

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК



Том 20, Выпуск №2 (107)
2023



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТА РУТ (МИИТ)



ИНСТИТУТ
УПРАВЛЕНИЯ
И ЦИФРОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Логистика и управление цепями поставок

2023 Том 20, выпуск 2 (107)

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научно-электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Розенберг И.Н. д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН (Россия)
Кузьмин Д.В. к.т.н., доцент (Россия)
Аврамович З.Ж. д.т.н., профессор (Сербия)
Апатцев В.И. д.т.н., профессор (Россия)
Багинова В.В. д.т.н., профессор (Россия)
Баранов Л.А. д.т.н., профессор (Россия)
Бекжанова С.Е. д.т.н., профессор (Казахстан)
Бородин А.Ф. д.т.н., профессор (Россия)
Вакуленко С.П. к.т.н., профессор (Россия)
Герامي В.Д. д.т.н., профессор (Россия)
Дыбская В.В. д.э.н., профессор (Россия)
Заречкин Е.Ю. к.филос.н. (Россия)
Илесалиев Д.И. д.т.н., профессор (Узбекистан)
Корнилов С.Н. д.т.н., профессор (Россия)
Мамаев Э. А. д.т.н., профессор (Россия)
Петров М.Б. д.т.н., профессор (Россия)
Рахмангулов А.Н. д.т.н., профессор (Россия)
Сергеев В.И. д.э.н., профессор (Россия)
Сидоренко В.Г. д.т.н., профессор (Россия)

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор:

Розенберг Игорь Наумович

Заместитель главного редактора:

Кузьмин Дмитрий Владимирович

Редакционный совет:

Апатцев Владимир Иванович
Багинова Вера Владимировна
Баранов Леонид Аврамович
Вакуленко Сергей Петрович
Заречкин Евгений Юрьевич

Компьютерная верстка:

Мусатов Дмитрий Вадимович

© ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК

Учредитель - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9)

Адрес редакции: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ГУК-1, ауд. 1203

Тел: +7 (495) 684 - 29 - 07

URL: <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

E-mail: transportjournal@yandex.ru

Журнал выходит 4 раза в год. Номер подписан в печать 25.07.2023. Тираж 150 экземпляров. Отпечатано с оригинал-макета в типографии Юридического института МИИТ, 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр.9

* Изображение на обложке сгенерировано нейронной сетью Kandinsky 2.1 по запросу «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов»

Logistics and Supply Chain Management

2023 Vol. 20, Iss. 2 (107)

The full texts in Russian and key information in English are also available at the Website of the Russian scientific electronic library at <https://www.elibrary.ru> (upon free registration).

Journal web-site - <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

EDITORIAL BOARD

Igor N. Rozenberg, D.Sc. (Eng), Professor, Corresponding member of the RAS (Russia)

Dmitry V. Kuzmin, PhD, Associate Professor (Russia)

Zoran J. Avramovich, D.Sc. (Eng), Professor (Serbia)

Vladimir I. Apattsev, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Vera V. Baginova, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Leonid A. Baranov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Saule E. Bekzhanova, D.Sc. (Eng), Professor (Kazakhstan)

Andrey F. Borodin, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Sergey P. Vakulenko, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Victoria D. Gerami, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Valentina V. Dybskaya, D.Sc. (Econ), Professor (Russia)

Evgeny Y. Zarechkin, PhD, (Ph), (Russia)

Daurenbek I. Ilesaliev, D.Sc. (Eng), Professor (Uzbekistan)

Sergey N. Kornilov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Enver A. Mamaev, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Mikhail B. Petrov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Alexander N. Rakhmangulov, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

Victor I. Sergeev, D.Sc. (Econ), Professor (Russia)

Valentina G. Sidorenko, D.Sc. (Eng), Professor (Russia)

EDITORIAL OFFICE

Editor-in-Chief:

Rozenberg N. Igor

Deputy Editor-in-Chief:

Kuzmin V. Dmitry

Editorial Board:

Vladimir I. Apattsev

Vera V. Baginova

Leonid A. Baranov

Sergey P. Vakulenko

Evgeny Y. Zarechkin

Dmitry V. Kuzmin

Computer layout:

Dmitrii V. Musatov

© LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Founder - Federal state autonomous educational institution of higher education «Russian University of Transport» (127994, Moscow, Obraztsova STR., 9, building 9,)

Editorship address: 127994, Moscow, Obraztsova STR., 9, building 9, office 1203

Phone number: +7 (495) 684 - 29 - 07

URL: <http://www.lscm.ru/index.php/ru/>

E-mail: transportjournal@yandex.ru

The journal is published 4 times a year. The number was signed to the press on 25/07/2023. The circulation is 150 copies.

Printed from the original layout in the printing house MIIT Law Institute, 127994, Moscow, Obraztsova str., 9, p.9

СОДЕРЖАНИЕ

Нутович В.Е., Тулина Т.В.

Проектирование цифрового следа грузовой перевозки.....5

Давыдова Е.А., Ефимов Р.А.

Развитие технологии вывоза ТКО в крупной агломерации.....13

Башмаков И.А., Володина В.А.

Анализ влияния коррекции интенсивности движения транспортного потока на возможность непрерывного проезда светофорных объектов.....23

Чеботаев А.А., Ивахненко А.М.

К вопросу формирования логистических цепей поставок в тыловом обеспечении33

Высочкин Д.С., Сеницына А.С.

Определение технологических условий для автоматизации терминально-складского комплекса.....45

Бочкарев А.А., Савенкова Т.И.

Задача о ритмичных поставках как задача квадратичного программирования и ее решение в среде MATLAB60

Информация для авторов.....72

CONTENTS

Nutovich V.E., Tulina T.V.

Designing a Digital Freight Trail.....5

Davydova E.A., Efimov R.A.

Development of solid municipal waste(SMW) management technology in agglomeration13

Bashmakov I.A., Volodina V.A.

Analysis of the effect of traffic intensity correction on the possibility of continuous passage of traffic light objects.....23

Chebotaev A.A., Ivakhnenko A.M.

To the question of forming logistic chains of supply in logistics33

Vysochkin D.S., Sinitsyna A.S.

Determination of technological conditions for the automation of the terminal and warehouse complex45

Bochkarev A.A., Savenkova T.I.

Rhythmic Delivery Problem as a Quadratic Programming Problem and its Solution in MATLAB60

Information for authors.....72



Редакция журнала с глубоким прискорбием сообщает, что 30 июня 2023 года после тяжёлой болезни скончался президент РУТ (МИИТ), доктор технических наук, профессор, главный редактор журнала Логистика и управление цепями поставок **Борис Алексеевич Лёвин**.

Борис Алексеевич был авторитетным ученым, педагогом и талантливым управленцем. Вся его профессиональная жизнь связана с транспортом и университетом. За годы руководства МИИТом Борису Алексеевичу удалось реализовать множество проектов, которые позволили не только обеспечить высокое качество транспортного образования и науки, но и во многом задать тренды в подготовке кадров для транспортной отрасли.

За время своей научной деятельности он подготовил 13 докторов и 21 кандидатов наук, опубликовал более 530 научных трудов (учебных и учебно-методических пособий, монографий, статей).

Уход Бориса Алексеевича, является невосполнимой утратой для российского транспортного образования и науки.

Выражаем искреннее соболезнование родным и близким.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СЛЕДА ГРУЗОВОЙ ПЕРЕВОЗКИ

Нутович В.Е.¹, Тулина Т.В.¹¹ Российский университет транспорта

Аннотация: Сегодня логистические данные о грузовой перевозке ведутся в различных автоматизированных системах, что обусловлено использованием различного вида транспорта, наличием определенного программного решения у перевозчика, отсутствием унификации перевозочных документов. Данные аспекты осложняют взаимодействие перевозчиков между собой, создают сложности для мониторинга состояния перевозки и, как следствие, увеличивают трудозатраты на анализ данных с целью принятия управленческих решений, что приводит к дополнительным денежным расходам компаний, неоптимальному использованию транспортных средств. В связи с выявленной проблемой рассмотрена возможность создания цифрового следа (электронного паспорта) мультимодальной грузовой перевозки, содержание которого отражает каждое звено логистической цепочки поставки груза. Введение электронного паспорта должно решить проблему полноты, актуальности и доступности данных о перевозке для каждого участника логистической цепи. Выделены перевозочные документы для каждого типа транспорта, проанализирован атрибутивный состав перевозочных документов для авиационного, морского, железнодорожного и автомобильного видов транспорта, проведен обзор систем-источников для каждого типа перевозочных документов. Сформулированы допущения для атрибутивного анализа перевозочных документов, определенные правилами их оформления и установленными формами. В результате исследования перевозочных документов были получены данные по количеству общих и специфических атрибутов для каждого типа перевозочных документов, что позволяет говорить о возможности создания электронного паспорта грузовой перевозки. Спроектирован формат электронного паспорта грузовой перевозки. Приведена схема интеграционного решения для формирования электронного паспорта, сформулированы особенности формирования новых перевозочных документов и поддержания текущих в актуальном состоянии. Сформулированы преимущества, полученные от внедрения электронного паспорта в контексте текущих проблем и таких перспективных решений, как логистическая экосистема, аналитика с использованием методов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: цифровой след, атрибуты перевозочных документов, электронный паспорт, автоматизированные системы (АС) перевозчика

© Нутович В.Е., Тулина Т.В.

Поступила 09.06.2023, одобрена после рецензирования 28.06.2023, принята к публикации 28.06.2023.

Для цитирования:

Нутович В.Е., Тулина Т.В. Проектирование цифрового следа грузовой перевозки// Логистика и управление транспортными системами. - 2023. - Т. 20, №2 (107). - С. 5–12.

Нутович В.Е. - к.т.н., доцент, начальник научно-образовательного центра «Интеллектуальные транспортные системы и технологии», заведующий кафедрой «Цифровые технологии управления транспортными процессами», «Российский университет транспорта». nutovich@mail.ru.

Тулина Т.В. - аспирант, кафедра «Цифровые технологии управления транспортными процессами». «Российский университет транспорта». tat.tulina1998@yandex.ru.

DESIGNING THE EXPECTED FREIGHT TRAIL

Nutovich V.E.¹, Tulina T.V.¹¹ Russian University of Transport

Abstract: Today, logistics data on freight transportation is maintained in various automated systems, which is due to the use of various types of transport, the presence of a certain software solution for the carrier, and the lack of unification of transportation documents. These aspects complicate the interaction of carriers with each other, create difficulties for monitoring the state of transportation and, as a result, increase labor costs for data analysis in order to make managerial decisions, which leads to additional cash costs for companies and suboptimal use of vehicles. In connection with the identified problem, the possibility of creating a digital trace (electronic passport) of a multimodal freight transportation is considered, the content of which reflects each link in the logistics chain of cargo delivery. The introduction of an electronic passport should solve the problem of completeness, relevance and availability of transportation data for each participant in the supply chain. The transportation documents for each type of transport are identified, the attributive composition of transportation documents for aviation, sea, rail and road modes of transport is analyzed, a review of source systems for each type of transportation documents is carried out. Assumptions are formulated for the attributive analysis of transportation documents, determined by the rules for their execution and established forms. As a result of the study of transportation documents, data were obtained on the number of general and specific attributes for each type of transportation documents, which allows us to talk about the possibility of creating an electronic passport for freight transportation. The format of the electronic passport of cargo transportation has been designed. The scheme of the integration solution for the formation of an electronic passport is given, the features of the formation of new transportation documents and keeping the current ones up to date are formulated. The advantages obtained from the introduction of an electronic passport in the context of current problems and such promising solutions as a logistics ecosystem, analytics using artificial intelligence methods are formulated.

Keywords: digital traces, attributes of transported documents, electronic passport systems (AS) of the carrier

© Nutovich V.E., Tulina T.V.

Received 09.06.2023, approved 28.06.2023, accepted for publication 28.06.2023.

For citation:

Nutovich V.E., Tulina T.V. Designing the expected freight trail. Logistics and Supply Chain Management. 2023. Vol 20, Iss 2 (107). pp.5-12.

Nutovich V.E. - Cand. of Eng. Sc., Associate Professor, Head of the Scientific and Educational Center «Intelligent Transport Systems and Technologies», Head of the Department «Digital Technologies for Transport Process Management». scientific and educational center «Intelligent transport systems and technologies», department «Digital technologies for managing transport processes». «Russian University of Transport», nutovich@mail.ru.

Tulina T.V. - department «Digital technologies for managing transport processes». «Russian University of Transport». tat.tulina1998@yandex.ru.

Согласно Транспортной стратегии Российской Федерации одним из приоритетных направлений развития является совершенствование работы транспортно-логистических систем на основе цифровых технологий, что позволит повысить надежность доставки грузов, снизить издержки во всех звеньях производственно-сбытовых цепочек.

Под производственно-сбытовой цепочкой понимается система, включающая в себя производителей исходного сырья, переработчиков сырья, изготовителей готовой продукции, каналы дистрибуции. Особое место в производственно-сбытовой цепочке занимают транспортно-логистические системы, которые обеспечивают доставку груза между звеньями-участниками данной цепочки. Каждое звено логистической цепочки характеризуется видом транспорта, применением специфических программных решений, которые осуществляют сбор и обработку логистических данных.

В связи с тем, что работа с логистическими данными ведется в разных автоматизированных системах (далее – АС) перевозчиков, сегодня отсутствует возможность получить цифровой след грузовой перевозки, отражающий информацию обо всех звеньях логистической цепи. Наличие цифрового следа помогло бы выявить узкие места, обеспечить мониторинг состояния грузоперевозки, анализировать данные о простоях, штрафах как для каждого звена, так и для всей логистической цепочки в целом.

Целью данного исследования является создание единого электронного паспорта грузовой перевозки или цифрового следа грузовой перевозки на основе атрибутивного анализа перевозочных документов для авиационного, морского, железнодорожного и автомобильного видов транспорта.

Для достижения цели исследования были использованы теоретические методы – анализ (для описания атрибутивного состава каждого перевозочного документа), синтез (для формулировки допущений, выделения общих атрибутов перевозочных документов), описание (для подведения итогов исследования), обоб-

щение (для формулировки допущений части разделов).

В рамках исследования был изучен атрибутивный состав следующих перевозочных документов:

1. Для железнодорожного транспорта – железнодорожная накладная (Минтранс РФ, 2019).
2. Для воздушного транспорта – инвойс, авианакладная, упаковочный лист.
3. Для морского транспорта – коносамент и морская накладная.
4. Для автомобильного транспорта – транспортная накладная и путевой лист (Правительство РФ, 2022).

При проведении атрибутивного анализа перевозочных документов были использованы следующие допущения:

1. В целях детализации структуры документа атрибуты внутри каждого перевозочного документа разделены на два типа: атрибуты основной информации и атрибуты грузовой части.
2. Используются сокращения до раздела (например, раздел «Сведения о ЗПУ» используется только в рамках железнодорожных перевозок, следовательно, нет необходимости развернуто представлять атрибуты этого раздела в рамках общего анализа).
3. Разделы документа обозначены как групповой признак;
4. Подписи как атрибут исключены из анализа, так как не несут информационной нагрузки, а лишь являются показателем ознакомления/согласования с документом;
5. Для путевого листа, инвойса, упаковочного листа нет установленной формы документа, законодательно определены только обязательные реквизиты, а итоговое содержание формы определяется самим перевозчиком, поэтому атрибутивный состав у различных перевозчиков может незначительно различаться.

В результате проведения атрибутивного анализа были получены следующие результаты:

1. Для железнодорожной накладной: выделено 27 специфических атрибутов основной информации, из них 3 имеют групповой при-

знак, также выделено 5 специфических атрибутов грузовой части.

2. Для морского коносамента: выделено 9 специфических атрибутов основной информации, 1 специфический атрибут грузовой части.

3. Для морской накладной: выделено 3 специфических атрибута основной информации, 2 специфических атрибута грузовой части.

4. Для инвойса: выделено 3 специфических атрибута основной информации, 2 специфических атрибута грузовой части (Международная ассоциация воздушного транспорта ИАТА, n.d.).

5. Для авианакладной: выделено 15 специфических атрибутов основной информации, 1 специфический атрибут грузовой части.

6. Для путевого листа: в рамках атрибутивного состава выделено 18 специфических атрибутов основной информации, из них 5 имеют групповой признак.

7. Для автомобильной накладной: в рамках атрибутивного состава выделено 7 специфических атрибутов основной информации, из них 2 имеют групповой признак.

8. Для всех типов перевозочных документов было выявлено: 11 общих атрибутов основной информации и 11 общих атрибутов в грузовой части документов.

В результате исследования были выявлены общие и специфические атрибуты для всех перевозочных документов, что говорит о возможности построения единого электронного паспорта грузовой перевозки как о создании цифрового следа грузовой перевозки.

Электронный паспорт грузовой перевозки представляет собой единый электронный документ, который включает в себя следующие разделы:

— общий раздел, содержащий общие атрибуты перевозочных документов (содержит общие атрибуты основной и грузовой части);

— комплекс динамических разделов, соответствующих специфике перевозочного документа конкретного логистического звена.

Структура электронного паспорта приведена на Рисунке 1.

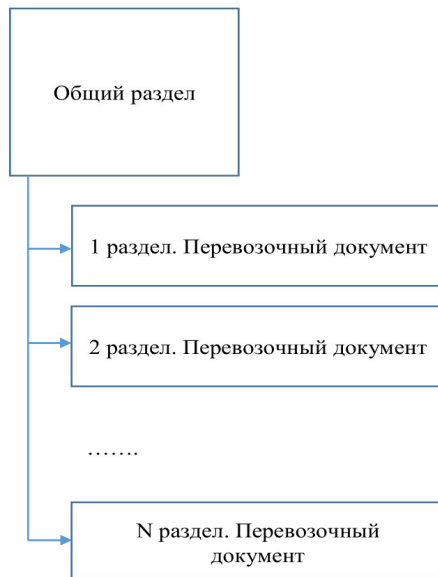


Рисунок 1. Структура электронного паспорта грузовой перевозки

На основании общего раздела электронного паспорта предполагается формирование новых перевозочных документов на основе уже существующих в рамках данного электронного паспорта.

Предполагается, что электронный паспорт грузоперевозки агрегирует перевоз-

очные документы каждого логистического звена, т.е. после создания соответствующего перевозочного документа в отраслевой системе, его содержание будет передано в электронный паспорт грузовой перевозки для создания нового раздела.

В рамках проведенного исследования были выделены системы – источники данных: для автомобильного транспорта (ГИС ЭПД), для железнодорожного транспорта (АС ЭТРАН) и АС перевозчиков для морских и авиатransпортов. Схема интеграционного решения загрузки данных для формирования электронного паспорта приведена на Рисунке 2. (Раевская П.Е., 2015) (ИНТЭЛЛЕКС, 2019) (CARGOSPOT, б.д.)

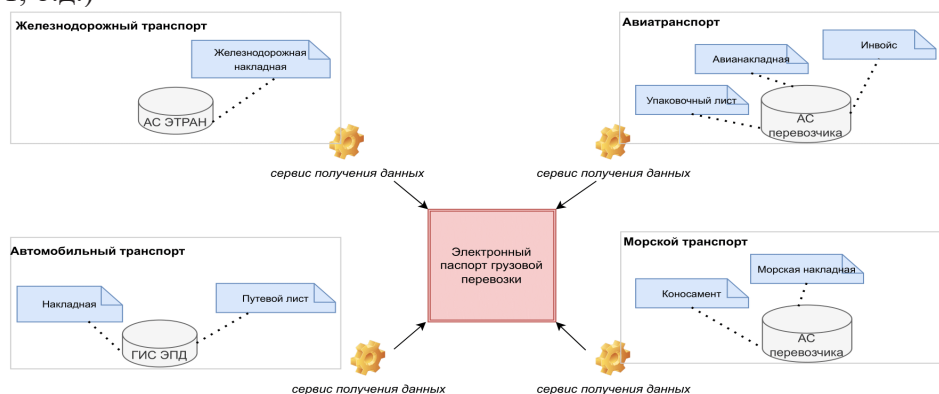


Рисунок 2. Схема интеграционного решения для формирования электронного паспорта

Таким образом, предполагается, что внедрение электронного паспорта позволит:

- обеспечить гибкое и эффективное взаимодействие перевозчиков между собой;
- осуществлять мониторинг состояния груза на всех участках логистической цепи;
- унифицировать различные перевозочные документы;
- в перспективе проводить аналитику перевозочного процесса с использованием методов искусственного интеллекта. Подво-

Для каждой АС предполагается создание соответствующего сервиса получения данных для последующей загрузки в электронный паспорт. Предполагается, что при обновлении данных в отраслевой АС, также осуществляется обновление перевозочного документа в рамках электронного паспорта.

Для итог, следует заметить, что электронный паспорт грузовой перевозки может стать основой для формирования логистической экосистемы - открытой цифровой среды обмена логистической информацией, включающей цифровые платформы и информационные системы, владельцами и операторами которых могут являться как бизнес, так и органы государственной власти.

Список источников

1. Международная ассоциация воздушного транспорта ИАТА. Стандарты Международной ассоциации воздушного транспорта ИАТА по заполнению авианакладной (для грузовых перевозок).
2. ИНТЭЛЛЕКС, 2019. Автоагент ускоряет оформление перевозочных документов. [Электронный ресурс] URL: <https://intellex.ru/press-center/news-archive/pub-7293355.html>.
3. Минтранс РФ, 2019. Об утверждении Единых форм перевозочных документов на перевозку грузов железнодорожным транспортом. Приказ Министерства транспорта РФ от 19 июня 2019 г. N 191.
4. Правительство РФ, 2022. «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 Правил дорожного движения Российской Федерации». Постановление Правительства РФ от 21.12.2020 N2200 (ред. от 30.11.2021, с изм. от

12.03.2022).

5. Раевская П.Е., Л. Г., 2015. Информационно-управляющие системы. Учебное пособие.. Чита: ЗаБИЖТ.

6. CARGOSPOT, б.д. Официальный сайт CARGOSPOT. [Электронный ресурс] URL: <https://www.champ.aero/products/champ-cargo-management/cargospot-handling>.

References

1. International Air Transport Association IATA. International Air Transport Association (IATA) Air Waybill (for Freight) Standards.

2. INTELLEX, 2019. Auto agent accelerates the execution of transportation documents. [In the Internet] Available at: <https://intellex.ru/press-center/news-archive/pub-7293355.html>.

3. Ministry of Transport of the Russian Federation, 2019. On approval of the Unified forms of shipping documents for the carriage of goods by rail. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of June 19, 2019 N 191.

4. Government of the Russian Federation, 2022. «On approval of the Rules for the carriage of goods by road and on amendments to clause 2.1.1 of the Rules of the Road of the Russian Federation.» Decree of the Government of the Russian Federation of December 21, 2020 N2200 (as amended on November 30, 2021, as amended on March 12, 2022).

5. Raevskaya P.E., L.G., 2015. Information and control systems. Tutorial.. Chita: ZabIZhT.

6. CARGOSPOT, б.д. Official site CARGOSPOT. [In the Internet] Available at: <https://www.champ.aero/products/champ-cargo-management/cargospot-handling>.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫВОЗА ТКО В КРУПНОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Давыдова Е.А.,¹ Ефимов Р.А.¹¹ Российский университет транспорта

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы применения зеленой логистики и развития технологии вывоза твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) как в России, так и в зарубежных странах. На законодательном уровне поставлены задачи создания устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами, снижения отходов, направляемых на полигоны и существенного увеличения уровня переработки с целью возвращения переработанных ресурсов в сферу производства и потребления. Описаны используемые технологии обращения с ТКО и представлена технология организации перевозки ТКО из агломерации при взаимодействии с другими видами транспорта, целесообразность которой обусловлена большими суточными объемами образования мусора и большой удаленностью от мусороперерабатывающих заводов, которые устраиваются на значительном удалении от крупных населенных пунктов. Наиболее рациональным вариантом из видов транспорта по результатам анализа выбран железнодорожный исходя из показателей экологичности и стоимости перевозки на дальние расстояния.

Ключевые слова: сбор и транспортировка, экологизация логистики, отходы, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, разделение потоков ТКО, твердые коммунальные отходы

© Давыдова Е.А., Ефимов Р.А.

Поступила 11.04.2023, одобрена после рецензирования 02.06.2023, принята к публикации: 02.06.2023.

Для цитирования:

Давыдова Е.А., Ефимов Р.А. Развитие технологии вывоза ТКО в крупной агломерации // Логистика и управление транспортными системами. - 2023. - Т. 20, №2 (107). - С. 13–22.

Давыдова Е.А., студент Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), AuthorID: 1147686.

Ефимов Р.А., к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), AuthorID: 674842, e-mail: efimov.ra@edu.rut-miit.ru, тел.: +7(495)631-07-78.

IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATION OF AUTOMOBILE TRANSPORTATION OF THE ENTERPRISE

Davydova E.A.¹, Efimov R.A.¹

¹ Russian University of Transport

Abstract: The article deals with the development of green logistics and the relevance of the development of technology for the treatment of solid municipal waste SMW both in Russia and in foreign countries. At the legislative level, the task is to create a sustainable system of solid municipal waste management, reduce waste sent to landfills and significantly increase the level of recycling in order to return recycled resources to production and consumption. The technologies used for the management of SMW are described and the technology of organizing the transportation of solid municipal waste from the agglomeration in interaction with other modes of transport is presented, the expediency of which is due to the large daily volumes of garbage formation and the great distance from waste processing plants, which are located at a considerable distance from large settlements. According to the results of the analysis, the railway was chosen as the most rational option of the modes of transport based on the indicators of environmental friendliness and the cost of long-distance transportation.

Keywords: collection and transportation, green logistics, wastes, road transport, railway transport, separation of SMW flows, solid municipal waste

© Davydova E.A., Efimov R.A.

Received 11.04.2023, approved 02.06.2023, accepted for publication 02.06.2023.

For citation:

Davydova E.A., Efimov R.A. Development of solid municipal waste(SMW) management technology in agglomeration. Logistics and Supply Chain Management. 2023. Vol 20, Iss 2 (107). pp. 13-22.

Davydova E.A., student of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport».

Efimov R.A., PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Operational Work and Safety Management in Transport of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport».

Введение

На современном этапе развития общества все большее внимание в производственных и технологических циклах уделяется вопросам не просто повышения производительности и экономической эффективности, но также важную роль начинает играть экологизация функциональных процессов.

Законодательство в области регулирования экологических вопросов постепенно ужесточается, что накладывает новые требования для большинства компаний. Недостаточное применение подходов экологической

безопасности в процессе производственной деятельности приводит зачастую к серьезным проблемам. Однако, необходимо не предпринимать управляющее воздействие, когда почти наступила экологическая катастрофа или какой-либо параметр достиг опасных значений, а разрабатывать и применять технологии, позволяющие прогнозировать и оказывать своевременное воздействие для управления процессом и перевода его в контролируемое состояние.

Основная часть

В настоящее время многие исследования направлены на системный подход к формированию схем реверсивной (обратной) логистики, в которой предполагается управление движением отходов, пригодных для повторного использования, переработки или утилизации. [1]

При этом используется известный принцип под названием 3R [2] (reduce – сокращение отходов, reuse – повторное использование, recycle – переработка).

Развитие обратной логистики и увеличение доли перерабатываемых отходов является очень важным процессом, который в последние два десятилетия получил активное развитие в ряде развитых стран. Недостаточное внимание к этим вопросам характеризуется значительными рисками при росте темпов образования отходов. Особенно это актуально для небольших по размерам стран, где нет возможности устраивать большие полигоны захоронения в необходимом удалении от населенных пунктов для минимизации влияния на жизнедеятельность граждан. В нашей стране проблема на первый взгляд не так резко выражена в связи с большой протяженностью территории, но с точки зрения логистики увеличение расстояний приводит к значительным экономическим издержкам на транспортировку и сопутствующему ей увеличению выбросов вредных веществ в атмосферу при движении грузовых автомобилей.

Переработка вторсырья снижает объемы отходов производства и потребления и осу-

ществляется таким образом, что их можно повторно использовать в производстве. Управление обратными и возвратными потоками является не только экологически эффективным, но и экономически выгодным направлением зеленой логистики, так как позволяет снизить объемы закупок сырья и материалов, а также получить прибыль с продаж различным производителям переработанного вторичного сырья. [1]

Согласно приказу президента Российской Федерации № 474 от 21 июля 2020 года в рамках национального проекта «Комфортная и безопасная среда для жизни», к 2030 году поставлена цель создания устойчивой системы обращения с ТКО, обеспечивающей сортировку отходов в объеме 100% [3,4] и снижение объема отходов, направляемых на полигоны в два раза.

При рассмотрении частного случая, системы организации обращения с ТКО в самой крупной агломерации нашей страны – г. Москва и Московской области, можно выявить большую проблему, связанную с закрытием в последние годы на рекультивацию большого количества мусорных полигонов. При этом объемы захоронения на оставшихся значительно меньше объемов, образуемых в указанной агломерации. Это требует от операторов по обращению с ТКО организации их вывоза на удаленные объекты, что связано с большими экономическими затратами и может сопровождаться образованием нелегальных свалок.

Поэтому на современном этапе развития в крупных агломерациях создается необходимость в организации мультимодальной технологии вывоза ТКО на удаленные объекты переработки или захоронения. Этот процесс является капиталоемким и должен сопровождаться построением системы государственной поддержки в части льгот и субсидий региональным операторам по вывозу. [1]

Развитие стратегии обращения с ТКО базируется на решении следующих основных задач:

- минимизация количества образующихся отходов [5];
- изыскания экологически безопасных методов переработки отходов с наименьшими экономическими затратами [6];
- максимально возможного вовлечения отходов в хозяйственный оборот и их материально-энергетической утилизации как технологического сырья. [7]

Приоритетная задача заключается в развитии технологии организации сбора [8], транспортировки, переработки и утилизации отходов.

Разделение потоков ТКО

При реализации задачи разделения потоков отходов необходимо организовать оперативный вывоз ТКО из населенного пункта и максимальное извлечение вторсырья, подлежащего переработке.

Важным аспектом, применяемым в ряде стран, является развитие принципа «одного ведра» и создание специализированных пунктов приема и мест по сбору вторсырья для населения. Внедрение данной системы в нашей стране идет медленно и требует материальной заинтересованности и повышения социальной ответственности населения. [9]

Наиболее рациональной технологией обращения с отходами является их сортировка с последующей комплексной переработкой. Данная технология повышает экологичность и экономичность традиционной термической и биотермической обработки ТКО [10], а также повышает степень сжигания не утилизируемых отходов и уменьшает их объем.

Техническое оснащение сортировочной станции требует оснащения оборудованием промышленной сортировки. При массовой сортировке данное предприятие должно быть самоокупаемым или приносить прибыль, что зависит от сортируемых объемов.

Подпрессовка ТКО в процессе сбора усложняет сортировку и может приводить к образованию вторсырья ненадлежащего качества. Рациональная последовательность извлечения фракций из состава ТКО по исследованию [10] следующая: бумага, металл, пластик и в последнюю очередь стекло.

Технологии обращения с ТКО

В большинстве городов применяется прямая технология транспортировки ТКО до мест захоронения или переработки (рисунок 1). Она является рациональной для небольших и средних населенных пунктов, в которых удаление мест погашения грузопотока от мест сбора позволяет сделать несколько рейсов мусоровоза за смену. При значительном повышении этого расстояния маршрутная сеть становится неэффективной, мусоровозы выполняют больше задачу по транспортировке, чем технологическую по сбору ТКО. При этом габариты данных машин рассчитаны с учетом маневренности на улично-дорожной сети для подъезда непосредственно к местам сбора ТКО и не позволяют перевозить значительные объемы.



Рисунок 1. Прямая технология вывоза ТКО

Для реализации рациональной схемы обращения в случае значительного удаления мест погашения грузопотока с ТКО (мусорные полигоны) в исследованиях многих авто-

ров рассмотрена двухэтапная технология обращения (вывоза), представленная на рисунке 2. [11,12].



Рисунок 2. Двухэтапная технология обращения с ТКО

Двухэтапная технология вывоза ТКО предполагает использование мусороперегрузочных станций для погрузки в машины с большей грузоподъемностью для транспортировки ТКО и возвращения мусоровозов к сбору с мест накопления.

В общем виде она включает в себя следующие технологические процессы:

1) сбор ТКО в местах накопления;

2) вывоз на мусороперегрузочную станцию для запрессовки;

3) перегрузку спрессованных отходов в большегрузные транспортные средства;

4) перевозку ТКО к местам их утилизации или переработки. [11]

Использование двухэтапной технологии направлено на:

1) рациональное использование пространства полигона за счет упорядоченного

размещения на нем компактных прессованных отходов;

2) сокращение расходов на вывоз и утилизацию ТКО;

3) снижение интенсивности движения по транспортным магистралям;

4) сокращение выбросов отравляющих веществ в атмосферу при движении мусоровозов. [11]

Несмотря на указанные преимущества при большом удалении мест погашения грузопотока с ТКО данная технология тоже становится неэффективной как в экономическом, так и в технологическом плане. Для крупных

агломераций, в которых проблема ежедневного вывоза больших объемов мусора на удаленные объекты переработки или утилизации, требуется разработка технологии, предполагающей использование нескольких видов транспорта.

Анализ показателей экологичности и стоимости перевозки на дальние расстояния, развития сети погрузочно-разгрузочных пунктов, позволяет сделать вывод о том, что наиболее рациональным является технология обращения (вывоза) с ТКО при взаимодействии автомобильного и железнодорожного транспорта (рисунок 3).

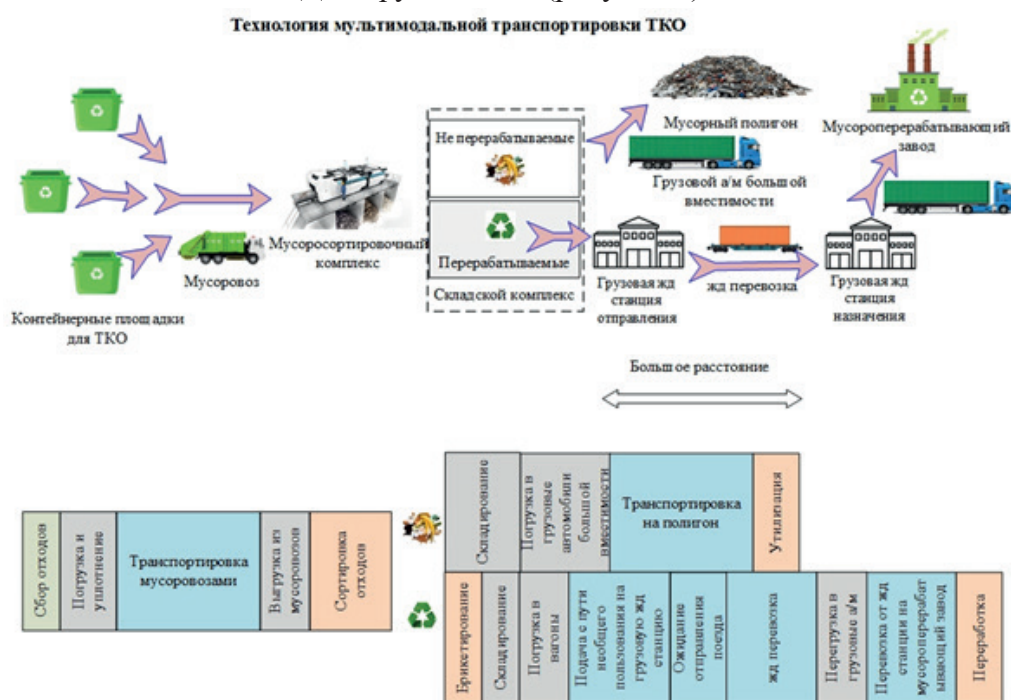


Рисунок 3. Технология обращения с ТКО при взаимодействии автомобильного и железнодорожного транспорта

Данная технология предусматривает:

1) сбор ТКО мусоровозами в зоне обращения и доставку на мусоросортировочный комплекс, расположенный на небольшом расстоянии (от одного до нескольких километров) от грузовой железнодорожной станции [13] для организации погрузки на пути необщего пользования, примыкающим к ней;

2) оценку потребного количества мусоросортировочных комплексов, которое зависит от их перерабатывающей способности, суточных объемов сбора ТКО, пропускной способности примыкающей автодороги, размеров зон стоянки для мусоровозов и складских мощностей, перерабатывающей способности

перегрузочного комплекса, перерабатывающей способности грузовой железнодорожной станции и др. Расположение данных объектов должно соответствовать установленным нормативам удаления от жилой застройки и экологическим нормативам;

3) организацию двухэтапной технологии транспортировки ТКО (с использованием мусороперегрузочных станций) до мусоросортировочного комплекса в случае значительного удаления зоны сбора ТКО от мусоросортировочного комплекса;

4) погрузку в грузовые автомобили большой вместимости и отправку к местам

утилизации неперерабатываемых отходов после проведения сортировки;

5) разделение перерабатываемых отходов на 4 фракции: бумага, пластик, металл и стекло;

6) брикетирование бумаги и пластика [14] с использованием пресс-компакторов в организованные брикеты;

7) осуществление погрузки стекла в вагон насыпью, железа – с использованием специализированного крана;

8) выбор вагонов и контейнеров с учетом характеристик грузов по критериям вместимости и грузоподъемности;

9) перевозку груза до станции назначения, на которой организована перегрузка на автомобили с доставкой на мусороперерабатывающий комплекс;

10) учет вопроса организации обратного грузопотока для минимизации порожнего

пробега вагонов (для оценки рентабельности технологии).

На государственном уровне рассматривается задача развития переработки мусора (увеличение мощностей) или строительство новых комплексных (позволяющих перерабатывать все виды вторсырья) мусороперерабатывающих заводов, отвечающих всем требованиям экологичности. Актуальность применения описанной технологии растет в условиях повышении объема накопления ТКО в агломерациях и при условии большого удаления от мусороперерабатывающего завода, когда автомобильная перевозка становится менее рентабельной. Одной из целей реализации рассмотренной технологии является возвращение переработанных ресурсов в сферу производства и потребления.

Заключение

Применение технологии обращения с ТКО в агломерации при взаимодействии автомобильного и железнодорожного транспорта приобретает все большую необходимость. Несмотря на значительную инвестиционную составляющую экологический и социальный эффект от задержки ее внедрения возрастает быстрыми темпами. Как показывает опыт ведущих стран для построения хорошо функционирующей системы обращения с ТКО и решения множества проблем требуется период порядка 10-15 лет.

Применение данной технологии должно сопровождаться автоматизацией технологических процессов [15] для определения рациональных значений количества и мест размещения основных объектов (мусоропе-

регрузочные станции, мусоросортировочные комплексы, мусороперерабатывающие заводы) с учетом инфраструктурных и экологических ограничений и удаленности от зон сбора ТКО и грузовых железнодорожных станций в незначительном удалении от которых имеется возможность устройства пути необщего пользования до мусоросортировочных комплексов.

Задача организации обращения с ТКО в агломерациях должна решаться системно, экономически обоснованно, в открытом информационном поле и с системой государственной поддержки для предприятий, участвующих в процессе экологизации работы с мусором для повышения повторного использования ресурсов.

Список источников

1. Хмельницкая, С. А. О направлениях экологизации в сфере логистического обслуживания экономики / С. А. Хмельницкая, М. А. Чистякова // Транспортное дело России. – 2020. – № 3. – С. 49-52. – EDN XCDDKO.
2. Попов, А. А. Обоснование выбора комплекса программных модулей для автоматизации сбора и транспортировки твердых коммунальных отходов в рамках развития жилищно-коммунального хозяйства / А. А. Попов // Вестник Алтайской академии экономики и права.

– 2020. – № 5-1. – С. 135-145. – DOI 10.17513/vaael.1121. – EDN ELBWUW.

3. РСО как часть формирования экономики замкнутого цикла в России / А. Н. Федотовский, В. В. Руденко, М. А. Коваленко, М. С. Ющенко // Твёрдые бытовые отходы. – 2022. – № 10(196). – С. 14-17. – EDN TCVWXX.

4. Рябикова, Л. А. Развитие компетенций столичных заказчиков с учетом реалий внедрения принципов ESG / Л. А. Рябикова // Устойчивость в сфере закупок и новые подходы к управлению закупочной деятельностью : Сборник научных докладов / Ответственный редактор И.П. Гладилина. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2022. – С. 49-57. – EDN NZHEWA.

5. Федосеев, Н. А. Анализ накопления твердых бытовых отходов в Оренбургской области / Н. А. Федосеев, А. А. Гаврилов // Концепции, теория и методика фундаментальных и прикладных научных исследований : Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Таганрог, 14 мая 2022 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2022. – С. 187-191. – EDN LVKEEG.

6. Бабаев, В. Н. Концепция экологизации и энергоресурсосбережения в системе управления отходами мегаполиса / В. Н. Бабаев, Н. П. Горох, И. В. Коринько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 4, № 8(46). – С. 51-59. – EDN TLMRSH.

7. Абусеридзе, З. В. Сбор отходов на железнодорожном транспорте / З. В. Абусеридзе, С. И. Шканов // Твёрдые бытовые отходы. – 2007. – № 9(15). – С. 46-49. – EDN NCLNMD.

8. Сорокина, Т. Ю. Социально-трудовая составляющая экологической безопасности региона / Т. Ю. Сорокина, Е. Е. Голышева // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. – 2022. – № 2(52). – С. 91-98. – DOI 10.6060/ivecofin.2022522.605. – EDN IJYAAC.

9. Кудян, С. Г. Управление отходами: принцип «одного ведра» / С. Г. Кудян, А. И. Чернорубашкин // Твёрдые бытовые отходы. – 2012. – № 5(71). – С. 54-57. – EDN OXFZPR.

10. Даценко, В. М. Зависимость времени сортировки твердых коммунальных отходов от их степени сжатия / В. М. Даценко, В. В. Зубова, А. А. Гербутов // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2022. – Т. 18. – № 1. – С. 5-13. – EDN NEPDWT.

11. Напольский, Б. М. Модель выбора оптимального варианта закрепления объектов транспортно-логистической системы вывоза вторичноиспользуемых твердых промышленных отходов / Б. М. Напольский, А. В. Олимпиев // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2009. – № 4(19). – С. 109-112. – EDN LAASTB.

12. Лепило, Н. Н. Модель управления потоками твердых коммунальных отходов при двухэтапной технологии их вывоза / Н. Н. Лепило, И. П. Бадуненко // Экономический вестник Донбасского государственного технического института. – 2022. – № 11. – С. 49-54. – EDN АТАКОС.

13. Алаев, М. М. Перспективы развития погрузочно-разгрузочного кластера твердых коммунальных отходов на железнодорожной станции / М. М. Алаев, Т. И. Каширцева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2020. – № 1(2). – С. 6-11. – EDN NKVGEN.

14. Алаев, М. М. Оценка эффективности различных способов пакетирования ТКО при перевозке железнодорожным транспортом / М. М. Алаев, А. Н. Ефимова // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (transport 2021) : Материалы II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Пермь, 12 февраля 2021 года / Под редакцией Е.В. Чабановой. – Пермь: Пермский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта», 2021. – С. 529-532. – EDN OQBNWH.

15. Ладик, А. С. Разработка автоматизированной информационной системы управления логистикой бытовых отходов (на примере г. Апатиты) / А. С. Ладик, А. В. Маслобоев // Вест-

ник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2016. – Т. 19, № 1-2. – С. 207-216. – DOI 10.21443/1560-9278-2016-1/2-207-216. – EDN VXPFRN.

References:

1. Khmelnitskaya, S. A. On the directions of ecologization in the field of logistics services of the economy / S. A. Khmelnitskaya, M. A. Chistyakova // *Transport business of Russia*. – 2020. – No. 3. – PP. 49-52. – EDN XCDDKO.
2. Popov, A. A. Justification of the choice of a set of software modules for automating the collection and transportation of solid municipal waste within the framework of the development of housing and communal services / A. A. Popov // *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. – 2020. – No. 5-1. – pp. 135-145. – DOI 10.17513/vaael.1121. – EDN ELBWUW.
3. RSO as part of the formation of a closed-cycle economy in Russia / A. N. Fedotovskiy, V. V. Rudenko, M. A. Kovalenko, M. S. Yushchenko // *Solid household waste*. – 2022. – № 10(196). – Pp. 14-17. – EDN TCVWXX.
4. Ryabikova, L. A. Development of competencies of metropolitan customers taking into account the realities of implementing ESG principles / L. A. Ryabikova // *Sustainability in procurement and new approaches to procurement management : Collection of scientific reports / Responsible editor I.P. Gladilina*. – Moscow : Rusains Limited Liability Company, 2022. – pp. 49-57. – EDN NZHEWA.
5. Fedoseev, N. A. Analysis of solid household waste accumulation in the Orenburg region / N. A. Fedoseev, A. A. Gavrilov // *Concepts, theory and methodology of fundamental and applied scientific research : Collection of articles on the results of the International Scientific and Practical Conference, Taganrog, May 14, 2022*. – Sterlitamak: Limited Liability Company «International Research Agency», 2022. – pp. 187-191. – EDN LVKEEG.
6. Babaev, V. N. The concept of ecologization and energy conservation in the waste management system of a megapolis / V. N. Babaev, N. P. Gorokh, I. V. Korinko // *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. – 2010. – Vol. 4, No. 8(46). – pp. 51-59. – EDN TLMRSH.
7. Abuseridze, Z. V. Waste collection on railway transport / Z. V. Abuseridze, S. I. Shkanov // *Solid household waste*. – 2007. – № 9(15). – Pp. 46-49. – EDN NCLNMD.
8. Sorokina, T. Yu. Social and labor component of environmental safety of the region / T. Yu. Sorokina, E. E. Golysheva // *News of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*. – 2022. – № 2(52). – Pp. 91-98. – DOI 10.6060/ivecofin.2022522.605. – EDN IJYAAC.
9. Kudyan, S. G. Waste management: the principle of «one bucket» / S. G. Kudyan, A. I. Chernorubashkin // *Solid household waste*. – 2012. – № 5(71). – Pp. 54-57. – EDN OXFZPR.
10. Datsenko, V. M. Dependence of the sorting time of solid municipal waste on their compression ratio / V. M. Datsenko, V. V. Zubova, A. A. Gerbutov // *Modern industrial and civil construction*. – 2022. – Vol. 18. – No. 1. – pp. 5-13. – EDN NEPDWT.
11. Napolsky, B. M. A model for choosing the optimal option for securing objects of the transport and logistics system for the removal of recycled solid industrial waste / B. M. Napolsky, A. V. Olympiev // *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Institute (State Technical University)*. – 2009. – № 4(19). – Pp. 109-112. – EDN LAASTB.
12. Lepilo, N. N. Model of solid municipal waste management with two-stage technology of their removal / N. N. Lepilo, I. P. Badunenko // *Economic Bulletin of the Donbass State Technical Institute*. – 2022. – No. 11. – PP. 49-54. – EDN ATAOKC.
13. Alaev, M. M. Prospects for the development of a loading and unloading cluster of solid municipal waste at a railway station / M. M. Alaev, T. I. Kashirtseva // *Problems of perspective development of railway stations and nodes*. – 2020. – № 1(2). – Pp. 6-11. – EDN NKVGEH.
14. Alaev, M. M. Evaluation of the effectiveness of various methods of packaging MSW

during transportation by rail / M. M. Alaev, A. N. Efimova // Transport: problems, goals, prospects (transport 2021) : Materials of the II All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation, Perm, February 12, 2021 / Edited by E.V. Chabanova. – Perm: Perm branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Water Transport», 2021. – pp. 529-532. – EDN OQBNWH.

15. Ladik, A. S. Development of an automated information system for managing the logistics of household waste (on the example of Apatity) / A. S. Ladik, A.V. Masloboev // Vestnik MSTU. Proceedings of the Murmansk State Technical University. - 2016. – Vol. 19, No. 1-2. – pp. 207-216. – DOI 10.21443/1560-9278-2016-1/2-207-216 . – EDN VXPFRN.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОРРЕКЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ВОЗМОЖНОСТЬ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОЕЗДА СВЕТОФОРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Башмаков И.А.,¹ Володина В.А.¹

¹ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Аннотация: В настоящей статье изложен вопрос рассмотрения проблемы проезда участков дороги, содержащих светофоры. Проведены исследования интенсивности изменения дорожного движения в городе Ногинске (Богородский городской округ Московской области) в период пандемии Covid-19. В результате исследования удалось получить графики зависимости интенсивности движения при проезде светофоров по маршруту. Указан предполагаемый способ усиления проездного трафика светофорных объектов.

Ключевые слова: транспортный поток, светофорный объект, транспортное средство, обмен данными, интенсивность движения, безостановочный проезд.

© Башмаков И.А., Володина В.А.

Поступила: 10.04.2023, одобрена после рецензирования 11.06.2023, принята к публикации 11.06.2023.

Для цитирования:

Башмаков И.А., Володина В.А. Анализ влияния коррекции интенсивности движения транспортного потока на возможность непрерывного проезда светофорных объектов // Логистика и управление транспортными системами. - 2023. - Т. 20. №2 (107). - С. 23–32.

Башмаков И.А. *, к.т.н., доц., доцент кафедры «Менеджмент» МАДИ, AuthorID: 768465; +7-964-576-62-16, man@madi.ru.

Володина В.А., магистрант, инженер кафедры «Менеджмент» МАДИ, AuthorID: 768465.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF TRAFFIC INTENSITY CORRECTION ON THE POSSIBILITY OF CONTINUOUS PASSAGE OF TRAFFIC LIGHT OBJECTS

Bashmakov I.A.,¹ Volodina V.A.¹

¹ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University

Abstract: This article addresses the issue of roads and passages containing traffic lights. A study was made in Noginsk (Bogorodsky district, Moscow region) about traffic intensity during the Covid-19 pandemic. As a result of this research, dynamics of the traffic intensity on road sections with traffic lights were obtained. A new method was proposed on order to intensify the passage of traffic lights.

Keywords: traffic flow, traffic light object, vehicle, data exchange, traffic flow, non-stop travel.

© Bashmakov I.A., Volodina V.A.

Received 10.04.2023, approved 11.06.2023, accepted for publication 11.06.2023.

For citation:

Bashmakov I.A., Volodina V.A. Analysis of the effect of traffic intensity correction on the possibility of continuous passage of traffic light objects. Logistics and Supply Chain Management. 2023. Vol 20, Iss 2 (107). pp.23-32.

Bashmakov I.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management of MADI, AuthorID: 768465; +7-964-576-62-16, man@madi.ru. Volodina V.A., Master's student, engineer of the department «Management» MADI, AuthorID: 768465;

Введение

Исследование транспортных потоков всегда является достаточно сложной задачей, так как приводит к необходимости решения многокритериальной задачи, ведь на процесс движения транспортных средств влияет большое количество внешних факторов, которые так или иначе вносят коррективы в движение, тем самым усложняя задачу быстрого реагирования. В транспортных потоках происходят быстрые и значительные изменения, на которые необходимо быстро реагировать и вносить изменения в организацию движения. Это сложно прогнозировать для транспортных потоков, что связано не только с изменением конструкции транспортных средств, с изменением поведения участников дорожного движения, но и с развитием населенных пунктов. Рассматриваемые вопросы можно считать актуальными не только сейчас, но и на перспективу [9].

Интенсивность движения транспортных средств в городе является определяющим показателем для многих различных расчетов и моделей, таких как настройка систем регулирования дорожного движения, модель состояния окружающей среды, а также дает возможность определить критически проблемные

участки улично-дорожной сети, что позволит в дальнейшем принимать эффективные решения по реорганизации дорожного движения и снижению количества пробок в городах.

Целью проводимого анализа является изучение влияния изменения интенсивности движения на возможность бесперебойного проезда светофоров во время пандемии Covid-19. Введение карантина во время пандемии Covid-19 облегчило исследования, так как резкие колебания интенсивности транспортных потоков позволили использовать стресс-методы для проведения исследований. Проанализировав литературу, определили актуальность темы и основные направления работы. По результатам экспериментальных исследований определены и предложены метод оценки работы светофоров и система отображения рекомендуемого режима движения транспортного средства. Такой подход в совокупности с использованием автоматизированной системы управления позволяет не только выбрать наиболее рациональный режим работы светофорного объекта в зависимости от реальной дорожной ситуации, но и помочь водителю выбрать оптимальный режим движения [10].

Литературный обзор

Вопрос интенсивности транспортного движения в населенных пунктах достаточно часто рассматривается ведущими учеными для различных целей. Было проведено множество исследований, связанных с изучением и моделированием интенсивности движения транспортных средств на улицах и дорогах сети разных городов [1].

Вопрос уменьшения пробок на улицах города весьма актуален и его актуальность постоянно возрастает вместе с увеличением количества транспортных средств на улицах и дорогах сети города. Научный подход к исследованию средств и методов уменьшения пробок постоянно меняется, хотя для решения этой проблемы необходимо еще много времени. Решение проблемы пробок показано в работах [2].

В исследовательской работе [3] рассмотрено влияние автономных транспортных средств на интенсивность движения и проведено соответствующее моделирование дорожного движения, доказывающее увеличение полезной пропускной способности улиц и дорог с внедрением беспилотных транспортных средств. Поэтому решение проблемы уменьшения пробок в городах требует постоянного внимания.

Одним из методов экономии топлива является использование приемов экономичного вождения, которые зависят от состояния дороги и организации работы светофоров [4].

Исследования алгоритма планирования оптимальной скорости движения транспортного средства для повышения экономичности транспортного средства достаточно обширны. В результате [5] проведено моделирование, ко-

торое показывает, что можно повысить эффективность проезда регулируемых перекрестков за счет использования вероятностного времени и полученных данных о фазах светофоров.

В обычных условиях интенсивность движения автотранспорта в городе практически постоянна, но может медленно меняться в зависимости от дня недели, сезона, предпраздничных, праздничных и после праздничных дней. В случае непредвиденных условий этот

показатель может измениться неожиданно, что значительно усложняет возможность оперативного управления дорожным движением транспортных средств. Кроме того, определение факторов, обуславливающих те или иные события, дает возможность в дальнейшем минимизировать влияние пробок на пропускную способность улиц и дорог города. Определение влияния стрессовых факторов на пробки описано в исследованиях [6].

Эксперименты и результаты.

После введения карантина и его усиления в Московской области, и особенно в Ногинске, прекращена деятельность:

- образовательных учреждений;
- предприятий общественного питания;
- рынков и некоторых магазинов.

При этом почти 50% предприятий продолжали свою деятельность частично в дистанционном, а частично в обычном режиме.

Эти факторы вызвали интенсивное изменение интенсивности транспортных потоков на улицах города (рис. 1).

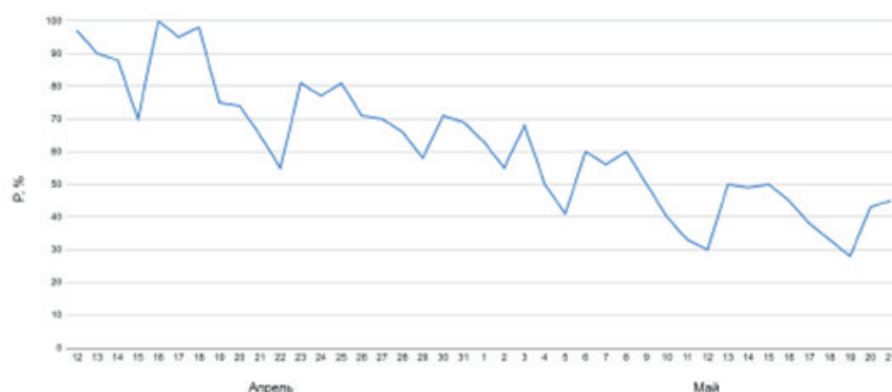


Рисунок 1. Интенсивность движения транспорта в Ногинске с 12 апреля 2020 г. по 21 мая 2020 г. в период пандемии Covid-19

Наибольшее изменение движения транспортного потока произошло в выходные дни – субботу и воскресенье, а также в период реализации дополнительных карантинных мероприятий.

Затем интенсивность движения снизилась до градуировки <30% по сравнению с полученными данными до карантина.

Исследуя дальнейшее развитие пандемии Covid-19 и изменение интенсивности движения транспорта, была получена следующая графическая зависимость (рис. 2).

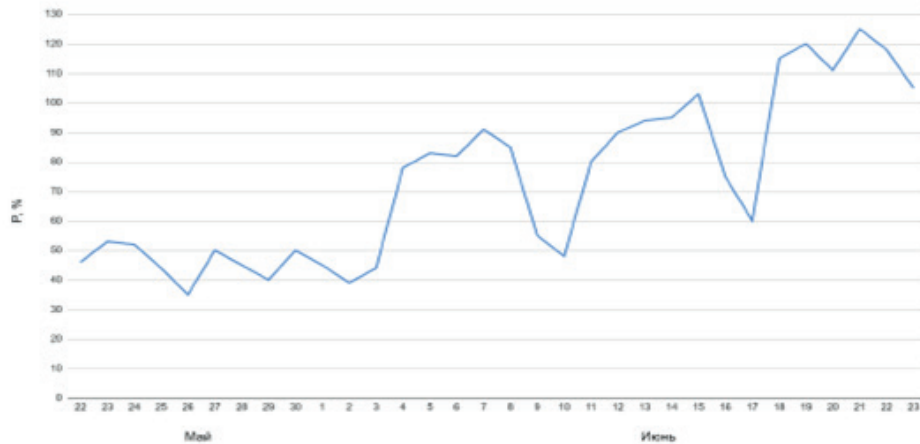


Рисунок 2. Интенсивность движения транспорта в Ногинске с 22 мая 2020 г. по 23 июня 2020 г. в период пандемии Covid-19

С 12 мая 2020 года движение транспортных потоков в Ногинске начало расти и достигло показателей, характерных до введения карантина. Начиная с 17 мая 2020 года, когда большинство предприятий начали открываться, интенсивность движения транспорта выросла с 10 до 30%.

Чтобы выбрать, как интенсивность движения во время пандемии Covid-19 влияет на возможность безостановочного проезда светофорных объектов, был проведен дополнительный мониторинг на маршруте из одной части Ногинска в другую (рис. 3).

Мониторинг проводился в период времени с 07:00–08:00, 10:00–12:00, 14:00–16:00, 19:00–20:00.

С 12.04.2020 по 18.04.2020 интенсивность движения была высокой (рис. 4), а режим работы светофорных объектов оставался фиксированным. Где: «зеленая шкала» показывает «реальную возможность» – это процент случаев, позволяющих транспортному средству проехать светофорный объект без остановки (сюда включены реальные скорости и время проезда до светофора); «красная шкала» показывает «безостановочный проезд» — это процент автомобилей, проехавших светофор без остановки; «желтая шкала» показывает «применение возможности» — это соответствие безостановочного проезда реальной возможности пересечения светофора.

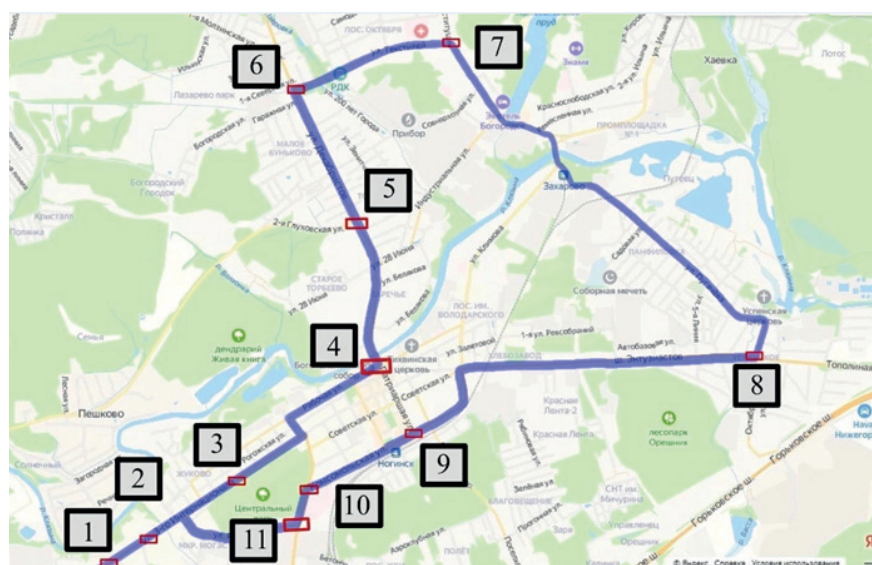


Рисунок 3. Схема расположения светофоров в г. Ногинске на маршруте Магистральная улица – Улица Радченко

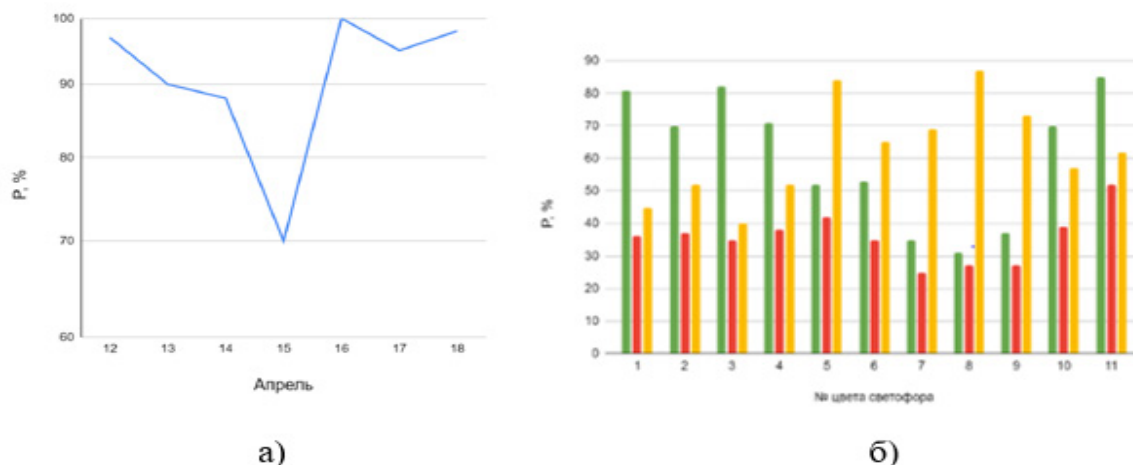


Рисунок 4. Графическая зависимость интенсивности движения транспорта: а – интенсивность движения транспорта; б – исследует результаты и оценивает действия водителей при проезде светофорных объектов по заданному маршруту

По результатам расчетов установлено, что эффективность действий после проезда светофорных объектов составляет от 42 % до 87 % в зависимости от сложности регулируемого участка дороги.

По статистике «возможности применения» безостановочного проезда светофора можно заметить, что водители используют светофор неэффективно.

Аналогичным образом были построены графики, когда интенсивность движения транспортных средств была наименьшей (рис. 5). При этом был изменен режим работы светофорных объектов, мало перемещался общественный транспорт и снизилась интен-

сивность движения более чем на 50%. На основании расчетов выросла вероятность проезда светофорных объектов. Процент водителей, воспользовавшихся этой возможностью, составил от 56% до 81%.

С 15 мая 2020 г. по 21 мая 2020 г. интенсивность движения транспортных средств увеличилась, но не все светофорные объекты меняют свой режим работы в соответствии с этой интенсивностью движения (рис. 6). Общественный транспорт в данный период не работал, а возможность проезда светофора без остановки снизилась и составила в среднем 51%.

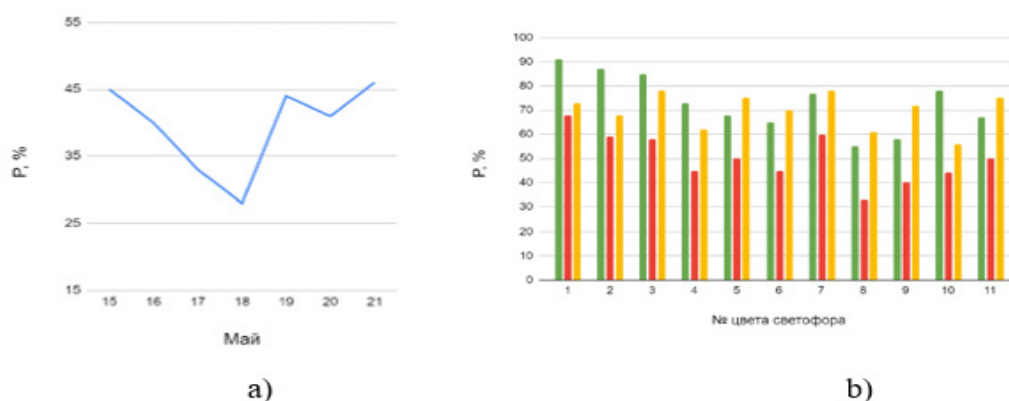


Рисунок 5. Графическая зависимость наименьшей интенсивности движения транспорта в период карантина с 16.04.2020 по 22.04.2020:

а – интенсивность движения транспорта; б – исследует результаты и оценивает действия водителей при проезде светофорных объектов по заданному маршруту

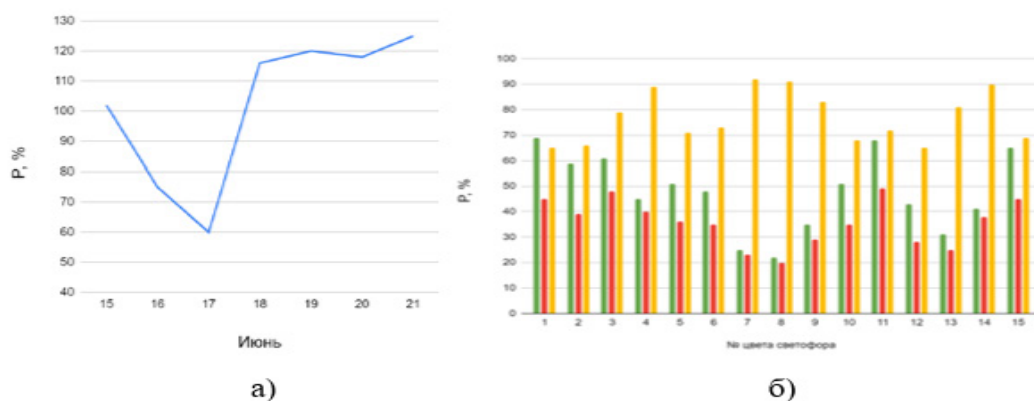


Рисунок 6. Графическая зависимость увеличения интенсивности движения транспорта в период карантина с 15 мая 2020 г. по 21 мая 2020 г.: а – интенсивность движения транспорта; б – исследует результаты и оценивает действия водителей при проезде светофорных объектов по заданному маршруту

Результаты анализа приведенных выше графиков позволили найти причины снижения возможности проезда светофоров. Таким образом, было установлено, что при уменьшении интенсивности движения и соответствующем регулировании светофоров наблюдается уменьшение возможности безостановочного проезда светофоров, в то же время увеличивается реальная возможность проезда, что полностью соответствует основным положениям теории регулирования дорожного движения. При этом реальная возможность безостановочного проезда светофора снижалась при увеличении интенсивности движения и отсутствии изменений в работе светофора. Этот факт подтверждает, что такой показатель, как «реальная возможность» проезда R , можно использовать для оценки работы светофора. Увеличение этого показателя до уровня 100 % свидетельствует о правильной цикличности работы светофора:

$$R \rightarrow 100\%, \quad (1)$$

где R – реальная возможность прохождения.

Кроме того, анализ работы светофорных ситуационных пунктов и схем дорожного движения показывает, что с учетом возможности проезда светофорного объекта всеми участниками дорожного движения необходимо следующее условие:

$$\sum R_i \rightarrow 100\% \quad (2)$$

где $\sum R_i$ – суммарная возможность проезда светофорного объекта со всех сторон.

То есть:

$$\sum R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (3)$$

где n – количество направлений движения, или количество переключений сигнала светофора.

Фактически часть интенсивности движения, которая приходится на каждое направление движения $i r_i = R_i$, т.е.

почему:

$$\sum i r_i = 100\%. \quad (4)$$

При одинаковой интенсивности транспортного потока реальную возможность проезда светофорного объекта можно найти по зависимости:

$$\sum R_i = \frac{\sum i r}{n} \quad (5)$$

в другом случае необходимо исследовать заданную интенсивность потоков по каждому направлению, и зависимость будет иметь вид:

$$\sum R_i = \sum_{k=1}^n i r_k \rightarrow 100\% \quad (6)$$

Следует отметить, что предложенная схема разработана на случай выполнения условия проезда светофорного объекта всеми транспортными средствами, то есть выделенная полоса движения после светофора предполагается неограниченно свободной.

Показатель «возможность применения» светофорного объекта безостановочного проезда коррелирует с показателем «реальная возможность» светофорного проезда и соответственно уменьшается до 0 при условии, что $\sum R_i \rightarrow 100$.

Предложенный метод оценки работы светофора может быть эффективно использован для оперативного управления светофорными объектами с использованием автоматизированных систем управления. Такой подход даст

Применение результатов

Для повышения показателей, отмеченных желтым цветом «возможность применения», можно использовать дополнительную систему, отражающую водителям подсказку о дей-

возможность точно оценить режим работы светофора и выбрать наиболее рациональный, в зависимости от реальной дорожной ситуации, особенно интенсивности движения.

ствиях, которые необходимо проезжать светофорные объекты без остановки при наличии «реальной возможности» для этого (рис. 7).

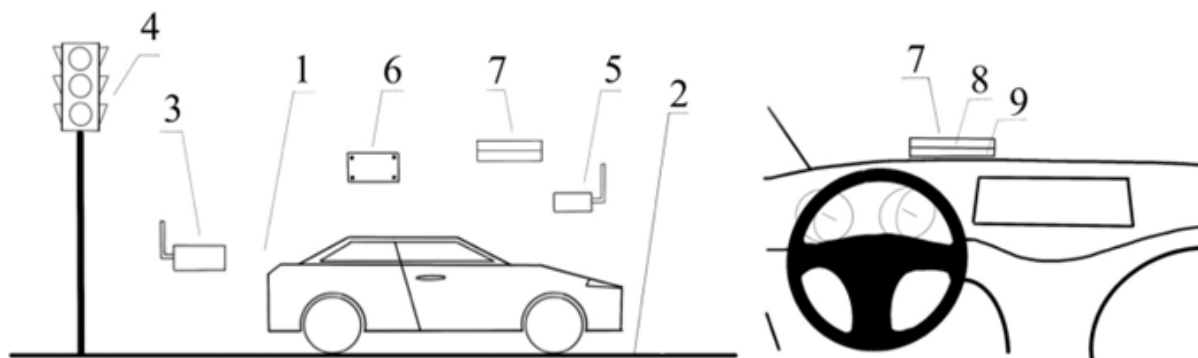


Рисунок 7. Система отражения рекомендуемого режима движения: а – схема системы; б – положение индикатора обмена данными

Так работает данная система отображения рекомендуемого режима движения.

При попадании транспортного средства 1 в зону действия устройства ввода 5 происходит обмен данными между передающим устройством 3, передающим на транспортное средство информацию о режиме работы светофора 4. Устройство ввода 5 передает полученную информацию на контроллер 6, который также получает данные от приборов ТС 1, после чего полученная информация используется для расчета рекомендуемого замедления или ускорения ТС с последующим отражением его на шкале 8 индикатора 7. При этом время шкала 9 отражает реальное замедление или ускорение движения автомобиля.

Водитель при замедлении или ускорении по показателям шкалы 8 должен максимально приближать реальное замедление или ускоре-

ние показателей шкалы 9 к рекомендуемому. Чем больше будут совпадать эти показатели, тем больше будет возможность безостановочного прохождения регулируемого участка дороги.

Система отображения рекомендуемого режима движения транспортного средства рекомендует водителю необходимое замедление или ускорение транспортного средства и при этом показывает его реальное значение, что позволяет безопасно и без остановок проехать регулируемый участок дороги.

Соответственно использование системы должно происходить вместе с созданным программным обеспечением. Проведенные исследования и полученные результаты имеют научное и практическое значение и важны при подготовке специалистов транспорта [7].

Выводы

Итоги исследования содержат в себе выводы о принудительном регулировании транспортного потока, движущегося с различных направлений или транспортных средств опре-

деленного типа. Корректируя работу по смене циклов работы светофора, представляется возможным эффективно моделировать движение транспортных потоков по улично-дорожной

сети города и достигать увеличения реальной пропускной способности.

Моделирование с учетом всех существенных воздействий возможно с помощью программного продукта PTV Visum [8]. В реальных условиях движения часто возникают проблемы с оптимизацией движения на конкретных участках, связанные с невозможностью реализации предложенной схемы во всех направлениях одновременно. В этом случае возможен синтез способов проезда части улиц и дорог с учетом светофорных объектов, когда на одном направлении выполняется условие применения возможности реального проезда, а на другом направлении обеспечивается применение возможности безостановочного движения.

В перспективе, результаты настоящих исследований дают возможность более эффективно моделировать дорожное движение на улично-дорожной сети со светофорным регулированием. Применяя различные методы возможно добиться значительного снижения пробок на городских дорогах, особенно используя современную технологию обмена данными между транспортным средством и светофором.

Примечательно, что подобные результаты исследования касаются только одного светофорного объекта, при исследовании целого ряда таких объектов на маршруте движения транспортных средств необходимо проведение дополнительных исследований с учетом комплекса факторов и множества моделей.

Список источников

1. Эвленин Р. Г., Игитов Ш. М., Мурадалиев З. З. Анализ существующей системы транспортных потоков и рекомендации по рационализации схем движения транспортных потоков //Актуальные проблемы и перспективы развития дорожно-транспортного комплекса. – 2017. – С. 173-173.
2. Khabibullina E. L., Sysoev A. S. Forming Production Rules in Intelligent Transportation System to Control Traffic Flow. – 2020.
3. Salazar M. et al. On the interaction between autonomous mobility-on-demand and public transportation systems //2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). – IEEE, 2018. – С. 2262-2269.
4. Avătămăniței S. A. et al. Experimental evaluation of traffic light to vehicle visible light communications in snowfall conditions //2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). – IEEE, 2020. – Т. 1. – С. 693-696.
5. Агержанова Д. К. Моделирование интенсивности движения транспортных процессов на перекрестке с двухполосным движением //Студенческий форум. – 2020. – №. 2-1. – С. 49-50.
6. Воробьев А. Л. Один из путей решения проблемы дорожных заторов методами стандартизации. – 2017.
7. Ao G. C., Chen H. W., Zhang H. L. Discrete analysis on the real traffic flow of urban expressways and traffic flow classification //Advances in Transportation Studies. – 2017. – Т. 1.
8. Agafonov A. Traffic flow prediction using graph convolution neural networks //2020 10th International Conference on Information Science and Technology (ICIST). – IEEE, 2020. – С. 91-95.
9. Naumova N. A., Naumov R. A. A Method of Solving Some Optimization Problems for Dynamic Traffic Flow Distribution //International Review on Modelling and Simulations. – 2018. – Т. 11. – №. 4. – С. 245-251.
10. Демин А. Ю., Ваньков Н. Н. Оценка интенсивности движения транспортных средств и ее влияние на безопасность дорожного движения //Наука и практика. – 2016. – №. 1. – С. 40-43.

References

1. Evlenov R. G., Igitov Sh. M., Muradaliev Z. Z. Analysis of the existing system of traffic flows and recommendations for the rationalization of traffic flow patterns //Actual problems and prospects of development of the road transport complex. – 2017. – pp. 173-173.
2. Khabibullina E. L., Sysoev A. S. Forming Production Rules in Intelligent Transportation System to Control Traffic Flow. – 2020.
3. Salazar M. et al. On the interaction between autonomous mobility-on-demand and public transportation systems //2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). – IEEE, 2018. – pp. 2262-2269.
4. Avătămăniț E. S. A. et al. Experimental evaluation of traffic light to vehicle visible light communications in snowfall conditions //2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). – IEEE, 2020. – Vol. 1. – pp. 693-696.
5. Agerzhanokova D. K. Modeling of traffic intensity of transport processes at the intersection with two-lane traffic //Student Forum. – 2020. – №. 2-1. – Pp. 49-50.
6. Vorobyev A. L. One of the ways to solve the problem of traffic congestion by standardization methods. – 2017.
7. Ao G. C., Chen H. W., Zhang H. L. Discrete analysis on the real traffic flow of urban expressways and traffic flow classification //Advances in Transportation Studies. – 2017. – Vol. 1.
8. Agafonov A. Traffic flow prediction using graph convolution neural networks //2020 10th International Conference on Information Science and Technology (ICIST). – IEEE, 2020. – pp. 91-95.
9. Naumova N. A., Naumov R. A. A Method of Solving Some Optimization Problems for Dynamic Traffic Flow Distribution //International Review on Modeling and Simulations. – 2018. – Vol. 11. – No. 4. – pp. 245-251.
10. Demin A. Yu., Vankov N. N. Assessment of vehicle traffic intensity and its impact on road safety //Science and practice. - 2016. – No. 1. – pp. 40-43.

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК В ТЫЛОВОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Чеботаев А.А.¹, Ивахненко А.М.²

¹ НЦКТП Министерства транспорта РФ

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Аннотация: В постановочной статье рассматриваются вопросы формирования интегральных логистических цепей поставок с тыловым автомобильным обеспечением. Предложена новая совместная 2-х звенная интегральная логистическая цепь, объединяющая экономику тыла и вооруженные силы. Все оценки и предложения в первом звене рассматриваются применительно к интенсивности грузообразования в реальном секторе. Оценки и предложения во втором звене характеризуют различные способы автомобильной доставки при различной удаленности тыла и с использованием новой транспортно-технологической системы с разделенной тягой и сменными кузовами. В качестве критериев эффективности используется время оборота для потока материальных средств и складские запасы в тонно-сутках.

Ключевые слова: 2-х звенная интегральная логистическая цепь; тыл; вооруженные силы; тыловое обеспечение; производственная поверхность; транспортно-логистическая система; военные запасы; тыловые пункты

© Чеботаев А.А., Ивахненко А.М.

Поступила 10.04.2023, одобрена после рецензирования 05.06.2023, принята к публикации 05.06.2023.

Для цитирования:

Чеботаев А.А., Ивахненко А.М. К вопросу формирования логистических цепей поставок в тыловом обеспечении // Логистика и управление транспортными системами. - 2023. - Т. 20, №2 (107). - С. 33–44.

Чеботаев А.А. д.т.н., проф., главный научный сотрудник НЦКТП Министерство транспорта РФ, Почетный работник транспорта России, AuthorID:534125;
Ивахненко А.М.*, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Менеджмент» МАДИ, AuthorID: 330004; +7-919-772-44-78, Ivakhnenko_am@mail.ru

TO THE QUESTION OF FORMING LOGISTIC CHAINS OF SUPPLY IN LOGISTICS

Chebotaev A.A.¹, Ivakhnenko A.M.²

¹ NCCTP of the Ministry of Transport of the Russian Federation

² Moscow Automobile and Road Construction State Technical University

Abstract: The staged article deals with the formation of integrated logistics supply chains with logistic vehicle support. A new joint 2-link integrated logistics chain is proposed, which combines the rear economy and the armed forces. All estimates and proposals in the first link are considered in relation to the intensity of cargo formation in the real sector. Estimates and proposals in the second link characterize various methods of road delivery to different rear distances using a new transport and technological system with split traction and swap bodies. The turnaround time for the material flow and the inventory cost in ton-days are used as performance criteria.

Keywords: 2-link integrated logistics chain; rear; armed forces; logistic support; production surface; transport and logistics system; military stocks; rear points.

© Chebotaev A.A., Ivakhnenko A.M.

Received 10.04.2023, approved 05.06.2023, accepted for publication 05.06.2023.

For citation:

Chebotaev A.A., Ivakhnenko A.M. To the question of forming logistic chains of supply in logistics. Logistics and Supply Chain Management. 2023. Vol 20, Iss 2 (107). pp. 33-44.

Chebotaev A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the NCSP of the Ministry of Transport of the Russian Federation, Honorary Worker of Transport of Russia, AuthorID:534125;
Ivakhnenko A.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Management» MADI, AuthorID: 330004; +7-919-772-44-78, Ivakhnenko_am@mail.ru

Тыловое обеспечение осуществляется с целью бесперебойно-потокowego и своевременного поддержания боеспособности войск при выполнении задач в соответствии с планируемыми направлениями развития операций. Основной отличительной чертой тылового обеспечения является сложность координации различных материальных средств участниками поставок. При решении технико-эксплуатационных задач, связанных с поставками тылового обеспечения, возникает необходимость качественной оценки предлагаемых мероприятий для выбора наиболее эффективных из них. Тыловое обеспечение материальных, технических, медицинских, бытовых ресурсов может выполняться для поддержки боевой готовности по-разному. Выпускаемая тарно-штучная продукция отраслями экономики может перевозиться теми или иными видами транспорта с использованием различных погрузо-разгрузочных средств с участием поддонов или без них. На практике выбор в таких сложных системах наиболее эффективного варианта доставки продукции должен быть сделан путем поиска научно-обоснованного подхода. В мире для решения устойчивости сложных систем используется теория множеств.

Теоретически устойчивость функционирования тылового обеспечения войск можно представить как весьма сложную систему в виде множества, обозначенного, например, буквой $\underline{L}$, состоящее из 2-х подмножеств $\underline{L}.1$, $\underline{L}.2$. Математически такая система-множество запишется как непустое множество в составе этих 2-х подмножеств, т.е.:

$$\underline{L} = (\{\underline{L}.1\}, \{\underline{L}.2\}), \quad (1)$$

где $\underline{L}.1 \in \underline{L}$ и $\underline{L}.2 \in \underline{L}$.

Из формулы (1) следует, что оба подмножества $\underline{L}.1$ и $\underline{L}.2$ принадлежат множеству $\underline{L}$ в качестве его составных частей, и одновременно взаимодействуют между собой. Система устойчивого функционирует только при наличии этих двух взаимосвязанных подмножеств. Если теоретически систему-множество представить как интегральную цепь поставок тылового обеспечения войск, то подмножество $\underline{L}.1$ становится первым звеном, представляющим собой отрасли экономики, а второе подмножество как средство доставки матери-

ально-технических ресурсов на всю удаленность (глубину) тыла, то получим новую 2-х звенную совместную интегральную логистическую цепь поставок тылового обеспечения ($\underline{L}$).

В научном мире существует бесчисленное количество определений логистики (1,2,3, 4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14, 15).

Исходя из целевых задач тылового поддержания войск и полного удовлетворения их потребностей, нами дано два новых определения логистики в области снабжения. Одно определение сформулировано как наука, а второе как практика тылового обеспечения.

Логистика как наука тылового обеспечения войск – это область знаний о закономерностях движения информационных, денежно-финансовых и материальных потоков в единой системе экономики тыла и вооруженных сил.

Логистика в практике тылового обеспечения – это формирования на базе потоков совместных материальных цепей поставок и необходимых складских запасов материально-технических ресурсов с целью бесперебойного и своевременного поддержания боевой готовности войск при выполнении поставленных задач с минимальными затратами времени и труда.

Формирование совместных интегральных логистических цепей поставок снабжения войск зависит от ряда факторов: это прежде всего возможности реального производства, интенсивности грузообразования материальных средств и др.

На основании формулы (1) с учетом вышперечисленных факторов разработана схема совместной 2-х звенной интегральной цепи поставок автомобильным транспортом материальных средств тылового обеспечения (рис.1). Интегральная цепь поставок определяет единство тыла и вооруженных сил.

Первое звено-тыл (опора) логистической цепи

Первое звено $\underline{L}.1$ совместной интегральной цепи $\underline{L}$ (рис.1) характеризует производственные возможности отраслей экономики, т.е. тыла, обеспечить вооруженные силы материальными средствами. Интенсивность гру-

зоообразование, т.е. объем, производства выпускаемых материальных средств за единицу времени, не совпадает с временем отправления партий в войска. Теоретически идеальным вариантом следует считать бесперебойность и своевременность поставок в войска, когда по мере производства и выхода продукции она загружалась бы в транспортные средства. На практике это не так. Изготовленные, например, боекомплекты или сухпайки поступают сначала в накопительные емкости предприятий. Эффективность накоплении concentra-

ции погрузки здесь не рассматривается. Важно оценить производственные возможности и не допустить замедления доставки продукции с учетом возможного повышения интенсивности для выполнения поставленных новых задач.

Интенсивность производства, темпы роста материально-технических ресурсов для вооруженных сил зависит от двух основных факторов: затрат труда и расхода материалов, сырья, комплектующих.

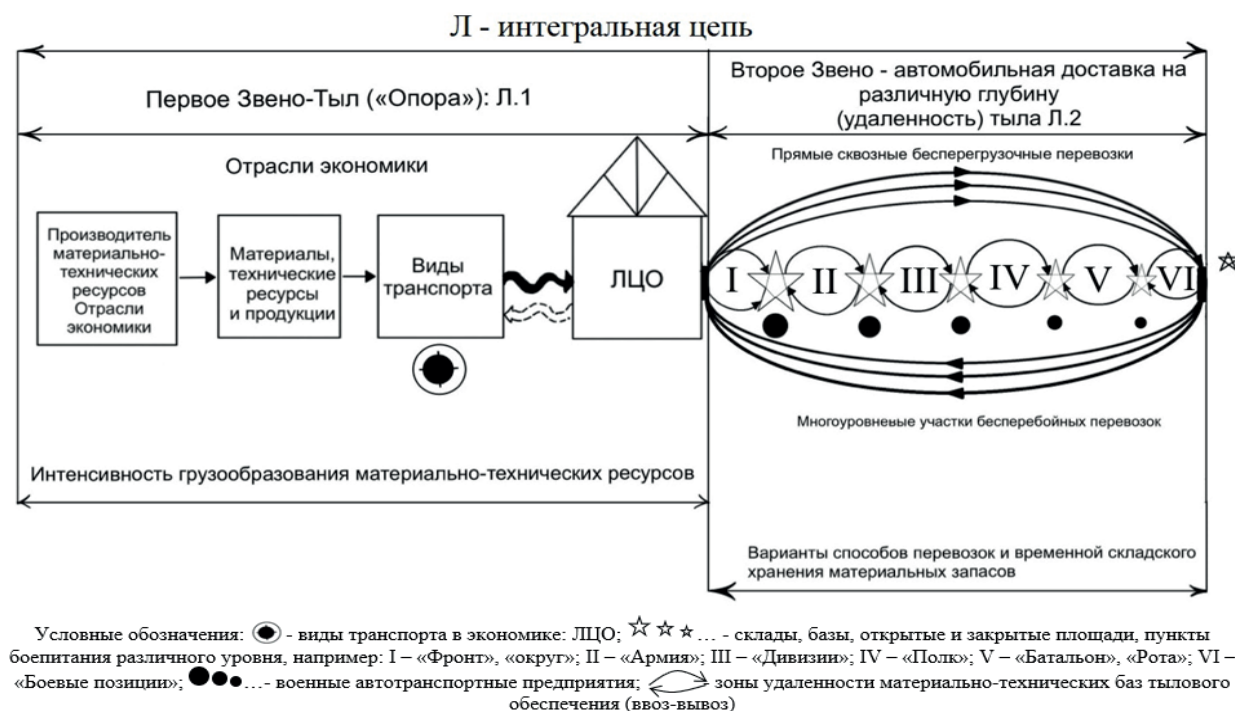


Рисунок 1. Совместная 2-звенная интегральная логистическая цепь поставок материальных средств с автотранспортным обеспечением

Допустим, возникает необходимость увеличить, в связи с новыми поставленными задачами войск, производство требуемой продукции. Пользуясь этими двумя измерителями можно оценить перспективную возможность отраслей экономики на удовлетворение потребности войск. Если представить в среде материального производства выпуск военной продукции, зависящей от затрат труда и расхода сырья, материалов, комплектующих, то можно построить, так называемую, многостадийную технологическую производственную поверхность. Отложив на оси X расходы сырья, материалов, комплектующих, а потом на оси Y затраты труда, то получим например

трех стадийное геометрическое отражение производственной поверхности в 3-х мерном пространстве с аппликацией Z выпускаемой продукции и изоквантой на плоскости ХоУ (рис.2).

Как видно из данных рис.2 точки расположенные на плоскости ХоУ – Z'_0, Z''_0, Z'''_0 характеризуются отсутствием выпускаемой продукции. Особенность этих точек заключается в том, что горизонтальные линии, проходящие через них с любым сочетанием затрат труда и расхода материалов, сырья, комплектующих, обеспечивают максимальный трехстадийный рост выпуска продукции $Z'_{max}, Z''_{max}, Z'''_{max}$ Следовательно, построенная поверхность в

реальных отраслях экономики может удовлетворить войска в необходимой продукции с повышенной интенсивностью.

Для логистики тылового обеспечения приоритетным остается такое многостадийное интенсивное производство, при котором будут формироваться необходимые материальные потоки, поступающие на склады, базы транспортной инфраструктуры или, напри-

мер, на Логистический центр общего пользования (ЛЦО).

Таким образом, в качестве критерия определения эффективности первого звена интегральной цепи используется интенсивность грузообразования отраслей экономики в соответствии с заказами вооруженных сил.



Рисунок 2. Производственная поверхность формирования 3-стадийной интенсификации выпуска материально-технических ресурсов (продукции)

Второе звено логистической цепи

Второе звено интегральной логистической цепи характеризует автомобильную доставку на различную удаленность (глубину) тыла, достигающую 700-900км. Предлагается два способа доставки: прямые, сквозные бесперегрузочные перевозки и многоуровневые, участковые (рис.1). Таким образом, выбирая эти варианты можно оценить их влияние на эффективность тылового обеспечения и определить наиболее рациональный.

При реализации первого варианта необходимые материально-технические ресурсы доставляются централизованно одним транспортным предприятием, расположенном в начале логистической цепи. Грузовые автомобили в прямом и обратном направлении перемещаются без перезагрузки на маршруте. Конечные тыловые пункты получают необходимые мате-

риальные ресурсы без использования «своих» грузовых автомобилей.

Изменяющийся натуральный критерий оценки бесперебойности тылового обеспечения «время оборота» на маршруте рассчитывается по известной формуле:

$$t_{\text{обор}} = \frac{2l}{V_t} + \sum_n t_{n/p} + \sum_k t_{n/p} + \sum T_0 + \sum V, \text{ ч.} \quad (2)$$

где l - удаленность тыловых пунктов, км;

V - техническая скорость км/ч.;

$\sum_n t_{n/p}, \sum_k t_{n/p}, \sum T_0, \sum V$ - соответственно время

простоя под погрузкой-разгрузкой в начальном, конечном пункте и время простоя на техническое обслуживание, а также время отдыха водителя, ч.

При реализации второго варианта необходимые материально-технические ресурсы доставляются «своими» транспортными предприятиями расположенными на «стыках» пути более коротких тыловых участков (рис.1). Вре-

мя оборота на этих участках рассчитывается по формуле (2) без учета времени простоя на техническое обслуживание и отдых военных водителей. На «стыковых» участках происходит длительная перегрузка (часто ручная) грузов из одного бортового грузового автомобиля в другой или непосредственно на склад. Как показал анализ современных условий автомобильного тылового обеспечения длительных перегрузочных работ не в полной мере удовлетворяют специфические требования военных перевозок, связанные с необходимостью снижения времени интервала движения (оборота). Это в значительной степени касается больших объемов перевозок тарно-упаковочных и штучных военных грузов.

Для повышения мобильности перевозок, ускорения доставки грузов и их сохранности при перегрузках предлагается заменить существующую систему на новую транспортно-технологическую, состоящую из двух легко разъединяющихся частей: раздельной тяги в виде шасси автомобиля или седельного тягача с механизмом съема и сменных кузовов или отцепных полуприцепов различного функционального назначения и грузоподъемности. Внедрение такой технологии в военные перевозки тыла позволит одному солдату-водителю осуществлять установку, снятие, сцепку-отцепку уже груженых сменных кузовов в любых рассредоточенных пунктах, включая и полевые условия. В условиях суточных грузопотоков раздельная тяговая сила-грузовые шасси и седельные тягачи, передвигаясь со сменными кузовами, не простаивают во время погрузки и разгрузки других сменных кузовов в начальном и конечном пункте доставки. Такая раздельность движения и выполнения погрузки-разгрузки обеспечивает увеличение количества оборотов и производительность транспортных средств.

Однако, применение новой технологии тылового обеспечения требует выполнения расчетов необходимого количества сменных кузовов, приходящихся на раздельные тяговые средства. При разработке единых технологических процессов необходимо иметь ввиду, что идеальным условием использования новой системы для любых схем доставки и

различной удаленности тыловых пунктов является тогда, когда один съемный кузов находится под погрузкой, второй под разгрузкой, а третий кузов находится в движении вместе с грузовым шасси или седельным тягачом. В приведенном идеальном варианте с одним тяговым средством количество сменных кузовов определяется по формуле:

$$n_{\text{с.к.}} = 1 + \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{инт}}} + \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{инт}}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{п}}$, $t_{\text{р}}$ – соответственно время простоя кузова в начальном и конечном пункте тылового маршрута, ч.;

$t_{\text{инт}}$ – интервал движения (время оборота) раздельной тяги на тыловом маршруте.

Интервал движения тягового средства рассчитывается с учетом формулы Ходоша М.С.

$$t_{\text{инт}} = \frac{2l}{V_{\text{т}}} + t_{\text{уст.сцеп}} + t_{\text{сн.отц}}, \quad \text{ч.}$$

$$t_{\text{инт}} = \frac{2(l + t_{\text{уст.сцеп}} * V_{\text{т}} + t_{\text{сн.отц}} * V_{\text{т}})}{V_{\text{т.ч}}}, \quad \text{ч.} \quad (4)$$

где l – удаленность тылового пункта, км, $t_{\text{уст.сцеп}}$, $t_{\text{сн.отц}}$ – соответственно время установки сменного кузова и сцепки с полуприцепом, или снятие съемного кузова и отцепки полуприцепа на тыловом маршруте, ч.;

$V_{\text{т}}$ – техническая скорость, км/ч.

Если в перспективе ожидается использование на маршруте не одного, а нескольких тяговых средств, то полученные значения по формуле (3) необходимо разделить на их количество. Ниже приведен пример опытных расчетов использования новых технологий в тыловом обеспечении.

Пример опытных расчетов

Допустим автотранспортному подразделению поручено провести испытание новой транспортно-технологической системы с участием полученных 4-х грузовых шасси с гидроприводом и грузоподъемностью 5 т. Сколько потребуется съемных кузовов, если расстояние между тыловыми пунктами составляет 25 км; разрешенная техническая скорость на маршруте 35 км/ч; время погрузки груза в начальном пункте $t_{\text{п}} = 20$ минут, разгрузки кузова в конечном пункте $t_{\text{р}} = 15$ минут; время установки груженного кузова с маневрированием $t_{\text{у.к}} = 5$ минут, а время его снятия $t_{\text{с.к}} = 4$ минуты? По формуле (4) интервал дви-

жения (время оборота шасси) равно $t_{\text{инт}} = 0,42$ ч. и 1,68 ч. для одного шасси. Численность кузовов в пункте погрузки: $N_{\text{с.к}} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{у.к}}}{t_{\text{инт}}} = 1$, а в пункте разгрузки $N_{\text{с.к}} = \frac{t_{\text{р}} + t_{\text{с.к}}}{t_{\text{инт}}} = 1$.

Следовательно, для поддержания боевой готовности подразделения и бесперерывном и своевременном подвозе материальных ресурсов общее количество съемно-сменных кузовов составит $N_{\text{общ.с.к.}} = 4+1+1=6$ ед., при времени оборота шасси 0,42 ч. или 1,68 ч. для функционирования одного шасси. Для сравнения, в этих эксплуатационных условиях время оборота грузового автомобиля с жестким несменным кузовом составит 2 час. Таким образом, сопоставление по главнейшему критерию тылового обеспечения времени оборота транспортных средств показывает, что рекомендуемая транспортно-технологическая система с раздельной тягой и съемными кузовами эффективнее в 2/0,42 – приблизительно в 4,8 раза.

Соответствие производственной мощности автотранспортного предприятия обеспечения размерам «оставленной» среднесуточной интенсивности потока ввоза материальных ресурсов на тыловой пункт $Q_{\text{в.с.с.}}$ представляет собой важный фактор изменения запасов. Это условие соблюдается, если выполняется следующее условие:

$$Q_{\text{в.с.с.}} = q * \gamma * \beta * \Pi_{\text{с.обор}}, \text{ т/сутки} \quad (5)$$

где $q\gamma\beta$ – соответственно грузоподъемность, коэффициенты использования грузоподъемности и пробега парка;

$\Pi_{\text{с.обор}}$ – количество оборотов в сутки, ед. (как частное от деления 24 на время оборота в часах).

Остановленные (ввезенные) материальные потоки обеспечения войск в тыловых пунктах снабжения становятся военными запасами. Таким образом, в качестве важного критерия оценки эффективности второго звена материальной цепи является использование времени оборота автомобильных транспортных средств. При снижении времени оборота повышается боеготовность подразделений.

Военные запасы – остановленные на время материальные потоки в тыловых пунктах

Военные складские запасы (боекомплекты, сухпайки, топливо, запчасти, технические, бытовые, санитарные и др. средства) должны исходить из необходимости бесперерывной и своевременной поддержки войск. Перспективная потребность в тыловых пунктах-складах определяется, исходя из ожидаемых объемов логистических материальных потоков, формирующих общий объем запасов и научно-обоснованных перспективных норм расхода (потерь) материальных ресурсов. Количество тыловых пунктов (складов) $N_{\text{т.п.}}$, функционирующих в интегральной логистической цепи на всей её удаленности, рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{т.п.}} = \frac{Q_{\text{зап.п.н.}}}{Q_{\text{с.с.}}^{\text{р.}} * T_{\text{э.}}} \quad (6)$$

где $Q_{\text{зап.п.н.}}$ – планируемая полная норма запаса в логистической цепи, т.;

$Q_{\text{с.с.}}^{\text{р.}}$ – среднесуточный ожидаемый расход (потери), т/сутки;

$T_{\text{э.}}$ – эксплуатационный период функционирования тылового пункта-склада, сутки.

Потребность в количестве тыловых пунктов-складов, их структура определяется на основании численности и размера подразделения. На рис.1 показан наш вариант размещения ранжированных тыловых пункта-склада и шестого полевого в виде материально-технической базы на боевых позициях. Первый уровень характеризует запасы на окружном (фронтовом), второй на армейском, третий на дивизионном, четвертый на бригадном (полковом), пятый на батальонном, ротном уровне и шестой непосредственно на боевых позициях.

Исходя из существующей технологии материально-технического снабжения, общепринятым правилом считается полной нормой запаса на военном складе если есть текущий $Q_{\text{тек.}}^{\text{зап.}}$, страховой $Q_{\text{стр.}}^{\text{зап.}}$, технологический $Q_{\text{тех.}}^{\text{зап.}}$, а также транспортный $Q_{\text{тр.}}^{\text{зап.}}$. Отсутствие или изменение одного из запасов может привести к задержке выполнения боевых задач или привести к задержке их выполнения на некоторое время или даже к полной их отмене. На общий уровень развития и состояния боевых задач влияет постоянное, непрерывное изменение запасов (рис.3).

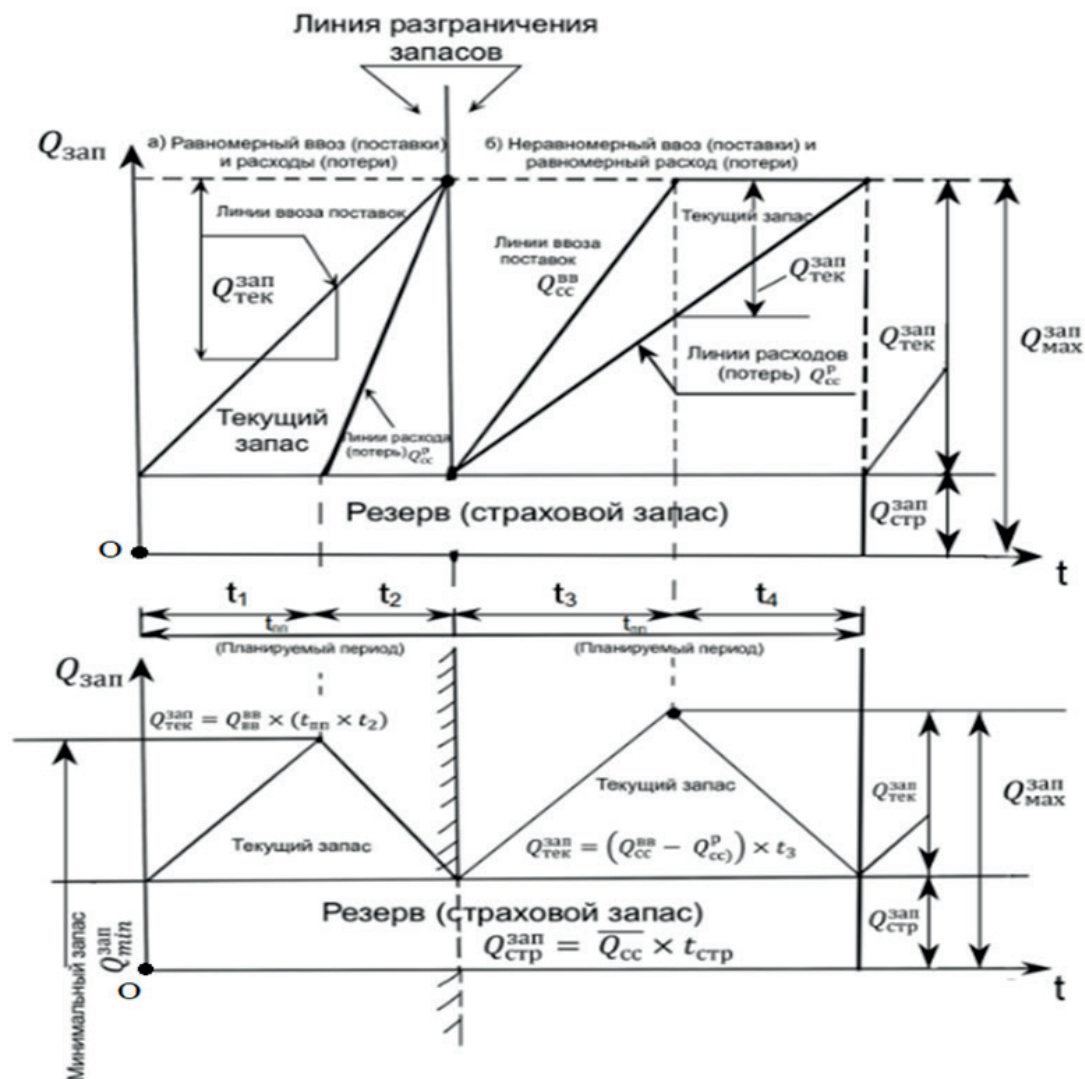


Рисунок 3. Среднесуточное изменение военных материальных запасов в тыловом пункте-складе при: а) равномерном ввозе (поставке) и расходах (потерях) и б) неравномерном ввозе (поставках) и равномерных расходах (потерях)

В связи с большой неравномерностью изменения запасов определения целесообразности использования различных технологий заключается в изучении двух условных вариантов в тыловом пункте (рис.3). В варианте а) предлагается функционирование тылового пункта в условиях равномерного ввоза и расхода (потерь) материальных запасов с некоторым запаздыванием их расхода (потерь) на время $t_2 = t_{\text{пл}} - t_1$. Наполнение текущего запаса с помощью ввоза происходит в течение времени t_1 . Текущий запас равен $Q_{\text{тек.}} = Q_{\text{с.с.}}^{\text{в.в.}} * t_1$ В варианте б) предполагается функционирование тылового пункта (рис. 3) в условиях неравномерного ввоза (из-за боевых операций) и равномерного расхода (потерь) на весь планируемый период $t_{\text{пл}}$.

После периода $t_3 = t_{\text{пл}} - t_4$ ввоз прекращается. Так как наполнение запаса происходит в течение периода t_3 , а расход происходит в течение всего периода $t_{\text{пл}}$, то текущий операционный запас составит $Q_{\text{тек.}}^{\text{зап.}} = (Q_{\text{с.с.}}^{\text{в.в.}} - Q_{\text{с.с.}}^{\text{р.}}) * t_3$. Таким образом, становится очевидным, что в тыловых пунктах-складах натуральный критерий-время, является важным фактором оценки эффективности тыловых пунктов. Необходимость в сравнении этих вариантов возникает при постановке конкретных задач и один из вариантов может оказаться нецелесообразным в связи с изменившимися обстоятельствами.

Эффективность функционирования тыловых пунктов-складов зависит от их емкости, времени хранения материальных ресурсов и других факторов. К сожалению, этому вопросу

до сих пор не уделяется должного внимания. Однако оперативный запас в тыловых пунктах зависит как от грузоподъемности транспортных средств, так и от объема среднесуточного расхода (потерь). Для оценки эффективности тыловых пунктов предлагается ввести объединяющий суммарный критерий в тонно-сутках:

$$\Xi = E * t_{\text{хр}}, \text{ тонно-сутки}, \quad (7)$$

где E – фактическая емкость тылового склада, т.;

$t_{\text{хр}}$ – среднесуточный срок хранения материальных средств, сутки.

Чем скорее реализуется боевая задача, чем меньше фактическое время хранения и тем меньше при том же значении E затраты в тонно-сутках. Критерием оценки складских военных запасов в интегральной логистической цепи является затраты в тонно-сутки при выполнении поставленных задач, а не стоимость затрат на хранение партии поставок как это принято в рыночно-хозяйственной деятельности. Среднесуточные сроки хранения пищевых продуктов устанавливаются с учетом среднесуточных сроков годности, срокам хранения и способов транспортировки в соответствии с Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 22 мая 2003 г. №98 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.3.2.1324-03 (вместе с СанПиН 2.3.2.1324-03.2.3.2)».

На объемы тонно-часов тыловых пунктов влияет также наличие остатка на складах. Остаток запаса к началу планируемых операций $Q_{\text{ост.}}$ рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ост.}} = Q_{\text{фак.ост.}} - Q_{\text{р}} + Q_{\text{в.в.}}, \text{ т.} \quad (8)$$

где $Q_{\text{фак.ост.}}$ – остаток на начало планируемого периода, т.;

$Q_{\text{р}}$ – планируемый расход (потери), т.;

$Q_{\text{в.в.}}$ – планируемый ввоз (поставки), т.

Пример. В подразделении на линии боевого соприкосновения остаток боекомплекта составляет 0,25т. До конца проведения операции подвезут 0,97т. Планируемый расход (потери) для выполнения поставленной задачи составит 0,85т. В итоге ожидаемый остаток в запасе этого подразделения к началу проведения операции составит: $0,25 - 0,85 + 0,97 = 0,37\text{т.}$, что и обеспечит требуемую поддержку выполнения задачи.

Одним из способов снижения складского времени и трудоемкость хранения является использования пакетных перевозок. Пакеты формируются в основном на поддонах 800x1200мм, 1000x1200мм (рис.4). Основные преимущества пакетизации военных грузов заключается в механизированном выполнении электро-автопогрузчиками погрузо-разгрузочных работ. При этом, как правило повышается сохранность продукции с минимальными трудовыми затратами.

В соответствии с утвержденными межотраслевыми нормами времени на погрузку, разгрузку автотранспорта и выполнении складских работ для наиболее многочисленных тарно-упаковочных и штучных грузов массой до 500 кг норма времени грузчиков при ручной переработке и механизированным способом в чел.ч/сут в 3-5 раз меньше, чем вручную (6,7)



Рисунок 4. Пример пакетизации тыловых запасов с использованием электро-автопогрузчиков и поддонов

Выводы

Как показано в статье формирование 2-х звенных интегральных логистических цепей поставок в тыловом обеспечении требуют комплексного системного подхода, при котором необходимо учитывать согласованность и взаимодействие экономики тыла и вооруженных сил. Исследование показало, что непрерывность, своевременность тылового обеспечения необходимо рассматривать в зависимости от формируемых объемом текущих, переходных запасов в тыловых пунктах, а также и от способов их функционирования в условиях как равномерного по времени ввоза и расхода (потерь) материальных ресурсов, так и в условиях равномерного расхода (потерь) и неравномерного ввоза из-за боевых

условий. Установлено, что время является важным фактором оценки эффективности тыловых пунктов.

Основой предложенной не традиционной в 2-х звенной логистической цепи поставок тылового обеспечения является использование транспортно-технологических систем в составе раздельной тяги в виде грузовых шасси автомобилей, седельных тягачей и сменных (съёмных), отцепных кузовов, что приводит к сокращению времени оборота грузового шасси, как показали варианты расчетов в 4-5 раз.

Новые определения логистики целесообразно использовать при формировании различных интегральных цепей поставок в тыловом обеспечении, а также и в учебном процессе.

Список источников

1. Рахмангулов А. Н., Трофимов С. В., Гавришев С. Е., Макаров А. М. Транспортная логистика – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2000. – 372 с. – ISBN 5-89514-136-6.
2. Григорьев М.Н., Ткач В. В., Уваров С. А. Коммерческая логистика: теория и практика: учебник для вузов. М.: Юрайт, 2022 г. – 507 с.
3. Лукинский В.С., Лукинский В. В., Плетнева Н.Г. Логистика и управление цепями поставок: учебник и практикум для вузов. М.: Юрайт, 2022 г. – 359 с.
4. Эмиров А.Е., Эмиров Н. Д. Международная логистика: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2022 г. – 173 с.

5. Джонсон Дж., Вуд Д., Вордлоу Д., Мерфи П. Современная логистика. М.: Дом «Вильямс», 2002 г. – 624 с.
6. Постановление Минтруда РФ от 17.10.2000г № 76 «Об утверждении межотраслевых норм времени на погрузку, разгрузку вагонов, автотранспорта и складских работ».
7. Единые нормы выработки и времени на вагонные, автотранспортные и складские погрузочно-разгрузочные работы. М.: Экономика, 1987 г. – 156 с.
8. Тихомиров Н.Н. Техничко-экономические изыскания и проектирование автотранспортных предприятий. М.: Транспорт, 1973 г. – 256 с.
9. Ходош М.С. Грузовые автомобильные перевозки. М.: Транспорт, 1975 г. – 240 с.
10. Чеботаев А.А. Геотранспортные ресурсы России. М.: Экономика, 2012 г. – 545 с.
11. Чеботаев А.А., Чеботаев Д.А. Логистика и менеджмент товародвижения. М.: Экономика, 2012 г. – 397 с.
12. Кудашкин В.Н. Планирование и управление логистическим циклом тылового обеспечения // Статистика и экономика, 2017 г. – №1 – с. 86-95.
13. Хайтбаев Валерий Абдурахманович. Логистика системы тылового обеспечения Вооруженных Сил в современных условиях: Дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05: Самара, 2001 171 с.
14. Федеральный закон «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации» от 26.02.1997 г. №31-ФЗ (последняя редакция от 04.11.2022 г.). Ст.13. Военно-транспортная обязанность.
15. Чеботаев А.А. Эдиев С.Б. Съёмные кузова автомобилей. М.: Транспорт, 1976 г. – 95 с.

References

1. Rakhmangulov A. N., Trofimov S. V., Gavrishev S. E., Makarov A.M. Transport logistics – Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 2000. – 372 p. – ISBN 5-89514-136-6.
2. Grigoriev M.N., Tkach V. V., Uvarov S. A. Commercial logistics: theory and practice: textbook for universities. M.: Yurayt, 2022 – 507 p.
3. Lukinsky V.S., Lukinsky V. V., Pletneva N.G. Logistics and supply chain management: textbook and workshop for universities. Moscow: Yurayt, 2022 – 359 p.
4. Emirov A.E., Emirov N. D. International logistics: a textbook for universities. M.: Yurayt, 2022 – 173 p.
5. Johnson J., Wood D., Wardlow D., Murphy P. Modern logistics. M.: Williams House, 2002 – 624 p.
6. Resolution of the Ministry of Labor of the Russian Federation No. 76 dated 17.10.2000 «On approval of intersectoral norms of time for loading and unloading wagons, vehicles and warehouse work».
7. Uniform norms of output and time for wagon, motor transport and warehouse loading and unloading operations. Moscow: Ekonomika, 1987 - 156 p.
8. Tikhomirov N.N. Technical and economic surveys and design of motor transport enterprises. M.: Transport, 1973 - 256 p.
9. Khodosh M.S. Freight road transport. M.: Transport, 1975 – 240 p.
10. Chebotaev A.A. Geotransport resources of Russia. M.: Economics, 2012 – 545 p.
11. Chebotaev A.A., Chebotaev D.A. Logistics and commodity movement management. M.: Economics, 2012 – 397 p.

12. Kudashkin V.N. Planning and management of logistics cycle of logistics support // Statistics and Economics, 2017 – No. 1 – pp. 86-95.
13. Khaitbayev Valery Abdurakhmanovich. Logistics of the logistics system of the Armed Forces in modern conditions: Dis. ... Candidate of Economic Sciences: 08.00.05: Samara, 2001 171 p.
14. Federal Law «On Mobilization Training and Mobilization in the Russian Federation» dated 26.02.1997 No. 31-FZ (last edition dated 04.11.2022). Article 13. Military transport duty.
15. Chebotaev A.A. Ediev S.B. Removable car bodies. M.: Transport, 1976 – 95 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕРМИНАЛЬНО-СКЛАДСКОГО КОМПЛЕКСАВысочкин Д.С.¹, Сеницына А.С.¹¹ Российский университет транспорта

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы, связанные с возможностью автоматизации терминально-складского комплекса (ТСК). Приводятся основные этапы для реализации проекта по автоматизации объекта исследования. На основании существующей технологии работы детально описываются технологические операции комплекса и приводится схема всех функциональных зон. С учётом применения уникальной маркировки грузовых единиц с помощью QR-кода рассматривается алгоритм сквозного прослеживания единиц с товаром – картонных упаковок с момента прибытия до момента отправления грузов. Детально исследуются процессы автоматизированной сортировки и пакетирования продукции. Сортировка продукции осуществляется с использованием инструментов для сканирования QR-кода с каждой упаковки, благодаря чему появляется возможность автоматического учёта выходящего потока, распределения упаковок по способу доставки с помощью распределительного конвейера, а также преобразование данных с QR-кода в задачи кинематики для последующей операции пакетирования. Приводится пример генерации QR-кода. Пакетирование продукции осуществляется с помощью напольного пакетоформирующего автомата с манипулятором. В статье представлена конструктивная схема пакетоформирующего автомата, в частности, манипулятора; схема управления манипулятором. На основании исследуемого технологического подхода спроектирована пооперационная последовательность процессов сортировки и пакетирования в едином последовательном отображении, которая позволяет приступить к разработке программного обеспечения по автоматизации ТСК.

Ключевые слова: Терминально-складской комплекс, автоматизация, система управления, технологическая операция, QR-код.

© Высочкин Д.С., Сеницына А.С.

Поступила 30.05.2023, одобрена после рецензирования 30.06.2023, принята к публикации 30.06.2023.

Для цитирования:

Высочкин Д.С., Сеницына А.С. Определение технологических условий для автоматизации терминально-складского комплекса // Логистика и управление транспортными системами. - 2023. - Т. 20, №2 (107). - С. 45–59.

Высочкин Дмитрий Станиславович- Аспирант кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Российского университета транспорта, 127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9, тел. 8-920-541-45-94, e-mail: dmitrijvs@yandex.ru.

Синицына Анна Сергеевна к.т.н., доцент Российского университета транспорта 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, тел.8-985-928-33-80. e-mail: acc-lgkr@mail.ru AuthorID: 435995

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL CONDITIONS FOR THE AUTOMATION OF THE TERMINAL AND WAREHOUSE COMPLEX

Vysochkin D.S.¹, Sinitsyna A.S.¹

¹ Russian University of Transport

Abstract: The article deals with the problems associated with the possibility of automating the terminal warehouse complex (TWC). The main stages for the implementation of the project to automate the object of research are given. Based on the existing operation technology, technological operations of the complex are described in detail and the scheme of all functional areas is given. Taking into account the application of unique marking of cargo units with a QR code an algorithm of through-tracking of units with cargo - cardboard packages from the moment of arrival to the moment of cargo departure is considered. The processes of automated sorting and bundling of products are investigated in detail. Product sorting is carried out with the use of tools for scanning a QR-code from each package, due to which there is a possibility of automatic accounting of the outgoing flow, distribution of packages by the way of delivery by the distributive conveyor, and also data transformation from QR-code to the kinematic tasks for the following operation of bundling. An example of QR-code generation is given. Product bundling is carried out by means of a floor-type bundling machine with a manipulator. The paper presents a design diagram of the packetforming machine, in particular the manipulator; the manipulator control diagram. Based on the investigated technological approach, an operational sequence of sorting and bundling processes in a single sequential mapping is projected, which allows to start developing software to automate TWC.

Keywords: Terminal warehouse complex, automation, control system, technological operation, QR-code.

© Vysochkin D.S., Sinitsyna A.S.

Received 30.05.2023, approved 30.06.2023, accepted for publication 30.06.2023.

For citation:

Vysochkin D.S., Sinitsyna A.S. Determination of technological conditions for the automation of the terminal and warehouse complex. *Logistics and Supply Chain Management*. 2023. Vol 20, Iss 2 (107). pp. 45-59.

Vysochkin Dmitry Stanislavovich - Postgraduate student of the Department of Logistics Transport Systems and Technologies, Russian University of Transport. Moscow, Obraztsova street 9, p. 9, 127994, Moscow, Russia. phone. 8-920-541-45-94, e-mail: dmitrijvs@yandex.ru.

Sinitsyna Anna Sergeevna - Associate professor, Candidate of Sciences. Russian University of Transport Moscow, Obraztsova street 9, p., 127994, Moscow, Russia phone. 8-985-928-33-80. e-mail: acc-lgkr@mail.ru AuthorID: 435995

Вводная часть

Развитие цифровизации в транспортной отрасли является значимым звеном управления экономикой в России.

В рамках реализации программы «Цифровая экономика РФ» [13] планируется создать единую цифровую транспортно-логистическую систему (ЕЦТЛС), которая должна обеспечить сквозную прослеживаемость и контроль товаров вдоль всей цепи поставок. Такая система позволит запустить цифровые сервисы по контролю транзита – экспорта и импорта, оборудовать электронными датчиками грузовые вагоны и создать систему обязательного страхования грузов. Ключевым элементом ЕЦТЛС будет являться электронный способ уникальной маркировки грузовых единиц – QR-кодов [4].

Участок цепи поставок в интралогистике (обработка материального потока внутри предприятия) является не менее значимым для ЕЦТЛС, а с учётом автоматизации и внедрения цифровых сервисов позволяет осуществлять хранение и передвижение товаров без вмешательства человека. Каждый складской комплекс стремится к совершенствованию элементов всей терминальной системы для повышения пропускной способности и конкурентоспособности предприятия. В этой связи, разработка системы автоматизации терминально-складских комплексов (ТСК) на ос-

нове QR-кодов является актуальным направлением развития транспортно-логистической отрасли.

Однако, в настоящее время широкое внедрение систем автоматизации в практику перевозок сдерживается следующими факторами:

1) отсутствие на рынке электронных датчиков, сканеров 3D QR-кода маркировки продукции для ЕЦТЛС;

2) низкая автоматизация исполнительных устройств уровня локальной автоматики;

3) отсутствие отечественных производителей типовых модулей автоматизированной складской техники, конвейерных систем и систем хранения, в частности, автоматических пакетоформирующих машин с манипулятором.

В статье будет рассмотрена возможность разработки программного обеспечения для автоматизации конкретного ТСК в среде SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) на основании детализации технологических операций исследуемого объекта.

Комплекс мероприятий по автоматизации материального и информационного потока позволит в совокупности не только оптимизировать работу конкретного ТСК, но и включить в единую систему стратегически важные звенья цепи поставок.

Основная часть

Автоматизация ТСК предполагает ряд мероприятий и решений по созданию единой системы, позволяющей обеспечивать бесперебойное обслуживание объекта исследования [6].

К основным этапам автоматизации любого типа складского комплекса можно отнести:

1) определение потребностей и возможностей комплекса в автоматизации;

2) описание технологических операций и составление технического задания для складской автоматизации;

3) разработку программного обеспечения (ПО);

4) внедрение складского оборудования и системы адресного хранения (WMS) [9];

5) запуск интегрированных систем [1].

Для определения целесообразности и возможности автоматизации объекта исследования, прежде всего, обозначим краткую технологию обработки основного материального потока.

В качестве объекта исследования в статье рассматривается ТСК, осуществляющий обработку материального потока электротехнической продукции. Входной поток принимается на ТСК в стандартных европаллетах. Далее поток распределяется по зонам хранения:

1) хранение продукции в стандартных коробах для возможности автоматизации процесса сортировки и упаковки;

2) хранение продукции в контейнерах (многооборотная пластиковая тара размером

600*400*200мм) с предварительным разукрупнением паллет.

При формировании партии для отгрузки осуществляются следующие операции: перемещение паллет и контейнеров из зоны хранения в зону отбора; формирование укрупнённых грузовых мест (паллет) к отгрузке. Отгрузка выходного потока осуществляется, как правило, автотранспортом.

Для первоначального этапа автоматизации необходимо описать технологию ТСК в разрезе каждой операции. Полное представление и описание технологических операций с момента прибытия груза до момента его отправления приведено на рис. 1 и в таблице 1.

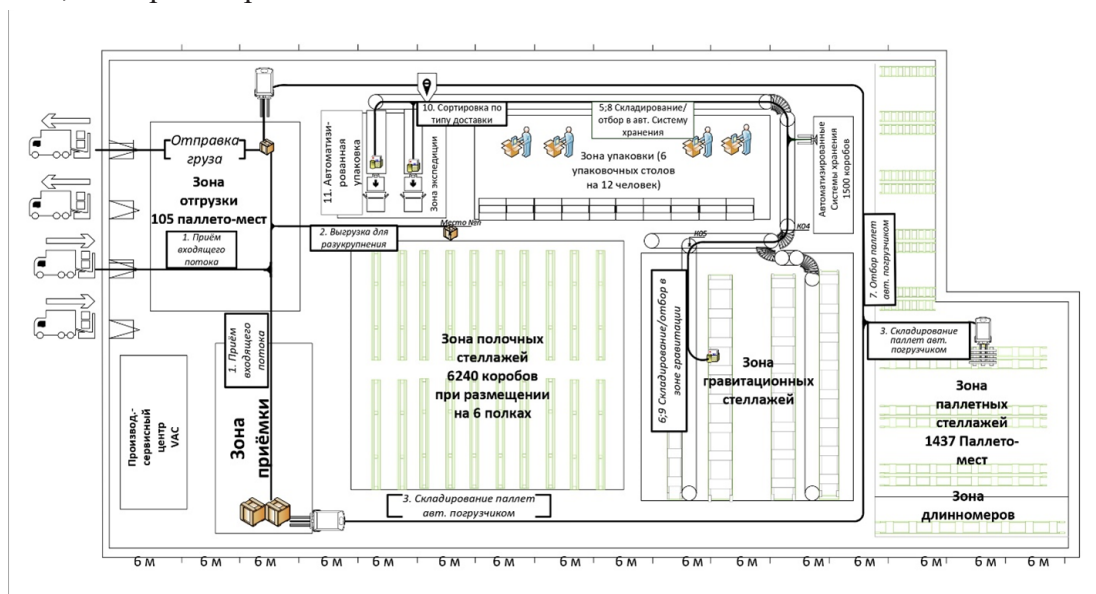


Рисунок 1. Схема функциональных зон ТСК

Таблица 1

Описание технологических операций ТСК

№	Наименование операции	Описание операции
1	Приёмка входящего потока на склад в паллетах	Перемещение паллет с грузом автоматизированным штабелёром из зоны разгрузки автотранспорта в зону приёмки
2	Выгрузка паллет для разукрупнения	Перемещение паллет с грузом автоматизированным штабелёром из зоны приёмки в зону разукрупнения
3	Складирование паллет автоматизированным штабелёром	Перемещение паллет с грузом автоматизированным штабелёром из зоны приёмки в зону хранения паллет, укладка паллеты в заданную ячейку в системе WMS
4	Ручное разукрупнение	Укладка товаров в многооборотные контейнеры поэлементно, установка контейнеров на конвейерную ленту
5	Складирование контейнеров в автоматизированной системе хранения	Перемещение контейнеров по конвейеру, сканирование QR-кода с торцевой стороны, продолжение движения, фиксация, перемещение товара на полку системы хранения в заданную ячейку
6	Складирование контейнеров в зоне гравитации	Перемещение контейнеров по конвейеру, сканирование QR-кода с торцевой стороны, продолжение движения, остановка, укладка контейнера на полку
7	Отбор паллет автоматизированным штабелёром	Перемещение паллет с грузом автоматизированным штабелёром из зоны паллетных стеллажей в зону отгрузки

8	Перемещение контейнера из автоматизированной системы хранения в зону отбора	Перемещение товара в окно выдачи автоматизированной системы, захват контейнера, перемещение на конвейер, перемещение контейнера по конвейеру в зону отбора
9	Перемещение контейнера из зоны гравитации в зону отбора	Сканирование контейнера, установка контейнера с грузом на конвейер, перемещение контейнера по конвейеру
10	Ручной отбор	Отбор необходимого количества единиц товара, укладка на конвейер для дальнейшего отбора и упаковки
11	Сортировка по типу доставки	Движение упаковок по конвейеру, сканирование штрих-кодов на упаковках с помощью сканера, установленного над лентой
12	Автоматизированная упаковка	Помещение упаковок с помощью автоматизированного укладчика в гофрокороб
13	Ручная консолидация коробов на паллете	Паллетирование груза
14	Отгрузка	Перемещение паллет с грузом автоматизированным штабелёром из зоны отгрузки в зону погрузки автотранспорта

Приведём технологические операции ТСК класса «А», осуществляющего переработку электротехнической продукции. На ри-

сунке 2 представлена укрупнённая технологическая схема работы данного комплекса.



Рисунок 2. Укрупнённая технологическая схема работы ТСК

Следующим этапом по автоматизации ТСК является разработка ПО. Для этого необходимо графически отобразить взаимосвязь операций в соответствии с функциональной последовательностью на основании стандарта - Техника монтажа оборудования и шкафов управления систем автоматизации VDI 2860 (Verein Deutscher Ingenieure), что соответствует требованиям международных стандартов ISO.

Среди представленных операций в таблице 1 наиболее сложными и затратными, с учётом развития современных инструментов для автоматизации, являются операции сортировки и пакетирования упаковок с готовой продукцией к отправлению.

Электротехническая продукция, которая обрабатывается на ТСК, имеет широкий номенклатурный ряд и, как следствие, различные габаритные размеры изделий. В связи с этим, становится невозможным использование индивидуальной упаковки одного типа, которая могла бы способствовать упрощению процесса сортировки продукции в автоматизированном режиме. Поэтому для реализации возможности автоматизации процесса сортировки и пакетирования необходимо:

1) унифицировать типоразмеры упаковок (стандартизировать размеры упаковки для всех звеньев сферы обращения и расположение QR-кода на упаковке);

2) использовать стандартные типоразмеры тары с заданным рядом габаритов для взаимосвязи с размерами транспортных средств, манипулятора, сканера и иного складского оборудования.

На ТСК могут применяться следующие типоразмеры коробов с габаритными размерами:

200x160x240 мм; 300x200x360 мм; 400x250x400мм; 500x400x500мм; 600x250x600 мм; 800x400x775 мм; 1000x600x950 мм;

3) задать способы укладки упаковок в тару: «слоями» или «столбами». Для занятия полезного внутреннего объёма тары необходимо запрограммировать в пакетирующий все возможные варианты укладки заданных типов

упаковки в заданные типы тары в необходимом количестве.

Далее более детально исследуем технологический процесс сортировки с использованием распознавания QR-кода, а также рассмотрим алгоритм пакетирования продукции с помощью пакетоформирующего автомата с манипулятором (далее пакетирующий). На основании полученных результатов представим в качестве примера последовательность процессов сортировки и пакетирования для дальнейшей возможности программирования контроллера в среде SCADA.

1. Технологический процесс сортировки осуществляется на участке между точками позиционирования K01-K05 (рис.3).

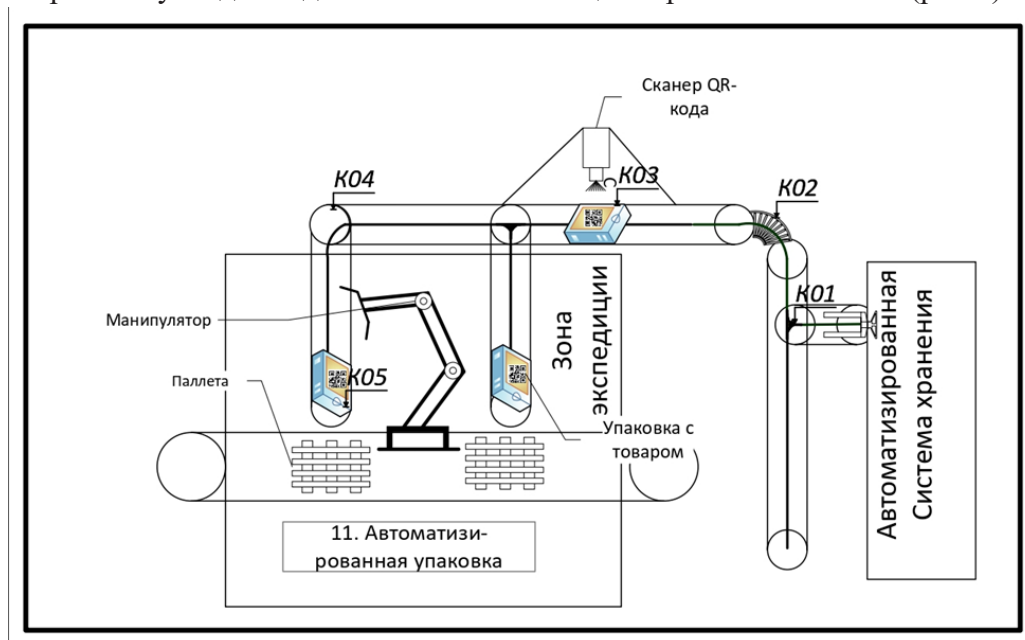


Рисунок 3. Участок сортировки и пакетирования готовой продукции.

К элементам, определяющим данный процесс, можно отнести:

1) упаковка с продукцией и нанесённым QR-кодом в виде коробок унифицированных габаритов;

2) конвейерная лента;

3) сканер QR-кода;

4) сортировочные ручки (ленты конвейеров по способу доставки, например, участок K08-K09).

Штрихкодирование уже длительное время является эффективным инструментом, позволяющим автоматизировать движение материального потока в складской системе WMS (система управления складом). QR-кодирова-

ние является двумерным штрих-кодом, который имеет ряд преимуществ по сравнению с используемыми линейными штрих-кодами. Прежде всего QR-код позволяет вмещать в себя большее количество информации и максимально корректно считывать её [8].

Для автоматизации технологического процесса структура QR-кода упаковки должна содержать следующую информацию:

- 1) поставщик продукции;
- 2) номенклатура;
- 3) наименование изделия;
- 4) количество единиц в упаковке;
- 5) единица измерения;

- 6) тип упаковки (типовой размер для укладки манипулятором);
 7) серийный номер;
 8) ссылка к базе данных поставщика;
 9) данные получателя продукции (адрес, контактные данные лица получателя, индекс, временной интервал получения) [10].

В таблице 2 приведён пример сгенерированного QR-кода и информации, которая может входить в его структуру.

Таблица 2

Пример сгенерированного QR-кода

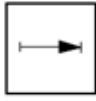
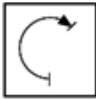
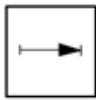
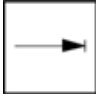
Графическое отображение	Пример данных в структуре QR-кода	Данные
	Получатель ООО Контакт, Москва, ул. Академика Королёва, 12	Данные о получателе продукции
	Конт. Иванов Иван Иванович, +74952220011	Контактные данные
	Supl. Electronix GmbH, Johannispl. 5-11, 04103 Leipzig, German	Данные о поставщике продукции
	Item 9753124	Номенклатура
	Descr. QUINT POWER	Наименование изделия
	Q-ty 100	Количество
	Unit pcs	Единица измерения
	Serial 22557799	Серийный номер

В таблице 3 приведено пооперационное описание процесса сортировки упаковок на основе представленных выше технологических особенностей [15].

Таблица 3

Описание процесса сортировки упаковок с товаром

№	Процесс	Точки навигации	Условное обозначение	Описание
1	Подача	K01-K02		Перемещение упаковок по конвейеру
2	Поворот	K02		Поворот ленты
3	Подача	K02-K03		Перемещение упаковок по конвейеру
4	Позиционирование	K03		Остановки ленты в зоне сканирования QR-кода
5	Сканирование	K03		Сканирование QR-кода на контейнере

6	Сортировка	K03		Определение «ручья» конвейерной ленты в зависимости от типа отгрузки
7	Подача	K03-K04		Перемещение упаковок по конвейеру
8	Поворот	K04		Поворот ленты
9	Подача	K04-K05		Перемещение упаковок по конвейеру
10	Позиционирование	K05		Остановка упаковки в зоне захвата манипулятора

2. Технологический процесс пакетирования осуществляется в зоне экспедиции (рис.3).

К элементам, определяющим процесс пакетирования, можно отнести:

- 1) упаковки с продукцией;
- 2) пакетоформирующий автомат с манипулятором;
- 3) система распознавания координат объекта (упаковка с товаром) на конвейерной ленте;
- 4) тара для упаковок.

Приведённые элементы представляют сложную систему, которая должна быть син-

хронизирована со всем технологическим процессом ТСК. Включение напольного пакетирующего автомата в технологический процесс ТСК, который выполняет операции с широкой номенклатурой продукции, имеет ряд особенностей и ограничений, которые также необходимо учитывать при проектировании.

Примеры конструктивных схем реализации исполнительных автоматов для выполнения операций пакетирования грузов приведены на рис. 4 и 5.

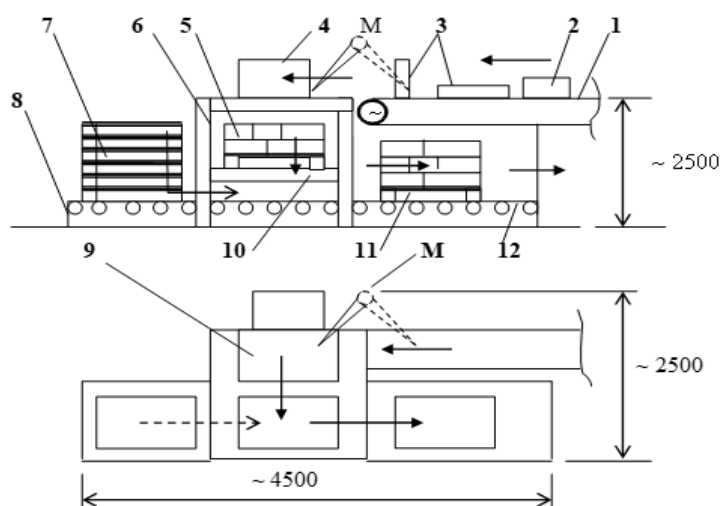


Рисунок 4. Пакетоформирующая машина с горизонтальным формированием слоев грузов: 1 – конвейер подачи грузов; 2 – грузы; 3 – ориентирующие устройства; 4 – сталкиватель слоев (или манипулятор М); 5 – формируемый пакет; 6 – корпус (металлоконструкция); 7 – магазин пустых поддонов; 8 – конвейер подачи пустых поддонов; 9 – устройство формирования слоев; 10 – подъемная платформа (снижатель); 11 – сформированный пакет; 12 – конвейер выдачи готовых пакетов

Конструктивная схема пакетобразующего автомата с горизонтальным формированием слоев предполагает предварительное ориентирование однородных грузовых единиц, которое затем осуществляет манипулирование грузом. Включение функций ориентирования и сталкивания в программу управления манипулятором с автоматическим сканировани-

ем QR-кода позволяет значительно упростить конструктивную схему пакетирующего автомата (рис. 5) и увеличить его функциональные возможности для обработки разнородных грузовых единиц 2 с произвольным ориентированием на конвейере подачи 1.

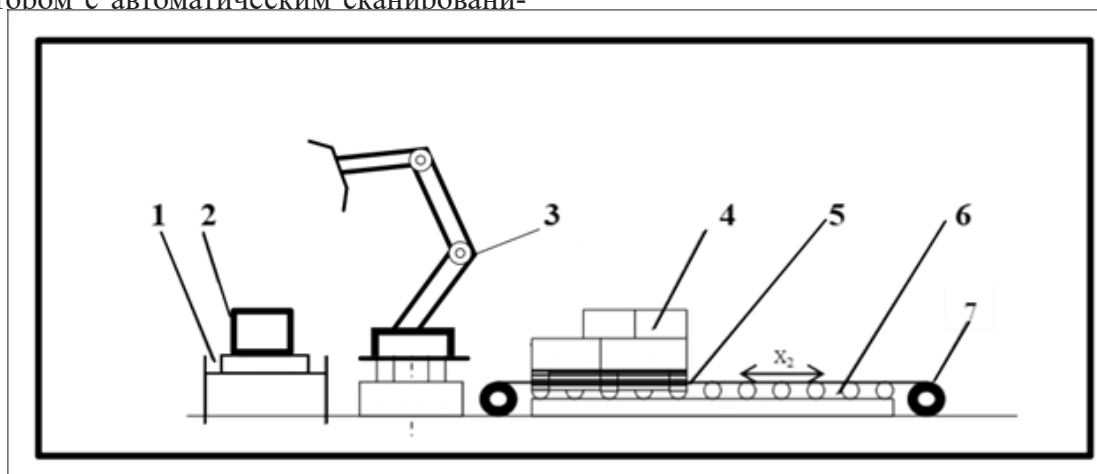


Рисунок 5. Напольный пакетформирующий автомат с манипулятором: 1 – конвейер подачи коробок с грузом; 2 – коробки с грузом; 3 – перегрузочный манипулятор с автоматическим распознаванием QR-кода; 4 – формируемый транспортный пакет; 5 – плоский деревянный поддон; 6 – конвейер для транспортировки готовых пакетов; 7 – управляемый электропривод конвейера.

Ключевым элементом пакетирующего является манипулятор, состоящий из последовательно соединенных элементов с помощью вращательных или линейных сочленений.

Механические органы манипулятора на примере манипулятора МП-100 представлены на рисунке 6.

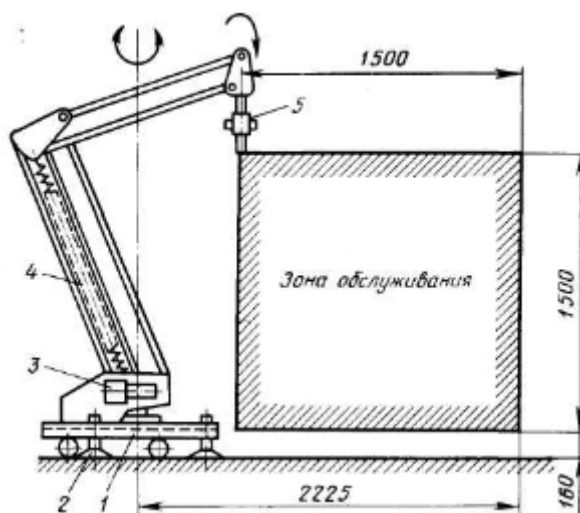


Рисунок 6. Исполнение манипулятора типа МП-100: 1 – платформа; 2 – опоры; 3 – привод; 4 – рычажный механизм; 5 – грузозахватное устройство (далее ГЗУ) [3, с. 245].

Расположение и ограничение движения всех суставов манипулятора должно опреде-

ляться относительно соседних при движении с учётом следующих условий:

1) движение по системе циклового управления, которое задаётся и программируется с учётом последовательности движений, длительности фиксации на позициях и размах ГЗУ манипулятора в зависимости от габаритных размеров стандартных упаковок с продукцией и способов их укладки в тару. Рассматриваемая цикловая система управления (далее ЦСУ) является дискретной, то есть имеет ограниченное число состояний и алгоритмов перемещения звеньев манипулятора, поэтому логика функционирования системы значительно проще аналоговой системы робота-манипулятора с неограниченным количеством состояний. Кроме того, ЦСУ отличается сравнительно малой ёмкостью программноносителя, простыми алгоритмами управления, небольшими габаритами и стоимостью [5].

При этом ЦСУ не способна распознавать координаты перемещаемой упаковки по кон-

вейерной ленте в связи с отсутствием адаптивного управления исполнительного устройства, поэтому после операции разукрупнения пакетов (рис.5) необходимо сохранить ориентацию упаковок с продукцией для возможности автоматизированной упаковки с помощью пакетиروщика. Вместе с тем исключение адаптивного управления позволяет также сократить затраты на использование системы распознавания объекта на конвейерной ленте [14, с. 79-80];

2) траектория движения всех звеньев манипулятора должна выполнять заданные цели с учётом имеющихся ограничений, при этом должна обеспечиваться оптимальная по быстродействию программная траектория движения ГЗУ. Двухуровневая схема управления манипулятором приведена на рисунке 7.

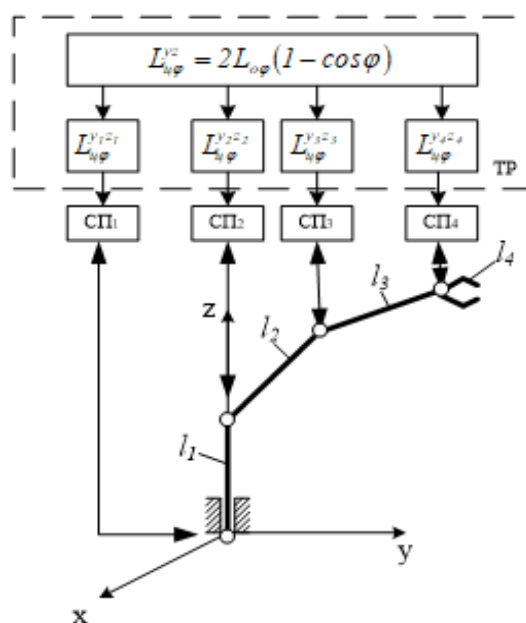


Рисунок 7. Двухуровневая схема управления манипулятором, где СП_і – силовой привод *i*-го звена, $L_{u\varphi}^{yz}$ – программная траектория ГЗУ, $L_{u\varphi}^{yz_i}$ – блоки преобразования траектории ГЗУ в закон управления *i*-м приводом, ТР – технологический регулятор, l_i – кинематические звенья манипулятора с шарнирным сочленением.

Конечное движение ГЗУ манипулятора представляется не только движением захвата, но и скоростью движения инструмента.

Для обеспечения нужной скорости необходимо знать соотношение между значениями смещения сустава и позиции ГЗУ. Различают прямую и обратную задачи кинематики дви-

жения. Принцип прямой задачи кинематики заключается в вычислении скорости движения ГЗУ по известным значениям обобщенных координат. Данная задача используется для моделирования кинематики движения, и её решение базируется на вычислении матрицы Якоби [2].

Алгоритм вычисления программных траекторий обобщённых координат содержит последовательность выполнения следующие операций:

1. В блоке технологического регулятора по входным координатам начального и конечного положения ГЗУ вычисляются параметры траекторий каждого звена: радиус r_i , угол $\varphi(t)$ и длина дуги $L_v(\varphi(t))$.

2. В блоках $L_{v\varphi}^{y_i z_i}$ с помощью матрицы Якоби $J(\theta) = \frac{\partial F(\theta)}{\partial \theta^T}$, преобразующей физические

координаты в обобщённые q , траектории $L_v(\varphi(t))$ преобразуются в компоненты вектора обобщённых координат $\theta(t)$, которые задают оптимальные по быстродействию программные траектории движения исполнительных приводов звеньев манипулятора [7,11,12].

На основании представленных технологических особенностей пакетирования с помощью пакетировщика приведём описание процесса пакетирования (табл.3).

Таблица 3

Описание процесса пакетирования с помощью пакетировщика

№	Процесс	Точки навигации (рис. 3, рис.5)	Условное обозначение	Описание
1	Подача	K05-1		Перемещение упаковок (далее объект) по конвейеру
2	Позиционирование	1		Остановка упаковки в зоне ГЗУ манипулятора
3	Ориентирование	-		Преобразование данных о координатах объекта в задачи кинематики манипулятора
4	Поворот	3		Перемещение ГЗУ в рабочую зону (точка местонахождения объекта)
5	Зажим	2		Захват объекта
6	Удержание	2-3		Удержание упаковки с помощью ГЗУ для перемещения
7	Поворот	3		Перемещение объекта на формируемый транспортный пакет
8	Разжимание	4		Разжимание ГЗУ
9	Позиционирование	4		Установка объекта на паллете

Представим пооперационную последовательность процессов сортировки и пакетирования в едином последовательном отображе-

нии на основании процессов, представленных выше.

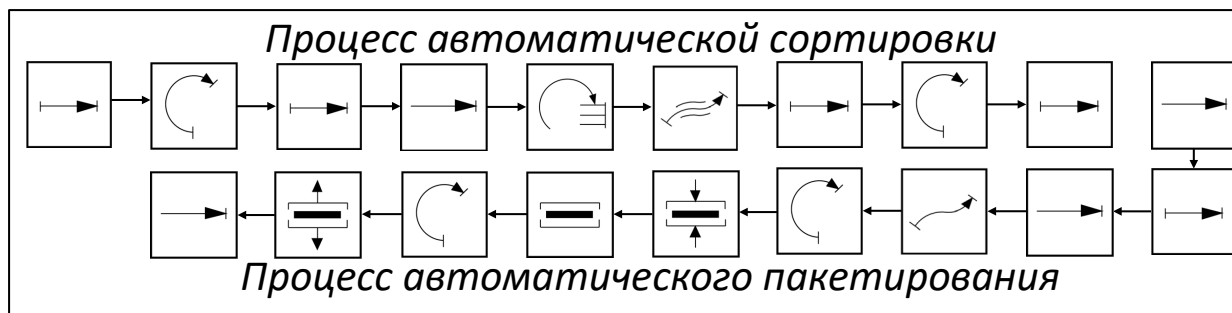


Рисунок 8. Последовательность процессов сортировки и пакетирования

Заключение

Заключение. Таким образом, в статье был представлен алгоритм по автоматизации ТСК по ключевым операциям, определяющим единый технологический процесс. Детально приведены процессы:

- 1) сортировки с использованием распознавания QR-кода на упаковках с продукцией;
- 2) пакетирования продукции с применением пакетировщика, в частности, автоматизированного манипулятора.

Для создания перспективного ПО автоматизированной системы управления ТСК был

представлен алгоритм реализации технологического процесса сортировки упаковок с товаром.

На основании детализации технологических операций складского комплекса появляется возможность разработки программного обеспечения по автоматизации описанных выше операций исследуемого объекта в среде SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Список источников

1. Высочкин Д. С. Возможность развития интегрированной логистики в условиях цифровой трансформации / Высочкин Д. С., Рассаха Д. В., Сеницына А. С. // Актуальные исследования. 2022. №4 (83). С. 20-23.
2. Буслаев В.С. Вариационное исчисление. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 288 с.
3. Зуева Ф.Г. Курсовое проектирование по механизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ. – М.: Изд-во Колос, 1998. – 287 с.
4. Коммерсант. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3792024>. – (Дата обращения: 12.03.2023)
5. Куркин С.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве. М.: Высшая школа – 1991 – 397 С.
6. Основы автоматизации склада. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/673504/>. – (Дата обращения: 29.03.2023)
7. Пашков Н.Н. Аналитический синтез оптимальных траекторий программного движения многозвенного манипулятора / Мехатроника. Автоматизация. Управление. – М.: 2008. № 9. Робототехнические системы. – С.10-15.
8. Символьная структура QR-кода. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/63965/>
9. Сравнение WMS-систем России. [Электронный ресурс]. – URL: <https://tu-don.ru/blog/wms-sistema/sravnenie-luchshikh-wms-sistem-rossii/>. – (Дата обращения: 25.03.2023)
10. Структура и возможности QR-кода. [Электронный ресурс]. – URL: https://web-c.ru/blog/qr-kod_cho_takoe/?ysclid=lh7qojh3jc326373588#3 – (Дата обращения: 01.04.2023)
11. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука,

1974. – 223 с.

12. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1972. – 735 с.

13. Цифровая экономика Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f – (Дата обращения: 30.03.2023)

14. Fahimi F. Mechanical Engineering Department. Modeling, Path planning, and Control / F. Fahimi, // Springer Science+Business Media. – 2009 – 339 С.

15. Hesse S. 99 Examples of Pneumatic Applications / S. Hesse // Festo AG & Co. – 120 с.

References

1. Vysochkin D. S. Vozmozhnost' razvitiya integrirovannoj logistiki v usloviyah cifrovoj transformacii / Vysochkin D. S., Rassamaha D. V., Sinicya A. S. // Aktual'nye issledovaniya. 2022. №4 (83). p. 20-23.

2. Buslaev V.S. Variacionnoe ischislenie. – L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1980. – 288 s.

3. Zueva F.G. Kursovoe proektirovanie po mekhanizacii pogruzochno-razgruzochnyh, transportnyh i skladskih rabot. – M.: Izd-vo Kolos, 1998. – 287 p.

4. Kommersant. Oficial'nyj sajt. [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3792024>. – (Data obrashcheniya: 12.03.2023)

5. Kurkin S.A. Svarnye konstrukcii. Tekhnologiya izgotovleniya, mekhanizaciya, avtomatizaciya i kontrol' kachestva v svarochnom proizvodstve. M.: Vysshaya shkola – 1991 – 397 С.

6. Osnovy avtomatizacii sklada. [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/673504/>. – (Data obrashcheniya: 29.03.2023)

7. Pashkov N.N. Analiticheskij sintez optimal'nyh traektorij programmno go dvizheniya mnogozvennogo manipulyatora / Mekhatronika. Avtomatizaciya. Upravlenie. – M.: 2008. № 9. Robototekhnicheskie sistemy. – p.10-15.

8. Simvol'naya struktura QR-koda. [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/63965/>

9. Sravnenie WMS-cistem Rossii. [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://tu-don.ru/blog/wms-sistema/sravnenie-luchshikh-wms-sistem-rossii/>. – (Data obrashcheniya: 25.03.2023)

10. Struktura i vozmozhnosti QR-koda. [Elektronnyj resurs]. – URL: https://web-c.ru/blog/qr-kod_cho_takoe/?ysclid=lh7qojh3jc326373588#3 – (Data obrashcheniya: 01.04.2023)

11. Tihonov A.N., Arsenin V.Ya. Metody resheniya nekorrektnyh zadach. – M.: Nauka, 1974. – 223 p.

12. Tihonov A.N., Samarskij A.A. Uravneniya matematicheskoy fiziki. – M.: Nauka, 1972. – 735 p.

13. Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii [Elektronnyj resurs]. – URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f – (Data obrashcheniya: 30.03.2023)

14. Fahimi F. Mechanical Engineering Department. Modeling, Path planning, and Control / F. Fahimi, // Springer Science+Business Media. – 2009 – 339 p.

15. Hesse S. 99 Examples of Pneumatic Applications / S. Hesse // Festo AG & Co. – 120 p.

ЗАДАЧА О РИТМИЧНЫХ ПОСТАВКАХ КАК ЗАДАЧА КВАДРАТИЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ЕЕ РЕШЕНИЕ В СРЕДЕ MATLAB

Бочкарев А.А.¹, Савенкова Т.И.¹

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Аннотация: В логистике существует проблема поддержания оптимального уровня запасов в многоуровневых сетях поставок. Одной из частных задач в рамках данной проблемы является задача о ритмичных поставках. В данной статье рассмотрены содержательная постановка задачи о ритмичных поставках товаров на региональный склад, показано, что данная задача является задачей квадратичного программирования, и дана ее математическая постановка, а в практической части показан пример ее решения в среде MATLAB.

Ключевые слова: логистика, задача о ритмичных поставках, квадратичное программирование, оптимизация, метод решения

© Бочкарев А.А., Савенкова Т.И.

Поступила 12.04.2023, одобрена после рецензирования 15.06.2023, принята к публикации 15.06.2023.

Для цитирования:

Бочкарев А.А., Савенкова Т.И. Задача о ритмичных поставках как задача квадратичного программирования и ее решение в среде MATLAB // Логистика и управление транспортными системами. - 2023. - Т. 20, №2 (107). - С. 60–71.

Бочкарев А.А., д.э.н., доцент, Департамент логистики и управления цепями поставок, Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Санкт-Петербургский филиал; abochkarev@hse.ru; 79213228904.
Савенкова Т.И. Магистрант, Департамент логистики и управления цепями поставок, Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Санкт-Петербургский филиал; tisavenkova@edu.hse.ru; 79217478979.

RHYTHMIC DELIVERY PROBLEM AS A QUADRATIC PROGRAMMING PROBLEM AND ITS SOLUTION IN MATLAB

Bochkarev A.A.¹, Savenkova T.I.¹

¹ National Research University «Higher School of Economics»,

Abstract: One of the problems in logistics is the optimal stock level support problem. Rhythmic delivery problem is one of its particular cases. In this article rhythmic delivery at the warehouse problem description is given; it is shown that this problem is to be solved via quadratic programming methods. In the theoretical part of the article mathematical model of the case is stated while in practical part the example of problem solving in MATLAB is presented.

Keywords: logistics, rhythmic delivery problem quadratic programming, optimization, solution method

© Bochkarev A.A., Savenkova T.I.

Received 12.04.2023, approved 15.06.2023, accepted for publication 15.06.2023.

For citation:

Bochkarev A.A. Savenkova T.I. Rhythmic Delivery Problem as a Quadratic Programming Problem and its Solution in MATLAB. Logistics and Supply Chain Management. 2023. Vol 20, Iss 2 (107). pp. 60-71.

Bochkarev A.A., Doctor of Ec.Sc., Associate Professor, Department of Logistics and Supply Chain Management, St. Petersburg School of Economics and Management, National Research University «Higher School of Economics», Campus in St. Petersburg; abochkarev@hse.ru; 79213228904.

Savenkova T.I. Undergraduate, Department of Logistics and Supply Chain Management, St. Petersburg School of Economics and Management, National Research University «Higher School of Economics», Campus in St. Petersburg; isavenkova@edu.hse.ru; 79217478979.

Введение

Многие проблемы оптимизации в логистике, такие как проектирование складских и распределительных сетей [5]; [6] и управление запасами [7] можно представить в виде моделей квадратичного программирования. Одной из наиболее известных задач квадратичного программирования в логистике является задача об оптимальном планировании загрузки тайм-слотов [1, 4]. Суть системы тайм-слотирования заключается в том, что дистанционно, используя информационную систему порта, перевозчики и экспедиторы могут самостоятельно выбирать и фиксировать удобный временной интервал (тайм-слот) для подачи контейнеровозов на терминал под погрузку или выгрузку. Тайм-слотирование позволяет клиентам упорядочить подачу автотранспорта и существенно сократить время ожидания обработки. Оформление заявок на въезд/выезд контейнеровозов на грузовой терминал через систему тайм-слотирования применяют многие компании, например, российская IT-компания Solvo предлагает клиентам систему Solvo.Gate¹ — это система управления КПП и обработкой автотранспорта контейнерного терминала или порта, в том числе, включающая в себя функционал тайм-слотирования, что позволяет планировать подачу автотранспорта для сдачи и вывоза с терминала контей-

неров, устранить «живую» очередь на въезд на терминал, увеличить скорость обработки автотранспортных средств и ликвидировать простой автомашин на территории терминала.

Отдельно среди методов и моделей квадратичного программирования можно выделить метод наименьших квадратов (МНК) — математический метод, применяемый для решения различных задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от экспериментальных входных данных, который широко используется в прогнозировании [2, с. 99].

В логистике существует проблема поддержания оптимального уровня запасов в многоуровневых сетях поставок. Одной из частных задач в рамках данной проблемы является задача о ритмичных поставках [3, с. 604-607]. Достаточно простая по своей постановке задача о ритмичных поставках товаров на региональный склад является достаточно сложной с математической точки зрения, поскольку данная задача относится к классу задач квадратичного программирования. Авторами в статье дана ее содержательная и математическая постановка, а в практической части показан пример ее численного решения в среде MATLAB.

Общая математическая постановка задачи квадратичного программирования

Задача квадратичного программирования относится к классу задач нелинейного программирования и характеризуется тем, что ее область допустимых решений представляет собой выпуклый многогранник (выпуклую многогранную область), а целевая функция — квадратичную функцию.

Математическую постановку задачи квадратичного программирования в матричном виде можно представить следующим образом.

Найти минимум (максимум) целевой функции

$$L = \frac{1}{2} x^T D x + c^T x \rightarrow \min(\max), \quad (1)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} A \cdot x \leq b; \\ x \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ — транспонированный вектор переменных; $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ — вектор значений коэффициентов целевой функции; $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T$ — транспонированный вектор правой части системы ограничений;

$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$ — матрица коэффициентов системы ограничений;

$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix}$ — симметричная матрица размером $n \times n$.

Математические модели задач квадратичного программирования и задач линейно-

¹ Официальный сайт ООО «Солво-Эксперт». - URL: <https://www.solvo.ru/products/solvo-gate/#id901>

го программирования имеют много общего. В обоих моделях ограничения представляют собой систему линейных неравенств, формирующих область допустимых решений в виде выпуклого многогранника или выпуклой многогранной области (если она не ограничена). Различие заключается в виде целевой функции. В задаче квадратичного программирования целевая функция является квадратичной функцией переменных модели. Как в задаче

Содержательная постановка задачи о ритмичных поставках

В крупных компаниях, занимающихся дистрибуцией и имеющих многоуровневую сеть поставок, актуальной является проблема ритмичных поставок товаров из распределительного центра на региональные склады. Распределительные центры расположены, как правило, в крупнейших городах страны (в Российской Федерации – это Москва и Санкт-Петербург), а региональные склады – в других крупных городах (областных и республиканских центрах). Конечными потребителями в рассматриваемых цепях поставок могут быть как предприятия розничной торговой сети, так и физические лица. Проблема ритмичных поставок заключается в том, что спрос конечных потребителей является стохастическим, неравномерным в течение года и зачастую имеет ярко выраженную сезонную компоненту, но поступать товары из распределительного центра на региональный склад должны как можно более равномерно. Если это требование не будет выполняться, то на региональном складе может возникать либо дефицит товаров, либо переполнение склада. Обе ситуации нежелательны, т.к. приводят к дополнительным издержкам в цепи поставок.

Исходными данными задачи являются:

1) p – величины поставок товаров со склада региональным потребителям, m^3 ;

Математическая постановка задачи о ритмичных поставках

Рассмотрим эту задачу в дискретной постановке, т.е. будем считать, что все акты приема-передачи товаров происходят по тактам времени $t = 1, 2, \dots, n$.

Введем следующие условные обозначения:

n – количество тактов;

линейного программирования, так и в задаче квадратичного программирования оптимальное решение может находиться либо в одной из вершин многогранника, либо на одной из его граней.

Рассмотрим содержательную и математическую постановку задачи о ритмичных поставках товаров из распределительного центра на региональный склад, а также пример ее решения в MATLAB.

2) $\max V$ – емкость склада, m^3 ;

3) $\min V$ – минимальная нормативная загрузка склада, m^3 ;

4) V_0 – начальная загрузка склада, m^3 .

Требуется определить оптимальные значения переменных x – поступление товаров на региональный склад из распределительного центра – такие, при которых в любой момент времени t количество товаров на складе V_t должно удовлетворять условию

$$\min V \leq V_t \leq \max V$$

В качестве критерия эффективности решения данной задачи будем рассматривать вероятность нахождения остатка товара на складе в диапазоне между $\max V$ и $\min V$. Данная вероятность определяется по формуле

$$P = \frac{n - (n(V > \max V) + n(V < \min V))}{n} \quad (1)$$

n – количество тактов (количество поставок в течение рассматриваемого периода времени); $n(V > \max V)$ – количество тактов, когда остаток товара на складе превышал емкость склада; $n(V < \min V)$ – количество тактов, когда остаток товара на складе был меньше минимальная нормативная загрузка склада.

$p = [p_1, p_2, \dots, p_n]$ – вектор поставок товаров со склада региональным потребителям, m^3 ;

$\max V$ – емкость склада, m^3 ;

$\min V$ – минимальная нормативная загрузка склада, m^3 ;

V_0 – начальная загрузка склада, m^3 ($0 \leq \min V \leq V_0 \leq \max V$).

$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ – переменная – вектор поставок товаров из распределительного центра на склад, м³.

Параметры $n, p, \max V, \min V$ и V_0 являются входными, их значения должны задаваться, вектор x – выходной параметр, который должен вычисляться при решении задачи.

Будем считать, что суммарное количество товаров, поступивших на региональный склад из распределительного центра, должно быть примерно равно суммарному количеству товаров, отправленных с регионального склада конечным потребителям:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n p_i. \quad (2)$$

Максимально равномерная передача товаров из распределительного центра на склад (с учетом оговоренного примерного равенства) достигается, если целевая функция стремится к минимуму:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - Mp)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где Mp – среднее по всем компонентам вектора p .

Целевую функцию преобразуем, раскрыв скобки и приведя подобные члены

$$x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 - 2Mp(x_1 + x_2 + \dots + x_n) + n \cdot Mp^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

или в матричном виде

$$\frac{1}{2} x^T \cdot Hx + f^T x \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $\frac{1}{2} x^T \cdot Hx$ – квадратичная часть целевой функции; H – гессиан функции (симметричная матрица размером $n \times n$); $f^T x$ – линейная часть целевой функции; $n \cdot Mp^2$ – свободный член, который отсутствует в целевой функции задачи в матричном виде (3).

Ограничения задачи заключаются в том, что в любой момент времени t количество товаров на складе должно удовлетворять условию $\min V \leq V_t \leq \max V$. Данное ограничение может быть выражено следующей формулой

$$V_t = V_0 + \sum_{i=1}^t p_i + \sum_{i=1}^t x_i. \quad (6)$$

Подставим данное выражение в двойное неравенство и разрешим его относительно $\sum_{i=1}^t x_i$, получим ограничения задачи:

$$V_0 + \sum_{i=1}^t p_i - \max V \leq \sum_{i=1}^t x_i \leq V_0 + \sum_{i=1}^t p_i - \min V, \forall t = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Следовательно, необходимо найти значения переменных x , минимизирующих значение целевой функции (5) при ограничениях (7).

Введем вектор s , значение которого равно $s = \sum_{i=1}^t p_i$

Следует отметить, что вектор x нам заранее неизвестен, поэтому введем новые переменные $y_t = \sum_{i=1}^t x_i$

В матричной форме это соотношение можно записать так

$$y = L \cdot x,$$

где L – квадратная матрица размером $n \times n$, которая имеет вид

$$L = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Старые переменные выражаются через новые с помощью обратной матрицы

$$x = L^{(-1)} \cdot y.$$

Через новые переменные квадратичная часть целевой функции выражается так

$$\frac{1}{2} y^T \cdot H_{new} \cdot y$$

$$\text{где } H_{new} = (L^{(-1)})^T \cdot H \cdot L^{(-1)}.$$

Линейная часть целевой функции равна

$$f_{new}^T \cdot y,$$

$$\text{где вектор } f_{new} = (L^{(-1)})^T \cdot f.$$

Таким образом, окончательно имеем следующую математическую постановку задачи о ритмичных поставках.

Найти значения переменных y , минимизирующих целевую функцию

$$\frac{1}{2} y^T \cdot H_{new} \cdot y + f_{new}^T \cdot y \rightarrow \min, \quad (8)$$

при ограничениях

$$(V_0 - \max V) + s \leq y \leq (V_0 - \min V) + s \quad (9)$$

Рассмотрим пример решения данной задачи в MATLAB.

Пример решения задачи в MATLAB

В MATLAB имеются высокоуровневая функция `quadprog`, которая используется для решения общей задачи квадратичного программирования. Данная функция позволяет решать задачи квадратичного программирования в форме

$$\min_x \frac{1}{2} x^T \cdot Hx + f^T x \quad (8)$$

при ограничениях

$$\begin{cases} A \cdot x \leq b; \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} Aeq \cdot x = beq; \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} lb \leq x \leq ub; \end{cases} \quad (11)$$

где $\frac{1}{2} x^T \cdot Hx$ – квадратичная часть целевой функции; H – гессиан функции (симметричная матрица размером $n \times n$); $f^T x$ – линейная часть целевой функции; x – вектор-столбец оптимального решения (плана); A – матрица коэффициентов системы ограничений в виде неравенств; b – вектор-столбец свободных членов системы ограничений в виде неравенств; Aeq – матрица коэффициентов системы ограничений в виде уравнений; beq – вектор-столбец свободных членов системы ограничений в виде уравнений; lb – вектор-столбец ограничений на переменные снизу; ub – вектор-столбец ограничений на переменные сверху.

В рассматриваемой задаче отсутствуют как линейные ограничения в виде неравенств (9), так и линейные ограничения в виде уравнений (10), а также произведена замена переменных, поэтому формат вызова функции `quadprog`, наиболее удобный для решения рассматриваемой задачи квадратичного программирования, имеет вид:

```
[y, fval] = quadprog(Hnew, fnew, [], [], [], [], lb, ub)
```

где $[y, fval]$ – вывод результата решения задачи в виде вектора-столбца переменных y и оптимального (минимального) значения целевой функции $fval$; `quadprog` – вызов высокоуровневой функции; lb – ограничения на переменные снизу; ub – ограничения на переменные сверху.

Следует отметить, что функция `quadprog` всегда ищет значения переменных, которые доставляют минимум целевой функции.

Рассмотрим пример численного решения задачи о ритмичных поставках на основе данных реальной российской компании сферы DIY-ритейла, т.е. рассматриваемая компания работает в сфере розничной торговли товаров для дома, ремонта и строительства. Компания поставляет своим клиентам строительные материалы, декоративно-отделочные материалы, интерьерные товары для дома, сада и дачи, а также различную технику и иные товаров для строительных работ.

Рассматриваемая компания имеет двухуровневую складскую сеть, представленную на рис. 1. Компания имеет два распределительных центра (РЦ), расположенных в городах Москве и Санкт-Петербурге и 14 региональных складов. Из РЦ Москвы осуществляется снабжение региональных складов в городах Волгоград, Казань, Нижний Новгород, Самара, Уфа, Воронеж, Краснодар и Ростов-на-Дону, а из РЦ Санкт-Петербурга – в городах Пермь, Киров, Мурманск, Омск, Новосибирск и Красноярск.

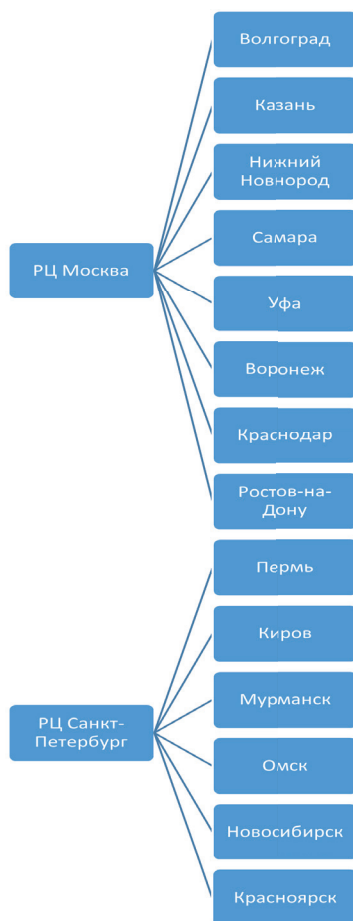


Рисунок 1. Складская сеть рассматриваемой компании

Запасы товаров на региональных складах периодически пополняются поставками из распределительных центров. Объемы поставок товаров зависят от спроса региональных потребителей и характеризуются существенной неравномерностью по отдельным месяцам года. Вследствие чего, на региональных складах периодически возникают ситуации как переполнения складов, так и обнуления запасов на них. Рассмотрим в качестве приме-

ра данные о снабжении регионального склада в Волгограде из распределительного центра Москвы, представленные в табл.1. В этой же таблице по формуле (6) рассчитаны значения остатка товара на складе (при условии, что начальная загрузка склада $V_0 = 128,81$ м³).

Таблица 1 – Данные о поставках товаров из распределительного центра Москвы на региональный склад в Волгограде и со склада в Волгограде региональным потребителям

Таблица 3

Описание процесса пакетирования с помощью пакетировщика

Такт (месяц)	Объем поставки со склада p , м ³	Минимальная нормативная загрузка склада $minV$, м ³	Емкость склада $maxV$, м ³	Объем поставки на склад x , м ³	Остаток на складе V , м ³
1	119,36	55,00	220,00	102,80	112,25
2	123,86	55,00	220,00	126,43	114,81
3	150,51	55,00	220,00	108,78	73,08
4	162,69	55,00	220,00	155,22	65,61
5	160,00	55,00	220,00	139,78	45,39
6	158,05	55,00	220,00	227,59	114,92

7	161,61	55,00	220,00	134,80	88,11
8	149,99	55,00	220,00	114,58	52,70
9	195,13	55,00	220,00	146,93	4,51
10	188,69	55,00	220,00	196,58	12,40
11	146,61	55,00	220,00	158,50	24,29
12	143,46	55,00	220,00	119,17	0,00
Сумма	1731,16			1731,16	

На рис. 2 представлен график загрузки склада MATLAB.

склада до оптимизации, построенный в среде

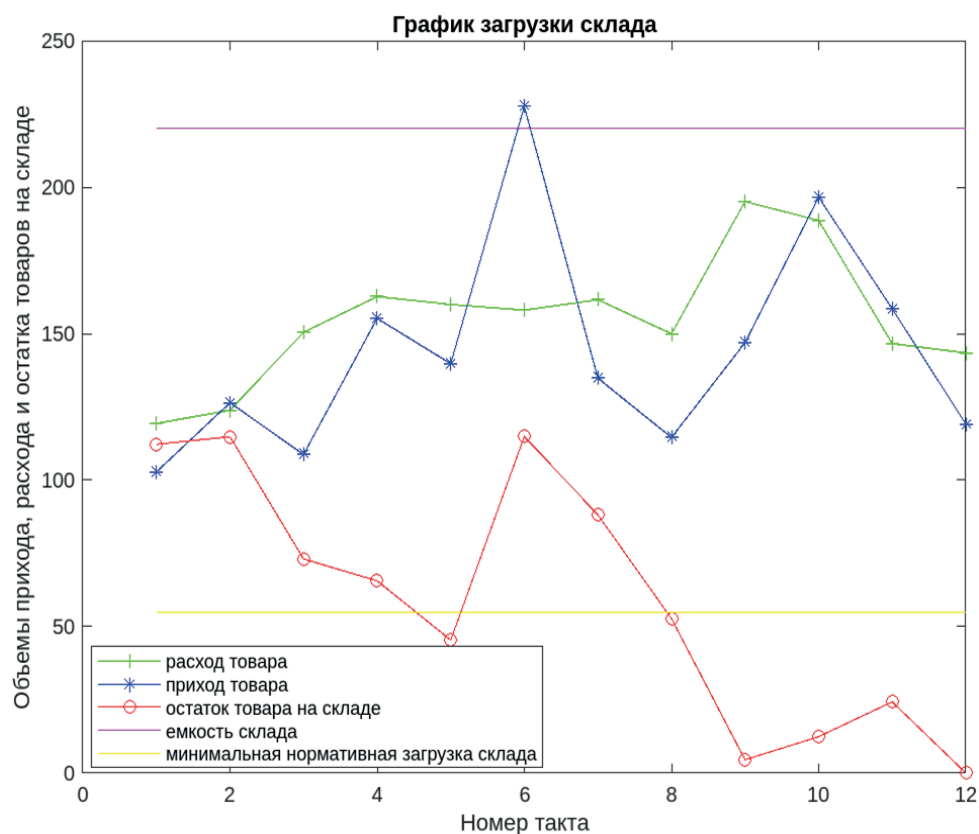


Рисунок 2. График загрузки склада до оптимизации

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что на 5-м, 8-м, 9-м, 10-м, 11-м и 12-м тактах загрузка склада была меньше минимальной нормативной, причем на 12-м такте запасы на складе обнулились.

Таким образом, вероятность нахождения остатка товара на складе в диапазоне между $\max V$ и $\min V$, рассчитанная по формуле (1), составила

$$P = \frac{n - (n(V > \max V) + n(V < \min V))}{n} = \frac{12 - (0 + 6)}{12} = \frac{6}{12} = 0,5.$$

что является крайне низким показателем, следовательно, необходимо решить задачу о ритмичных поставках для данного регионального склада.

Алгоритм решения рассматриваемой задачи в MATLAB реализован в m-файле, который представлен ниже.

```
% Задача о ритмичных поставках для компании АДМ Волгоград
% Задание исходных данных
% Количество тактов
n = 12;
% Вектор поставок товаров со склада региональным потребителям
p =
[119.36,123.86,150.51,162.69,160.00,158.05,161.61,149.99,195.13,188.69
,146.61,143.46];
% Емкость склада, минимальная нормативная загрузка склада, начальная
% загрузка склада
maxV(1:12) = 220; minV(1:12) = 55; V0 = 128.81;
% Расчет среднего по всем компонентам вектора p
Mp = mean(p);
% Расчет кумулятивной суммы по всем компонентам вектора p
s = cumsum(p);
% Расчет ограничений на переменные снизу lb и сверху ub
lb = (V0-maxV)+s;
ub = (V0-minV)+s;
% Задание квадратной матрицы, связанной с новыми переменными y, и ее
% преобразование
L = tril(ones(n));
invL = inv(L);
TinvL = invL';
% Задание гессиана функции
H = 2*eye(n);
% Задание коэффициентов квадратичной части новой целевой функции
Hnew = TinvL'*H*invL;
% Задание коэффициентов линейной части новой целевой функции
f = -2*Mp*ones(n,1);
fnew = TinvL'*f;
% Вызов функции quadprog
[y,fval] = quadprog(Hnew,fnew,[],[],[],[],lb,ub)
% Расчет значений исходных переменных x
x = invL*y
% Среднего значения переменной x
Mx = mean(x)
% Расчет значения исходной целевой функции
SS = sum((x-Mp).^2)
% Расчет остатка продуктов на складе после каждого такта
V = V0+cumsum(x)-cumsum(p)
% Построение графиков
time = [1:12];
plot(time,p,'g+-',time,x,'b+-',time,V,'ro-',time,maxV,'m-
',time,minV,'y-')
title('График загрузки склада')
xlabel('Номер такта')
ylabel('Объемы прихода, расхода и остатка товаров на складе')
legend('расход товара','приход товара','остаток товара на
складе','емкость склада','минимальная нормативная загрузка склада')
```

Решение выводится в командное окно
MATLAB в виде:

y =

Minimum found that satisfies the constraints.	1.0e+03 *
	0.1550
Optimization completed	0.3100
because the objective function	0.4650
is non-decreasing in feasible	0.6200
directions, to within the value	0.7750
of the optimality tolerance,	0.9300
and constraints are satisfied to	1.0850
within the value of the constraint	1.2400
tolerance.	1.3950

```

1.5500
1.7050
1.8600

V =
164.4467
195.5833
200.0700
192.3767
187.3733
184.3200
177.7067
182.7133
142.5800
108.8867
117.2733
128.8100

fval =
-2.8829e+05

x =
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967
154.9967

Mx =
154.9967

SS =
2.0485e-20

```

Таким образом, из распределительного центра на региональный склад в Волгограде ежемесячно надо поставлять товары в объеме x приблизительно равным 155,0 м3, т.е. количество товаров, поставленных на склад, строго равно количеству товаров, отправленных со склада конечным потребителям. Значение целевой функции близко к нулю или точнее $SS=2,0484 \cdot 10^{(-20)}$. При этом на каждом такте объем товаров на складе находится в пределах значений, установленных ограничениями задачи.

На рис. 3 представлен график загрузки склада после оптимизации, построенный в среде MATLAB.

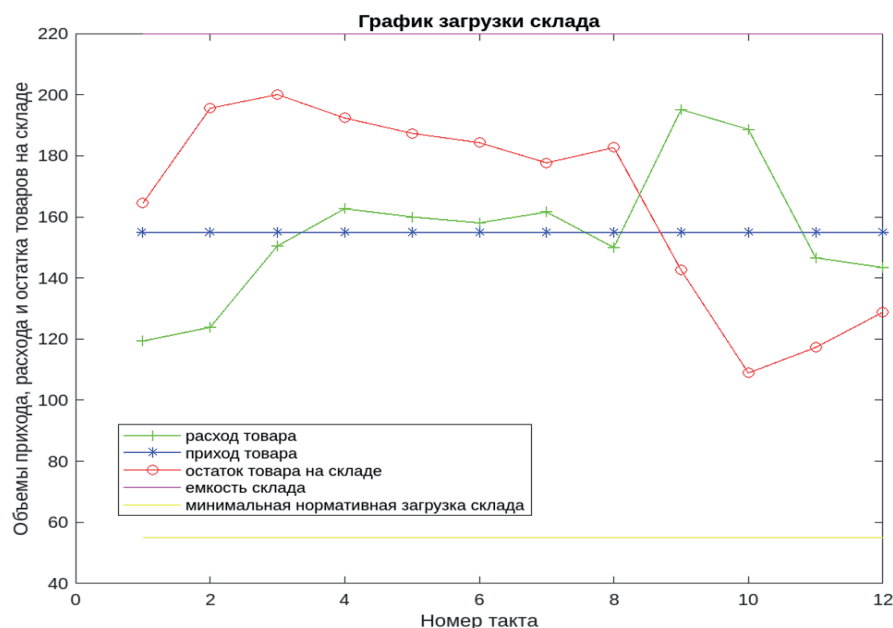


Рисунок 3. График загрузки склада после оптимизации

Анализ данных, представленных на рис. 3, показывает, что на всех тактах остаток товаров на складе находился в пределах установленных ограничений.

Следовательно, вероятность нахождения остатка товара на складе в диапазоне между $\max V$ и $\min V$, рассчитанная по формуле (1) составит

$$p = \frac{n - (n(V > \max V) + n(V < \min V))}{n} = \frac{12 - (0 + 0)}{12} = \frac{12}{12} = 1,0.$$

Заключение

В статье показано, что модели квадратичного программирования могут быть очень полезными в управлении запасами в многоуровневых сетях поставок, но в то же время, они являются достаточно сложными с математической точки зрения. Рассмотрен пример численного решения задачи о ритмичных поставках на основе данных реальной россий-

Таким образом, представленный выше алгоритм показал свою эффективность. В рассматриваемом примере вероятность нахождения остатка товара на складе в диапазоне между $\max V$ и $\min V$, которая составляла до оптимизации 0,5, после оптимизации увеличилась до 1,0.

ской компании сферы DIY-ритейла. Представлен алгоритм решения данной задачи в среде MATLAB, которая обладает широким набором высокоуровневых функций и, по нашему мнению, является хорошим инструментом для решения самого широкого спектра задач логистики и управления цепями поставок.

Список источников

1. Бочкарев, А. А. Управление надежностью и устойчивостью цепей поставок / А. А. Бочкарев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 264 с. Буслаев В.С. Вариационное исчисление. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. — 288 с.
2. Квасов, Б.И. Численные методы анализа и линейной алгебры. Использование Matlab и Scilab: учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 328 с. Коммерсант. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3792024>. — (Дата обращения: 12.03.2023)
3. Кетков, Ю.Л., Кетков, А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 6.x: программирование численных методов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 672 с.
4. Малевич, Ю.В., Шурпатов, И.Г. Обеспечение надежности при реализации технологии тайм-слотирования // Логистика и управление цепями поставок. — 2010. - №6 (41). Пашков Н.Н. Аналитический синтез оптимальных траекторий программного движения многозвенного манипулятора / Мехатроника. Автоматизация. Управление. — М.: 2008. № 9. Робототехнические системы. — С.10-15.
5. Karagiannis, G. et al. (2022), “Warehousing and distribution network design from a Third-Party Logistics (3PL) company perspective”, IFAC PapersOnLine, vol. 55-10, pp. 3106–3111.
6. Sun, H. et al. (2008), “A bi-level programming model and solution algorithm for the location of logistics distribution centers”, Applied Mathematical Modelling, vol. 32, pp. 610–616.
7. Forkan, M., Rizvi, M.M. and Chowdhury M.A.M. (2022), “Multiobjective reverse logistics model for inventory management with environmental impacts: An application in industry”, Intelligent Systems with Applications, vol. 14, pp. 1–13.

References

1. A.A. Bochkarev, Reliability and resilience management in supply chains, Lan. (2023) 264.
2. B.I. Kvasov, Numerical methods of analysis and linear algebra. Usage of Matlab and Scilab; study guide, Lan. (2016) 328.
3. Yu.L. Ketkov, A.Yu. Ketkov, M.M. Schulz, MATLAB 6.x: programming numerical methods, BHV-Petersburg, (2004) 672.
4. Yu.V. Malevich, I.G. Shurpatov, Reliability maintenance in time-slot technology realisation, Logistics and supply chain management. 6 (41) (2010)
5. Karagiannis, G. et al. (2022), “Warehousing and distribution network design from a Third-Party Logistics (3PL) company perspective”, IFAC PapersOnLine, vol. 55-10, pp. 3106–3111.
6. Sun, H. et al. (2008), “A bi-level programming model and solution algorithm for the location of logistics distribution centers”, Applied Mathematical Modelling, vol. 32, pp. 610–616.
7. Forkan, M., Rizvi, M.M. and Chowdhury M.A.M. (2022), “Multiobjective reverse logistics model for inventory management with environmental impacts: An application in industry”, Intelligent Systems with Applications, vol. 14, pp. 1–13.

Приглашаем ученых, работников системы высшего образования и специалистов в области транспорта и логистики к сотрудничеству в качестве авторов журнала «Логистика и управление цепями поставок».

Тематика журнала определяется следующим перечнем научных специальностей:

- 2.9.1. Транспортные и транспортно – технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки)
- 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)
- 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки)
- 2.9.9. Логистические транспортные системы (технические науки)

Структура и содержание документа при подаче статьи:

1. УДК
2. Название статьи
3. Информация о авторах (полное ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, РИНЦ AuthorID). Для корреспондирующего автора необходимо указать телефон и e-mail.
4. Аннотация (120 – 200 слов. Аннотация должна кратко раскрывать содержание проведенного исследования)
5. Ключевые слова (5 – 8 слов или словосочетаний)
6. Текст статьи (15 – 20 тысяч символов). Текст статьи должен быть логичным, последовательным и исчерпывающе раскрывающим проведенное исследование. Статья обязательно содержит вводную, основную и заключительную часть. Содержание статьи должно соответствовать тематике журнала.
7. Перечень источников. Не менее 15 актуальных позиций, оформленных в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Название статьи, информация о авторах, аннотация, ключевые слова и перечень источников представляются на русском и английском языках.

Требования и условия публикации

- Публикации в журнале бесплатны и проходят слепое рецензирование.
- Публикация возможна при наличии положительного заключения рецензента. Нуждающаяся в доработке статья направляется автору вместе с замечаниями рецензента. После устранения замечаний статья направляется автором для повторного рецензирования. При отрицательном заключении рецензента статья возвращается автору.
- Редакция оставляет за собой право отклонять без рассмотрения по существу статьи, не соответствующие профилю журнала, имеющие некорректные заимствования или оформленные с нарушением требований.
- Представленные на рассмотрение редакции тексты проходят проверку на наличие некорректных заимствований.
- Опубликованные статьи, а также информация об авторах на русском и английском языках размещается в свободном доступе в Интернете на платформе Научной Электронной Библиотеки – eLIBRARY.RU.

Контактная информация редакции:

Дмитрий Владимирович Кузьмин

Телефон: +7 (495) 684 - 29 - 07

Почта: transportjournal@yandex.ru

Ссылка на страницу журнала на платформе Научной Электронной Библиотеки – eLIBRARY.RU – https://www.elibrary.ru/title_profile.asp?id=26698

