на уровне 12 единиц, получили зависимость интеграль-

ного критерия от максимального желательного заказа, которая также имеет минимум (рис. 6).

Таким образом, в результате моделирования получают и визуально оцениваются оптимальные значения управляемых параметров для каждой отдельной стратегии управления запасами по каждой отдельной позиции ЗУК в зависимости от спроса и ценовых факторов хранения, поставок и упущенной прибыли.

Общая методика использования разработанной обобщенной аналитико-имитационной модели включает 10 шагов.

1. Формирование статистической базы данных потоков потребностей в ЗУК различной номенклатуры.

Значения параметров системы управления запасами

T_{mod}	Z_{min}	Z_{max}	T_n	s	g	h	X_r	mu
365	?	?	3	25	3	250	2	0,2

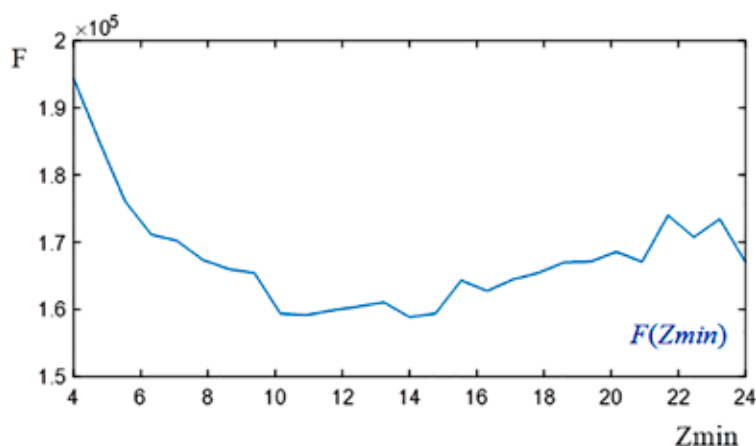


Рис. 5. Значения интегрального критерия в зависимости от точки заказа

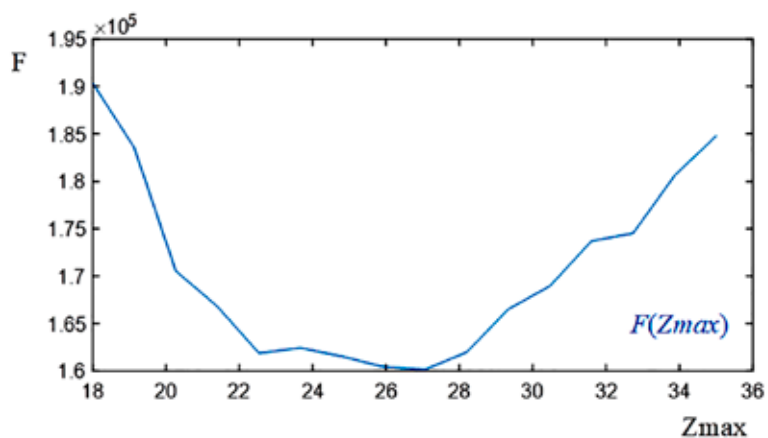


Рис. 6. Значения интегрального критерия в зависимости от максимального желательного объема запасов

2. Многомерный корреляционный и спектральный анализ потоков спроса на отдельные ЗУК.

3. Выбор параметров моделей генерации временных рядов заявок на различные комплекующие.

4. Формирование предположений и гипотез относительно параметризации стратегии управления запасами.

5. Моделирование системы управления запасами для сформированных потоков спроса.

6. Анализ и визуализация результатов для системы поддержки принятия решений по формированию стратегии управления запасами.

7. Построение регрессионных зависимостей оптимальных параметров стратегий управления от интенсивности спроса.

8. Сравнительный анализ эффективности стратегий управления при оптимальных параметрах и выбор наилучшей.

9. Формирование адаптивной стратегии с плавающим диапазоном управляемых параметров стратегии, оценка интегрального критерия при различных ценовых показателях хранения, доставки и дефицита ЗУК, а также значимости этих ценовых факторов на критерий.

10. Выработка управленческих решений по организации работы АСП в плане стратегии управления запасами.

Заключение

Разработана общая структура обобщенной аналитико-имитационной модели системы управления запасами с возможной параметризацией основными стратегиями, включая $\langle Z_{min}, Z \rangle$ – критическая с объемом Z ; $\langle T, Z \rangle$ – периодическая с объемом Z ; $\langle Z_{min}, Z_{max} \rangle$ – критическая до максимального объема Z_{max} ; $\langle T, Z_{max} \rangle$ – периодическая до максимального объема Z_{max} . Предложено использовать адаптивную стратегию с плавающими значениями точки заказа и максимального желательного объема, которые вычисляются на основе прогнозной регрессионной модели на каждом временном интервале между поставками партий ЗУК. Проведен ряд экспериментов на разработанной аналитико-имитационной модели, сделан вывод о том, что для различных интенсивностей потоков спроса, расходов на хранение и доставку ЗУК, а также потерь от отсутствия необходимого количества ЗУК необходимо использовать адаптивную процедуру выбора стратегий управления запасами. Предложена общая методика использования разработанной обобщенной аналитико-имитационной модели, которая может быть использована в подсистеме управления запасами АСП.

Список литературы

1. Аникин Б.А., Тяпухин А.П. Коммерческая логистика: учебник. М.: Проспект, 2018. 377 с.
2. Mandel A., Granin S. Optimization of Inventory Management Process. Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Logistics, Informatics and Service Science (LISS2018). Beijing: IEEE CFP18LIS-CDR, 2018. P. 178–182.
3. Tighazoui A., Turki S., Sauvey C., Sauer N. Optimal design of a manufacturing remanufacturing-transport system within a reverse logistics chain. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2019. Vol. 101. P. 1773–1791. DOI: 10.1007/S00170-018-2945-2.
4. Воронина И.Ф., Судак Ф.М., Подгорный Д.С. Совершенствование методики прогнозирования потребности в запасных частях автомобилей на предприятиях автосервиса // Вести Автомобильно-дорожного института. 2016. № 2. С. 16–22.
5. Tsolakis N., Srari J.S. Inventory planning and control in 'green' pharmacies supply chains – a System Dynamics modelling perspective. In: Computer Aided Chemical Engineering. Elsevier B.V. 2017. Vol. 40. P. 1285–1290. DOI: 10.1016/B978-0-444-63965-3.50216-6.
6. Ullah M., Asghar I., Zahid M., Omair M., AlArjani A., Sarkar B. Ramification of remanufacturing in a sustainable three-echelon closed-loop supply chain management for returnable products. J. Clean. Prod. 2021. 290. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125609.
7. Джонсон Ф., Линдерс М., Фирон Г., Флинн А. Управление закупками и поставками / Пер. с англ. 13-е изд. М.: Юнити-Дана, 2017. 751 с.
8. Wang X., Rodrigues V.S., Demir E. Managing your supply chain pantry: food waste mitigation through inventory control. IEEE Eng. Manag. Rev. 2019. Vol. 47. P. 97–102. DOI: 10.1109/EMR.2019.2915064.
9. Zarta Avila P. La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. Tabula Rasa. 2018. No. 28. P. 409–423. DOI: 10.25058/20112742.N28.18.
10. Горина В.В., Ширяев С.А. Оптимальное размещение готовой продукции в транспортно-складском комплексе на основе ABC-анализа // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 1 (4). С. 375–379.
11. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами / Пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2015. 304 с.
12. Гришин А.Ф., Кочерова Е.В. Статистические модели. Построение, оценка, анализ. М.: Финансы и статистика, 2005. 416 с.
13. Майзнер Н.А., Николаева М.Ю. Складская логистика / Под ред. Н.Ф. Хариной. 4-е изд. Владивосток: ТГЭУ, 2016. 180 с.
14. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. 3-е изд. СПб.: Питер, 2017. 377 с.
15. Ahmed W., Moazzam M., Sarkar B., Ur Rehman S. Synergic effect of reworking for imperfect quality items with the integration of multi-period delay-in-payment and partial back-ordering in global supply chains. Engineering. 2021. No. 7. P. 260–271. DOI: 10.1016/J.ENG.2020.07.022.
16. Zic J., Zic S. Multi-criteria decision making in supply chain management based on inventory levels, environmental impact and costs. Advances in Production Engineering And Management. 2020. Vol. 15. P. 151–163. DOI: 10.14743/APEM2020.2.355.
17. Soto A.V., Chowdhury N.T., Allahyari M.Z., Azab A. & BAKI M.F. Mathematical modeling and hybridized evolutionary LP local search method for lot-sizing with supplier selection, inventory shortage, and quantity discounts. Computers & Industrial Engineering. 2017. Vol. 109. P. 96–112.
18. Takeda Berger S.L., Tortorella G.L., Frazzon E.M. Simulation-based analysis of inventory strategies in lean supply chains. IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. P. 1453–1458. DOI: 10.1016/J.IFACOL.2018.08.310.
19. Wu W., Zhou W., Lin Y., Xie Y., Jin W. A hybrid meta-heuristic algorithm for location inventory routing problem with time windows and fuel consumption. Expert Syst. Appl. 2021. № 166. DOI: 10.1016/J.ESWA.2020.114034.