

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Научная статья

УДК 629.33: 519.876.5

DOI: 10.36535/0236-1914-2022-07-6

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА КАК ПЕРВИЧНОГО ЗВЕНА СИСТЕМЫ ОБРАТНОЙ ЛОГИСТИКИ

Буйвол Полина Александровна, Макарова Ирина Викторовна

(Набережночелнинский институт Казанского федерального университета, Россия)

skyeyes@mail.ru, PABujvol@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5241-215X>

kamIVM@mail.ru, IrVMakarova@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6184-9900>

Аннотация. Повышенное потребление, истощение природных ресурсов обусловили появление такой концепции, как циркулярная экономика, одним из основных принципов которой является повторное использование или ремонт. Это требует создания эффективной логистической системы для перемещения обратных логистических потоков. Несмотря на большое количество исследований, малая часть из них учитывает стохастический характер протекающих в данной системе процессов. Поэтому целью исследования является разработка имитационной модели сервисного центра, являющегося первичным звеном, образующим обратный логистический поток и являющегося промежуточным складом хранения восстановленных деталей. Данная модель может рассматриваться как инструмент принятия решений при организации обратной логистической сети в рамках системы сервиса автомобилестроительного предприятия. Результаты проведенного оптимизационного эксперимента свидетельствуют о целесообразности использования модели.

Ключевые слова: сервис автомобилей, сервисный центр, имитационная модель, обратная логистика, восстановление деталей.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06008 \ 21.

Для цитирования: Буйвол П.А., Макарова И.В. Имитационная модель сервисного центра как первичного звена системы обратной логистики // «ТРАНСПОРТ: Наука, Техника, Управление». Научный информационный сборник. 2022. № 7. С. 32-38. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-07-6.

AUTOMOBILE TRANSPORT

Scientific article

SERVICE CENTER SIMULATION MODEL AS THE PRIMARY ELEMENT OF THE REVERSE LOGISTICS SYSTEM

Buyvol Polina A., Makarova Irina V.

(Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia)

skyeyes@mail.ru, PABujvol@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5241-215X>

kamIVM@mail.ru, IrVMakarova@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6184-9900>

Abstract. Increased consumption, depletion of natural resources led to the emergence of such a concept as a circular economy, one of the main principles of which is reuse or repair. This requires the creation of an efficient logistics system for moving reverse logistics flows. Despite a large number of researches, a small part of them takes into account the stochastic nature of the processes occurring in a given system. Therefore, the aim of our research is to develop a service center simulation model, which is the primary element that forms the reverse logistics flow and is an intermediate warehouse for storing restored parts. This model can be considered as a decision-making tool for organizing a reverse logistics network within the service system of an automotive enterprise. The results of the optimization experiment carried out testify to the expediency of using the model.

Keywords: Vehicle service, service center, simulation model, reverse logistics, spare parts restoration.

Acknowledgements. The reported study was funded by RFBR, project number 19-29-06008 \ 21.

For citation: Buyvol P.A., Makarova I.V. Service center simulation model as the primary element of the reverse logistics system // «TRANSPORT: Science, Equipment, Management». Scientific Information Collection. 2022. № 7. P. 32-38. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-07-6.

Введение

Рост потребления, истощая природные ресурсы планеты, приводит к экологическим проблемам, связанным с образованием отходов, загрязнением окружающей среды, а также климатическим изменениям. Для решения этих вызовов планетарного масштаба предпринимаются усилия по оптимизации процессов во всех сферах деятельности, что связано с появлением таких экономических концепций, как зеленая, шеринговая и циркулярная модели экономики, а также осознанное потребление. Одним из основных принципов экономики замкнутого цикла является повторное использование или ремонт, что требует создания эффективной логистической системы для перемещения прямых и обратных потоков, известной как замкнутая логистическая сеть. Актуальность этого направления особенно характерна для автомобильной отрасли, поскольку на фоне роста автомобилизации населения, вызванной урбанизацией и потребностью в мобильности, стремительного развития мировой экономики и постоянного роста проблем окружающей среды, существенно повышается экономическая, ресурсная и экологическая ценность отслуживших свой срок автомобилей, которые составляют существенную часть «городского минерального сырья».

Обратная логистика: обзор состояния вопроса

В литературе можно найти несколько определений понятия «обратная логистика». Как отмечено в [1], одним из наиболее полных является определение, данное Европейской рабочей группой по обратной логистике, REVLOG, которая определила RL как «процесс планирования, реализации и контроля обратных потоков сырья, производственных запасов, упаковки и готовой продукции от места производства, распределения или использования до точки восстановления или надлежащей утилизации».

Методы и инструменты, применяемые при организации системы обратной логистики

Анализ литературы показывает, что принятие решений по развитию системы обратной логистики включает разные этапы, в том числе определение состава обратного материального логистического потока [2]; поиск оптимального расположения субъектов логистической сети [3]; определение способа и параметров перевозки [4]; организация перевозки с применением новых технологий и принципов зеленой логистики [5,6]; оптимизация обратной логистической цепочки с применением различных методов и моделей [7,8].

Особенностями обратных логистических потоков является нестационарность процесса их формирования, вызванная как их неоднородностью, так и расположением точек выхода потока [9]. В конце проведенного исследования авторы [10] пришли к выводам о том, что текущие работы обычно не учитывают факторы, влияющие на характеристики возврата продукта в их совокупности, а для прогнозирования параметров системы обратной логистики используются несколько методов и методологий, принятых для прогнозирования

прямой цепочки поставок. При этом при решении задачи определения динамического размера партии, изготовленная и восстановленная продукция не различается, предполагается, что суммы спроса на новую и восстановленную продукцию известны для всех периодов горизонта планирования, не учитывается то, что восстановленная продукция может не иметь достаточного качества для вторичного использования. Поэтому существует потребность в разработке комплексной модели прогнозирования обратной логистики, которая учитывала бы государственные правоприменительные меры, стратегию компании, поведение покупателя и предикторы, основанные на цене продукта.

Хотя в литературе, посвященной проектированию сетей обратной логистики, а также сетей с замкнутым циклом, признается существование неопределенностей, применяются, главным образом, аналитические методы и редко имитационные модели [11,12]. В случае применения методов прямой логистики для замкнутых цепей поставок они должны быть модифицированы с учетом вышеуказанных особенностей.

Развитие системы обратно логистики в автомобильной отрасли

Согласно опроса 58 компаний, проведенного авторами исследования [13], отраслю, которая, скорее всего, будет применять RL, является автомобильная промышленность с процентной долей 22,4%. Наиболее применимыми вариантами восстановления являются повторное использование и восстановление с процентной долей 25,8%. Наконец, 22,50% компаний предпочитают отдавать деятельность по восстановлению на аутсорсинг.

Автомобильная отрасль имеет свою специфику при организации системы обратной логистики: запасные части для вторичного использования появляются в результате оказания сервисных услуг, часть из которых после восстановления также используется при ремонте автомобилей. Мы не нашли исследований, касающихся организации восстановления дефектных деталей, которые в большом количестве возникают непосредственно во время эксплуатации автомобиля.

Учитывая важность представленной проблемы, а также ограниченное число исследований по представленной тематике, нами была поставлена цель – разработать имитационную модель сервисного центра, учитывающую стохастический характер обратного логистического потока и являющуюся первичным звеном и промежуточным складом хранения. Как показано в [1,15] имитационное моделирование с успехом позволяет учесть неопределенность характеристик, имеющих в любой системе.

1 Имитационная модель сервисного центра

В среде AnyLogic была построена модель сервисного центра фирменной сети с применением гибридного подхода. Для моделирования сервисных технологических процессов, описание которых будет дано ниже, используется дискретно-событийный подход (Рис. 1).

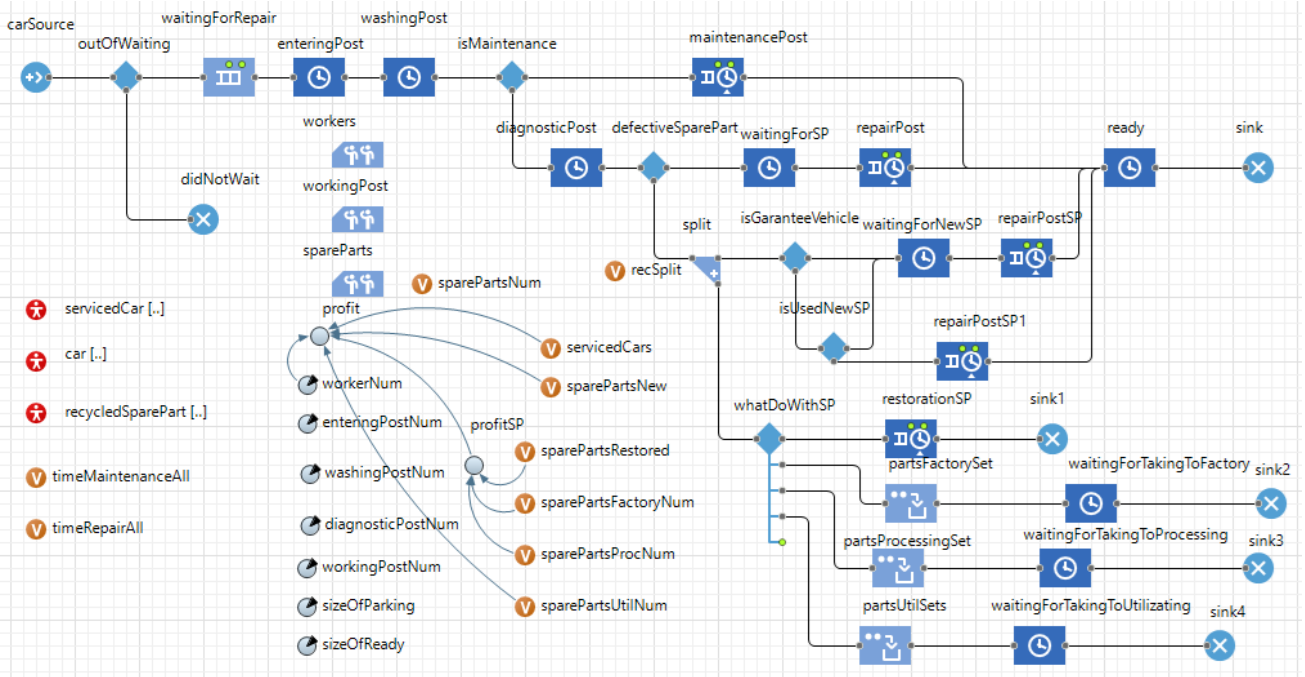


Рис. 1. Структура агента Main

Также используется агентный подход. В качестве агентов рассматриваются автомобиль в эксплуатации, автомобиль, подлежащий ремонту или техническому обслуживанию в сервисном центре, восстановленные дефектные запасные части, идущие на ремонт. В рамках агента Car используются элементы системной динамики для моделирования жизненного цикла транспортного средства (Fig. 2). При старте модели для каждого агента на основе заданной вероятности определяется, является ли он гарантийным или нет. Далее в зависимости от этого генерируется текущий пробег и

пробег, на котором произойдет поломка. Текущий пробег записывается в накопитель currentMileage. С помощью накопителя longLife и перехода mileagePerHour имитируется увеличение пробега автомобиля в зависимости от установленной скорости движения. Агент изначально пребывает в состоянии isWorking. Переход в состояние needMaintenance осуществляется с заданной периодичностью технического обслуживания по мере увеличения пробега. Когда пробег достигает предельного (longLife) агент переходит в состояние isDeath.

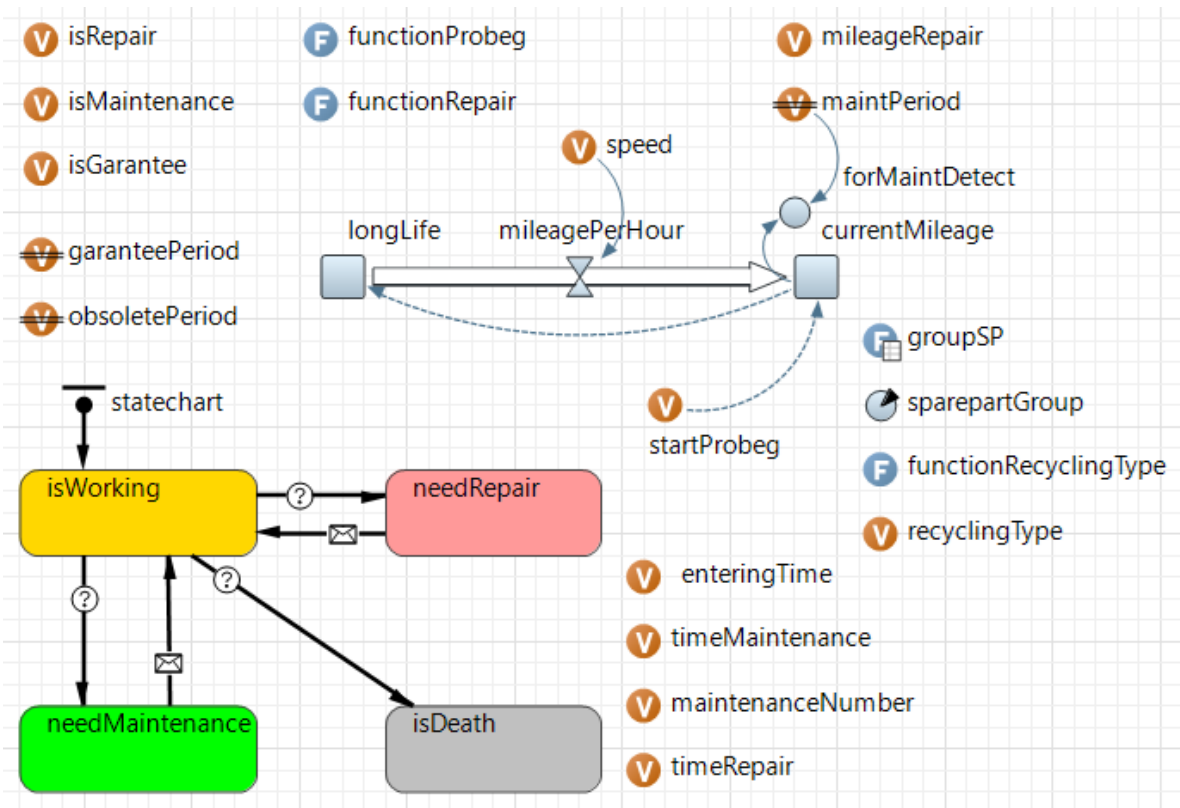


Рис. 2. Структура и состав класса Car

Переход из работоспособного состояния в состояние needRepair определяется установленными зависимостями вероятности отказа автомобиля от пробега. При этом пробег всего жизненного цикла делится на 3 этапа: период приработки, период штатной эксплуатации и период устаревания (Рис.2). Для второго периода зависимость вероятности отказа автомобиля от пробега задается равномерным законом распределения, для первого и третьего – экспоненциальными.

После окончания сервисных работ посылается сообщение соответствующему агенту, и он переходит из состояний needMaintenance или needRepair в рабочее.

В автомобильной отрасли стохастический характер процессов системы обратной логистики проявляется в значительной мере, что обусловлено длительностью этапа эксплуатации автомобиля. Поскольку надёжность автомобиля определяется надёжностью его компонентов, то важно иметь в виду, какие из деталей могут потребовать ремонта или замены. Важно также знать, какие из них могут быть отремонтированы, какие восстановлены, а какие можно отправить на предприятие для вторичной переработки. Эти данные, в совокупности с видео-возрастной структурой автомобильного парка,

служат исходной информацией при задании параметров имитационной модели. Таким образом, обратные логистические потоки связывают систему сервиса с производственной системой.

Главным параметром, имеющим стохастическую природу в нашем случае, является объем дефектных деталей, которые образуются при возникновении отказа автомобиля. Поэтому для эффективного планирования и координации деятельности замкнутых логистических цепочек необходимо как можно более точно установить характер отказов. Чтобы решить данную проблему, территория Республики Казахстан, которая охватывается логистической сетью, была поделена на районы в соответствии с категориями условий эксплуатации, характеризующимися типом дорожного покрытия, типом рельефа местности, температурой и влажностью воздуха. Для каждого района на основе статистических данных об обращениях владельцев автомобилей в сервисные центры в гарантийный период были построены зависимости вероятности отказа автомобиля от величины пробега. Результаты, полученные для этапа приработки, показаны на рис.3.

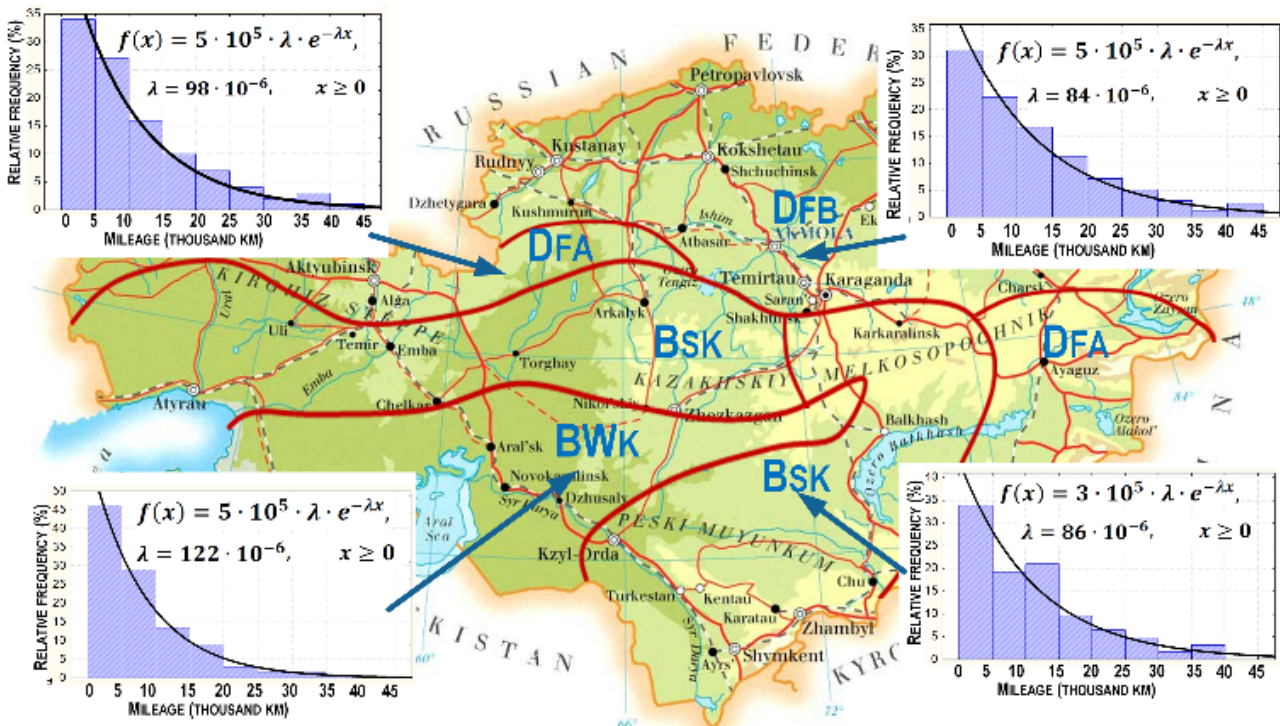


Рис. 3. Законы распределения отказов в разрезе зон эксплуатации

При обращении автомобиля в сервисный центр он либо проезжает на пост приемки, либо попадает на стоянку для ожидания. В случае отсутствия свободных мест на последней, покидает систему. После поста приемки, на котором оформляются соответствующие документы о факте обращения автомобиля в сервисный центр, автомобиль подвергается уборочно-моечным работам на посту мойки. Далее в зависимости от состояния агента (требуется техническое обслуживание или требуется ремонт) выбирается в развилке вид технологического процесса: либо автомобиль попадает на ремонтный пост для прохождения технического обслуживания либо его

направляют на дефектовку на посту диагностики с последующим ремонтом на посту.

В случае обращения автомобиля в сервисный центр для проведения текущего ремонта проводятся смазочно-регулирующие, контрольно – диагностические, смазочно-заправочные работы, а также в определенном проценте случаев – операции замены и образуются неисправные запасные части (для ремонта в условиях сервисного центра, восстановления на заводе-изготовителе, и для переработки), которые согласно принципам «круговой экономики» необходимо использовать повторно.

Поскольку компоненты автомобиля неоднородны как по материалу, из которого изготовлены, так и по возможности разборки конструкции, определяемой показателем ремонтпригодности, для каждой группы деталей определили возможность восстановления в сервисной сети, отправки на завод для восстановления, либо отправки на переработку с дальнейшим применением в качестве вторичного сырья, либо же утилизации [16]. Детали, предназначенные для восстановления на заводе-изготовителе, для переработки и утилизации хранятся на складе до тех пор, пока не накопится определенное их количество, и затем партией отправляются в соответствующее предприятие.

Дефектные детали восстанавливаются ремонтными рабочими и ставятся на автомобили, уже снятые с гарантии. При этом, в модели задается процент владельцев, которые все же предпочитают использование новых запасных частей вместо восстановленных, поскольку как показано в документе [17] некоторые клиенты считают, что восстановленные продукты уступают по качеству новым и необходима сегментация рынков новой и восстановленной продукции.

В качестве целевой функции используется получаемая сервисным центром прибыль от оказания сервисных услуг, складывающаяся из прибыли от осуществления ремонтной деятельности и продажи использованных при этом новых и восстановленных запасных частей, сдачи дефектных деталей на переработку. В качестве затрат выступают средства, идущие на выплату заработной платы ремонтным рабочим, обеспечение работоспособности оборудования, на утилизацию дефектных деталей.

Результаты: проведение компьютерного эксперимента

Разработанная имитационная модель была апробирована для оценки возможности организации восстановления дефектных деталей в рамках существующего сервисного центра. Был спланирован оптимизационный эксперимент с максимизацией вышеописанной целевой функции. При этом накладываются ограничения на минимальную степень загрузки рабочих и оборудования, чтобы избежать необоснованных простоев. Уровень загрузки не должен быть ниже 0,8. Размер прикрепленного парка составляет 987 автомобилей. Использовался встроенный в AnyLogic оптимизатор OptQuest, который автоматически находит лучшие значения параметров модели с учетом заданных ограничений. Количество запусков модели 500. Проведенный оптимизационный эксперимент с варьированием таких параметров как число ремонтных постов, постов готовых автомобилей и ремонтных рабочих от 1 до 20 (с шагом 1) позволил при заданном размере парка найти оптимальные параметры работы при организации в рамках сервисного центра обратного логистического потока (Рис. 4). Для эффективной организации восстановления дефектных деталей требуется 9 рабочих постов, 2 места для хранения готовых к выдаче автомобилей, 12 ремонтных рабочих. При этом восстанавливаются все дефектные детали, подлежащие восстановлению в рамках сервисного центра и получаемая прибыль оценивается в 856 000 руб.

ServiceStation : Optimization

	Current	The best
Iteration:	500 <small>not a valid solution</small>	386
Functional: ↑	434,000	856,000
Parameters		<input type="button" value="Copy best"/>
workingPostNum	14	9
sizeOfReady	1	2
workerNum	5	12

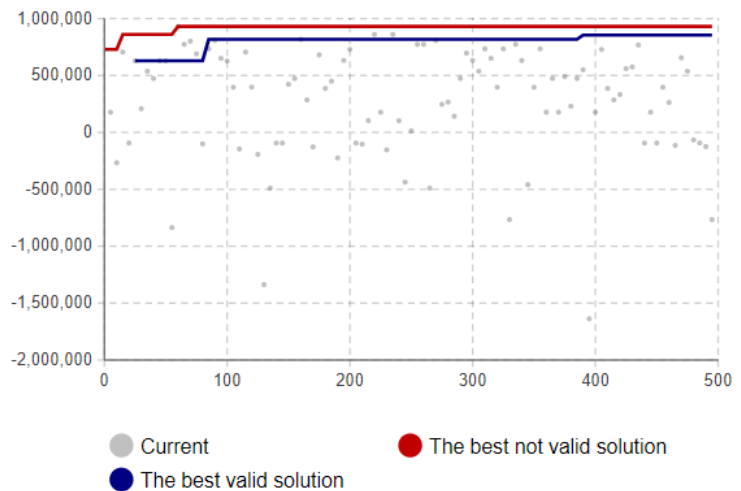


Рис. 4. Результаты оптимизационного эксперимента

Таким образом, разработанная имитационная модель сервисного центра, где образуется обратный логистический поток и находится промежуточный склад хранения, может рассматриваться как инструмент принятия решений при организации обратной логистической сети в системе фирменного сервиса автомобилестроительного предприятия. Это является важным шагом для реализации принципов устойчивого развития автомобильной промышленности, позволяя использовать дефектные запасные части повторно и снизить количество потребляемых природных ресурсов.

Заключение

В эпоху растущего потребления для реализации устойчивого развития актуальной становится задача расширения концепции повторного использования, которая должна быть реализована в рамках системы обратной логистики. Анализ существующих исследований показал, что они в основном предлагают математические модели для решения задач по организации системы обратной логистики. Поскольку в этом случае невозможно в полной мере учесть стохастический характер возникновения дефектных деталей, была построена

имитационная модель сервисного центра, являющегося первичным звеном замкнутой цепи поставок в системе фирменного сервиса автомобилестроительного предприятия. Проведение компьютерного эксперимента на модели с варьированием таких параметров как количество постов и ремонтных рабочих позволяет найти максимум целевой функции – прибыли предприятия.¹

Список источников

1. Kazemi, N. A review of reverse logistics and closed loop supply chain management studies published in IJPR: a bibliometric and content analysis /N. Kazemi, N.M. Modak, K. Govindan // *International Journal of Production Research*. 2019. №57 (15-16). С. 4937-4960.
2. Demirel, E. A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey / E. Demirel, N. Demirel, H. Gökçen // *Journal of Cleaner Production*. 2016. №112 (3). С. 2101-2113.
3. Wang, B. Optimization of Electronic Waste Recycling Network Designing / B. Wang, and H. Li // 2020 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT). 2020. С. 368-371.
4. Widjaja, A. T. Incorporating a Reverse Logistics Scheme in a Vehicle Routing Problem with Cross-Docking Network: A Modelling Approach / A. T. Widjaja, A. Gunawan, P. Jodiawan, V. F. Yu // 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). 2020. С. 854-858.
5. Fahimnia, B. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis / B. Fahimnia, J. Sarkis, H. Davarzani // *International Journal of Production Economics*. 2015. № 162. С.101-114.
6. Santos, M.J. The vehicle routing problem with backhauls towards a sustainability perspective: a review / M.J. Santos, P. Amorim, A. Marques et al. // *TOP*. 2020. № 28. С. 358–401.
7. Wanganoo, L. Streamlining Reverse Logistics through IoT driven Warehouse Management System // 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO). 2020. С. 854-858.
8. Morales-Plaza, A. Waste Management Model Based on Reverse Logistics and 5S for the Generation of Biomass in the Fresh Fruit Industry / A. Morales-Plaza, R. Vicuña-Izquierdo, M. Pérez-Paredes, C. Raymundo-Ibañez, J. M. Moguerza // 2020 9th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM). 2020. С. 11-15.
9. Fleischmann, M. The impact of product recovery on logistics network design / M. Fleischmann, P. Beullens, J. M. Bloemhof-Ruwaard, L. N. V. Wassenhove // *Production and Operations Management*. 2001. № 10. С.156–173.
10. Hachimi, H. E. The optimization of Reverse Logistics activities: A Literature Review and Future Directions / H. E. Hachimi, M. Oubrich, O. Souissi // 2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions. 2018. С. 18-24.
11. Logistics systems: design and optimization. Edited by Andre Langevin and Diane Riopel. Springer US. 2005. 388 с.
12. Akçalı, E. Network design for reverse and closed loop supply chains: An annotated bibliography of models and solution approaches / E. Akçalı, S Çetinkaya., H. Üster // *Networks*. 2009. № 53. С. 231–248.
13. Hadji, S. Reverse Logistics Activities in Morocco: Survey / S. Hadji, S. Abid, F. Z. Mhada // 2019 4th World Conference on Complex Systems (WCCS). 2019. С. 1-6.
14. Shubenkova, K. Ways to improve the efficiency of the truck's branded service system / K. Shubenkova, P. Buyvol, I. Makarova, L. Gabsalikhova // *VEHITS 2020 - Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*. 2020. С. 673 – 680.
15. Makarova, I. Automotive enterprises flow production improvement based on the management process intellectualization / I. Makarova, P. Buyvol, K. Shubenkova, A. Pashkevich // *DISA 2018 - IEEE World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines, Proceedings*. 2018. С. 115 – 118.
16. Makarova, I. The Role of Reverse Logistics in the Transition to a Circular Economy: Case Study of Automotive Spare Parts Logistics /, I. Makarova, K. Shubenkova, P. Buyvol, V. Shepelev, and A. Gritsenko // *FME TRANSACTIONS*. 2021. № 49 (1). С. 173-185.
17. Tombido, L. The impact of a substitution policy on the bullwhip effect in a closed loop supply chain with remanufacturing / L. Tombido., I. Baihaqi // *Jnl Remanufactur*. 2020.№ 10. С.177–205.

References

1. Kazemi, N. A review of reverse logistics and closed loop supply chain management studies published in IJPR: a bibliometric and content analysis /N. Kazemi, N.M. Modak, K. Govindan // *International Journal of Production Research*. 2019; (57): 4937-4960.
2. Demirel, E. A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey / E. Demirel, N. Demirel, H. Gökçen // *Journal of Cleaner Production*. 2016; (112 (3)): 2101-2113.
3. Wang, B. Optimization of Electronic Waste Recycling Network Designing / B. Wang, and H. Li // 2020 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT). 2020: 368-371.
4. Widjaja, A. T. Incorporating a Reverse Logistics Scheme in a Vehicle Routing Problem with Cross-Docking Network: A Modelling Approach / A. T. Widjaja, A. Gunawan, P. Jodiawan, V. F. Yu // 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). 2020: 854-858.
5. Fahimnia, B. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis / B. Fahimnia, J. Sarkis, H. Davarzani // *International Journal of Production Economics*. 2015; (162): 101-114.

¹ ©Буйвол П. А., Макарова И.В., 2022.

6. Santos, M.J. The vehicle routing problem with backhauls towards a sustainability perspective: a review / M.J. Santos, P. Amorim, A. Marques et al. // TOP. 2020; (28): 358–401.
7. Wanganoo, L. Streamlining Reverse Logistics through IoT driven Warehouse Management System // 2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO). 2020: 854–858.
8. Morales-Plaza, A. Waste Management Model Based on Reverse Logistics and 5S for the Generation of Biomass in the Fresh Fruit Industry / A. Morales-Plaza, R. Vicuña-Izquierdo, M. Pérez-Paredes, C. Raymundo-Ibañez, J. M. Moguerza // 2020 9th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM). 2020: C. 11–15.
9. Fleischmann, M. The impact of product recovery on logistics network design / M. Fleischmann, P. Beullens, J.M. Bloemhof-Ruwaard, L. N. V. Wassenhove // Production and Operations Management. 2001; (10): 156–173.
10. Hachimi, H. E. The optimization of Reverse Logistics activities: A Literature Review and Future Directions / H. E. Hachimi, M. Oubrich, O. Souissi // 2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions. 2018: 18–24.
11. Logistics systems: design and optimization. Edited by Andre Langevin and Diane Riopel. Springer US. 2005. 388 с.
12. Akçalı, E. Network design for reverse and closed loop supply chains: An annotated bibliography of models and solution approaches / E. Akçalı, S Çetinkaya., H. Üster // Networks. 2009; (53): 231–248.
13. Hadji, S. Reverse Logistics Activities in Morocco: Survey / S. Hadji, S. Abid, F. Z. Mhada // 2019 4th World Conference on Complex Systems (WCCS). 2019: 1–6.
14. Shubenkova, K. Ways to improve the efficiency of the truck's branded service system / K. Shubenkova, P. Buyvol, I. Makarova, L. Gabsalikhova // VEHTS 2020 - Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. 2020: 673 – 680.
15. Makarova, I. Automotive enterprises flow production improvement based on the management process intellectualization / I. Makarova, P. Buyvol, K. Shubenkova, A. Pashkevich // DISA 2018 - IEEE World Symposium on Digital Intelligence for Systems and Machines, Proceedings. 2018: 115 – 118.
16. Makarova, I. The Role of Reverse Logistics in the Transition to a Circular Economy: Case Study of Automotive Spare Parts Logistics / I. Makarova, K. Shubenkova, P. Buyvol, V. Shepelev, and A. Gritsenko // FME TRANSACTIONS. 2021; (49(1)): 173–185.
17. Tombido, L. The impact of a substitution policy on the bullwhip effect in a closed loop supply chain with remanufacturing / L. Tombido., I. Baihaqi // Jnl Remanufactur. 2020; (10): 177–205.

Информация об авторах

Буйвол П.А. – кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры «Сервис транспортных систем»;

Макарова И.В. – доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Сервис транспортных систем».

Information about the author

Buyvol P. A. – Ph. D. (Tech.), Associate Professor of the department "Transport system service";

Makarova I. V. – Dr. (Tech.), Professor, Head of the department "Transport system service".

Статья поступила в редакцию 10.03.2022, одобрена после рецензирования 30.04.2022, принята к публикации 15.05.2022.

The article was submitted 10.03.2022, approved after reviewing 30.04.2022, accepted for publication 15.05.2022.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.