

ТРАНСПОРТ
НАУКА, ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ
НАУЧНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК
TRANSPORT
SCIENCE, EQUIPMENT, MANAGEMENT
SCIENTIFIC INFORMATION COLLECTION

Издается с 1990 г.

№ 8

Москва 2020

Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» включен в новый ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидатов наук, на соискание ученой степени докторов наук (Перечень ВАК). Действует с 28.12.2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Колесов В.И., Данилов О.Ф., Петров А.И., Гуляев М.Л. Структурная энтропия сложных систем в метрике обобщенного золотого сечения.....	3
Дружинина О.В., Локтев А.А., Ванюшаник И.С. Анализ спектра реакции и применение грунтовых коэффициентов для моделирования мостовых переходов транспортной инфраструктуры с учетом сейсмических воздействий.....	7
Палагин Ю.И. Оптимальное планирование маршрутов доставки мелких отправок в сложных структурах клиентских заказов.....	14
Покровская О.Д. О требованиях и принципах реализации комплексной услуги на железнодорожном транспорте	20
Блудян Н.О. Оценка перспективы использования электрических автобусов на городском транспорте	28
Тиверовский В.И. Складская логистика на пути в цифровое будущее	37
Горенькова В.С., Кравец Ю.Д. Технология комплексного подхода к планированию перевозок и выгрузки колесной и гусеничной техники в арктической зоне Российской Федерации	42
Голев И.М., Заснецова Т.И., Угрюмов Р.Б., Желонкин М.В., Попов А.С. Расчет характеристик маяка для магнитометрической системы позиционирования беспилотного летательного аппарата	51
Сафронов Е.В., Носко А.Л., Шарифуллин И.А., Носко Е.А., Одиноква И.В. Методика расчета накопительных роликовых конвейеров с механической системой управления для поддонов с грузом	57
Информация для авторов	63

CONTENTS

V.I. Kolesov, O.F. Danilov, A.I. Petrov, M.L. Gulyaev Structural Entropy of Complex Systems in Metric of the Generalized Golden Section	3
O.V. Druzhinina, A.V. Loktev, I.S. Vaniushanik Analysis of the Response Spectrum and Application of Site Coefficients for Modelling Bridge Crossings of Transport Infrastructure with Account for Seismic Impact	7
Yu.I. Palagin Optimal Delivery Routing of Small-Sized Parcels in Complex Structures of Clients' Orders.....	14
O.D. Pokrovskaya On the Requirements and Principles of Implementation of Integrated Services in Railway Transport.....	20
N.O. Bludyan Assessment of Future Use of Urban Electric Buses	28
V.I. Tiverovsky Warehouse Logistics on the Way to Digital Future.....	37
V.S. Gorenkova, Yu.D. Kravets Technology of an Integrated Approach to Planning Transportation and Unloading of Wheeled and Tracked Vehicles in the Arctic Zone of the Russian Federation	42
I.M. Golev, T.I. Zaentseva, R.B. Ugryumov, M.V. Zhelonkin, A.S. Popov Calculation of Characteristics of a Beacon for Magnetic Positioning System of Unmanned Aerial Vehicle	51
E.V. Safronov, A.L. Nosko, I.A. Sharifullin, E.A. Nosko, I.V. Odinokova Method of Calculation of Accumulating Roller Conveyors with Mechanical Control System for Loaded Pallets	57
Information for authors	63

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СБОРНИКА

(по состоянию на 20.01.2020 г.)

Наукометрический показатель	Значение
Двухлетний импакт-фактор в РИНЦ	0,635
Двухлетний импакт-фактор с учетом цитирования из всех источников	0,901
Пятилетний импакт-фактор в РИНЦ	0,277
Число статей за год в РИНЦ	143

Сборник занимает 42-е место в рейтинге SCIENCE INDEX по тематике «Транспорт».

СТРУКТУРНАЯ ЭНТРОПИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В МЕТРИКЕ ОБОБЩЕННОГО ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ

Кандидат техн. наук, доцент **Колесов В.И.**,
доктор техн. наук, профессор **Данилов О.Ф.**,
кандидат техн. наук, доцент **Петров А.И.**,
ассистент **Гуляев М.Л.**
(Тюменский индустриальный университет)

STRUCTURAL ENTROPY OF COMPLEX SYSTEMS IN METRIC OF THE GENERALIZED GOLDEN SECTION

V.I. Kolesov, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
O.F. Danilov, Doctor (Tech.), Professor,
A.I. Petrov, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
M.L. Gulyaev, Assistant
(Tyumen Industrial University)

Безопасность дорожного движения, макро моделирование, обобщенное золотое сечение, идентификация модели, энтропия, уровень организованности системы.

Road safety, macromodeling, generalized Golden section, model identification, entropy, system organization level.

Представлен синтез гармоничных систем управления безопасностью дорожного движения в «умных городах». Выполнена параметрическая идентификация макро модели структурной энтропии сложной системы в метрике обобщенного золотого S-сечения. Дана оценка уровня организованности системы.

The article is focused on the synthesis of harmonious road safety management systems in smart cities. Parametric identification of the macromodel of the structural entropy of a complex system in the metric of the generalized Golden S-section is performed. The assessment of the level of organization of the system is given.

Постановка задачи. Процесс создания сложных транспортных систем в «умных городах» заметно прогрессирует [1-11]. К такому классу систем относят системы организации и безопасности дорожного движения (ОБДД), управление работой которых реализуют с использованием кибернетических принципов [12]. Ключевой задачей при этом является обоснование рационального построения системы, отвечающей законам структурной гармонии. Концептуальной основой обычно выступает закон обобщенного золотого S-сечения (ОЗС). Метрическая сторона дела в условиях действия ОЗС решается, как правило, на энтропийном уровне. К сожалению, вопрос о связи структурной энтропии сложной системы с параметрами закона ОЗС до сих пор остаётся открытым.

Решение задачи. Администрации российских городов уделяют неослабевающее внимание совершенству систем ОБДД. В рамках современной концепции Smart City эффективность систем организации и безопасности дорожного движения введена в состав ключевых показателей. Её повышение – стратегическая задача не только городов, но и страны в целом. При этом городским администрациям часто приходится решать трудные задачи управления в изменяющихся внешних условиях, влияющих на уровень организованности управленческого процесса.

Процесс решения задачи должен учитывать три аспекта:

- специфику ОЗС;
- структуру (архитектуру) системы;
- анализ уровня организованности системы.

Специфика обобщённого золотого S-сечения. В сфере управления сложными системами признанным авторитетом является Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук, где разработан ряд научных методов повышения эффективности управления, хорошо зарекомендовавших себя на практике [13]. Одним из них считается метод «золотого сечения» (или «золотой пропорции»), являющийся основой современного научного направления – «F-технологии» (F–Фибоначчи) [14].

Исследования Э.М.Сороки показывают [15], что в подавляющем большинстве ситуаций работает закон «обобщенного золотого сечения», когда между частями единичного отрезка x и x_c (отвечающих условию $x + x_c = 1$) выполняется пропорция

$$(1/x)^s = x/x_c = x/(1-x), \quad (1)$$

из которой следует

$$x^g + x - 1 = 0, \quad (2)$$

где x – доминанта; $1-x = x_c$ – субдоминанта; s и g – так называемые параметры кратности и порядка соответственно, $g = s + 1$.

Учитывая, что $x + x_c = 1$, уравнение (2) можно записать в виде

$$x = 1 - (1 - x_c)^g. \quad (3)$$

Его решение (Хорт) при принятом условии $x = 1 - x_c$ легко может быть найдено графически (рис. 1).

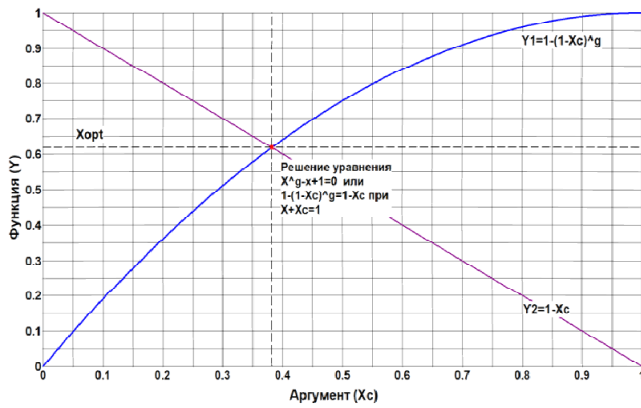


Рис. 1. Решение уравнения $x^g + x - 1 = 0$

В общем случае само решение связано с параметром порядка g (рис. 2). Эта связь обусловлена соотношением (3), из которого следует, что

$$g = \ln(1 - x) / \ln(1 - x_c). \quad (4)$$

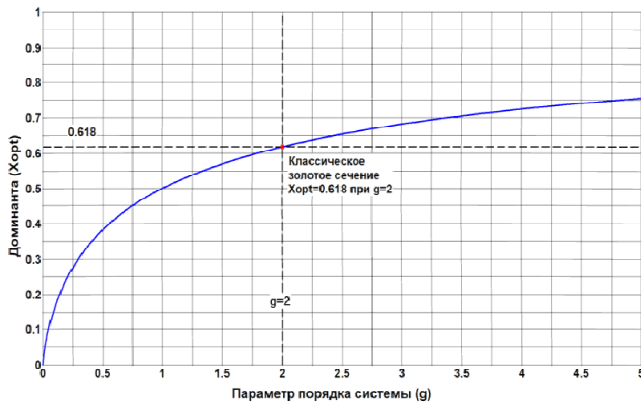


Рис. 2. Модель $X_{opt}(g)$

На практике наибольшее распространение получила классическая «золотая пропорция», являющаяся, однако, лишь частным случаем обобщенного закона. На рис. 2 эта ситуация выделена особой точкой с координатами: $g = 2$; $X_{opt} = 0.618$.

Структура системы. Под ней (в сфере ОБДД) понимается структура механизма дорожной аварийности (рис.3). В последнее время в анализе причинно-следственного механизма активно эксплуатируется кибернетический подход [12].



Рис. 3. Коэффициенты передачи звеньев

В соответствии со структурой механизма дорожной аварийности (рис. 3) следует выделить три subprocessa:

- формирование парка транспортных средств, определяющего среднегодовую интенсивность дорожного движения (с коэффициентом передачи $K_n = N/P$);

- формирование массива ДТП с коэффициентом передачи $K_{dtp} = DTP/N$;
- формирование летальных исходов (с коэффициентом передачи $K_{pg} = PG/DTP$).

Практический интерес обычно представляют два тракта:

- участок «P-PG», характеризующий социальный риск, (со сквозным коэффициентом передачи (СКП) $K_{HR} = PG/P$) и
- участок «N-PG», характеризующий транспортный риск, (СКП $K_{TR} = PG/N$).

Совершенно очевидно, что чем меньше сквозной коэффициент передачи, тем позитивней результат. Покажем это на примере $K_{HR} = PG/P = K_n \cdot K_{dtp} \cdot K_{pg}$.

В качестве оценки примем величину $Q = \ln(1/K_{HR})$, из чего следует, что

$$Q = Q_n + Q_{dtp} + Q_{pg} = \ln(1/K_n) + \ln(1/K_{dtp}) + \ln(1/K_{pg}). \quad (5)$$

Анализ соотношения (5) показывает, что доля каждого слагаемого w_i в общей сумме равна

$$w_i = \frac{\ln(1/K_i)}{\sum_{i=1}^3 \ln(1/K_i)}. \quad (6)$$

Анализ уровня организованности системы. С инженерной точки зрения, важно уметь оценивать степень упорядоченности системы [15]. Численной характеристикой в этом случае выступает структурная энтропия или её информационный эквивалент – относительная энтропия Hn

$$H_n = \left[- \sum_{i=1}^n w_i \cdot \ln(w_i) \right] / \ln(n), \quad (7)$$

где n – количество компонентов системы; w_i – веса,

отвечающие условию нормировки $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

В качестве идеала при проведении оценки используют эталонные системы в метрике обобщенного золотого S-сечения [16,17]. Такие системы характеризуются единым параметром порядка g как в уравнении Э.М. Сороко (2), так и в аналитическом описании диаграммы Парето, идентифицирующей структуру системы,

$$y = 1 - (1 - r/n)^g, \quad (8)$$

где r – ранг веса компонента системы; n – максимальный ранг.

Диаграмма Парето, как известно, является кумулятой (нарастающей суммой) весов n -компонентной системы.

Важной особенностью эталонных систем является детерминированность веса w_i каждого i -компонента системы

$$w_i = y_i - y_{i-1} = \left(1 - \frac{i-1}{n}\right)^g - \left(1 - \frac{i}{n}\right)^g. \quad (9)$$

В такой ситуации связь относительной структурной энтропии Hn с параметрами g и X_{opt} становится однозначной (рис. 4 и 5 соответственно).

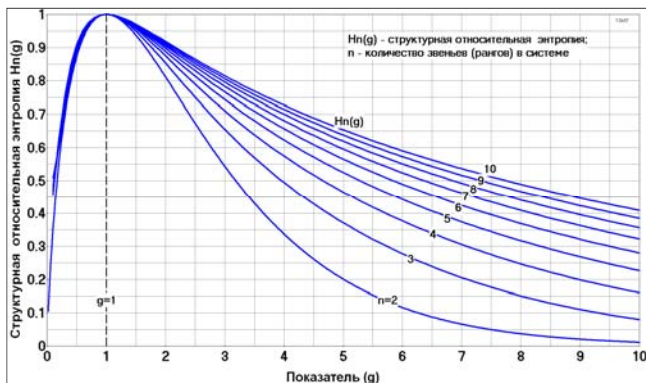


Рис. 4. Модель $Hn(g)$

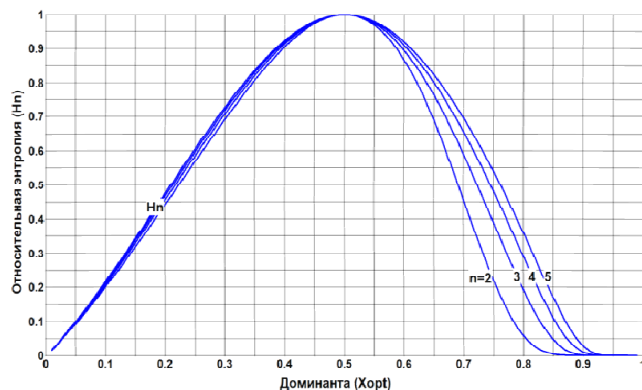


Рис. 5. Модель относительной энтропии $Hn(X_{opt})$

Практический интерес, разумеется, представляет методика оцифровки уровня организованности открытой системы. Если полагать, что состоянию полного хаоса соответствует значение относительной структурной энтропии $Hn=1$, а состоянию тотального порядка $Hn=0$, то логично принять в качестве уровня структурной организованности открытой системы величину

$$OS(X_{opt}) = 1 - H_n(X_{opt}). \quad (10)$$

Доминанта в этом случае характеризует функциональную сторону дела, и физический смысл её определяется предметной областью, обслуживаемой системой (рис. 6). Это может быть некий положительный целевой результат, например, полезность.

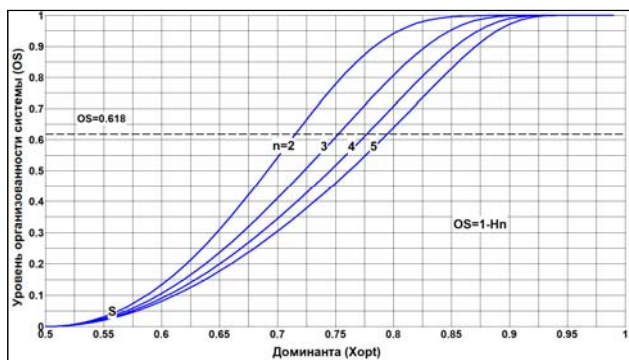


Рис. 6. Модель оценки уровня организованности системы $OS(X_{opt})$

На рис. 6 выделен уровень $OS=0.618$, считающийся оптимальным «по Сороко».

Полученные результаты позволяют сделать ряд важных выводов:

- при работе открытых систем (когда $g>1$) в режиме ОЗС структурная энтропия зависит от двух параметров: g и n (см. рис. 4);
- в эталонных системах (когда значения параметров порядка g как для функциональной, так и для структурной сущности одинаковы) уровень организованности системы ($OS=1-Hn$) в установившемся режиме функционально связан с доминантой X_{opt} (см. рис. 6).

Заключение. Все рабочие алгоритмы прошли программное тестирование. По сути они представляют собой аналитическое ядро технологического процесса управления и ориентированы на использование в информационно-аналитической системе Smart Region.

Литература

1. National Intelligent Transportation System (ITS) Architecture. Executive Summary. Research and Innovation Technology Administration (RITA). US Department of Transportation. Washington D. C. , May 2007.
2. ITS Strategy in Japan. Report of the ITS Strategy Committee ITS Japan. Summary version. ITS Strategy Committee, 2003.
3. National Intelligent Transport Systems Strategy 2010-2015. Intelligent Transport Systems Australia, July 2010.
4. Multimodal ITS strategy and action plan for Sweden. Swedish Road Administration. March 2010.
5. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г.
6. Комаров В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика / В.В. Комаров, С.А. Гараган. – М. : НТБ «Энергия», 2012. – 352 с.
7. Колесников А.А. Синергетическая теория управления, М.: Энерго-атомиздат, 1994, 344 с.
8. Жанказиев, С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 104 с.
9. Соколов и др. Цифровая безопасность умных городов / Соколов И.А., Куприяновский В.П., Аленков В.В., Покусаев О.Н., Ярцев Д.И., Акимов А.В., Намиот Д.Е., Куприяновская Ю.В. International Journal of Open Information Technologies. 2018. Т. 6. № 1. С. 104-118.
10. Куприяновский В.П. и др. Интеллектуальная мобильность и мобильность как услуга в Умных Городах //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12.
11. Намиот Д.Е. Умные города //International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4, № 1.- С. 1-3.
12. Колесов В.И., Петров А.И. Кибернетическое моделирование в задачах управления безопасностью дорожного движения //Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сборник трудов (электронная версия) участников двенадцатой междунар. науч.-практ. конф. / СПбГАСУ. – СПб., 2016.- С.372-378.
13. Прангишвили И.В. Проблемы эффективности управления сложными социально-экономическими и организационными системами //Имущественные отношения в РФ.- 2006, №11(62).- С.82-86.

14. Иванус А.И. Основы гармоничного менеджмента (Концепция F-технологии). - М., 2004 (Научное издание / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН). – 82 с.

15. Petrov A. Entropic analysis of dynamics of road safety system organization in the largest Russian cities / A. Petrov, V. Kolesov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - Vol. 177. - 012015.

16. Сороко Э.М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонии систем. Изд. 4-е. - М.: Книжный дом <<ЛИБРОКОМ>>, 2012. - 264 с.

17. Колесов В.И. Эталонные системы в метрике обобщенного золотого сечения // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы VIII Международной научно-технической конференции; Тюмень: ТИУ, 2019. – С.11-16.

Сведения об авторах:

Колесов Виктор Иванович - заслуженный работник высшей школы РФ, ведущий научный сотрудник, Тюменский индустриальный университет, кафедра «Автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин».

Телефон: 8(3452) 68-10-09,
e-mail: vikolesov@yandex.ru.

Данилов Олег Федорович, Заслуженный деятель науки РФ, Почетный работник высшего профессионального образования России, заведующий кафедры «Автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин».

Телефон: 8(3452) 68-10-09,
e-mail: danilovof@tyuiu.ru.

Петров Артур Игоревич, доцент - Тюменский индустриальный университет, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта».

Телефон: 8(3452) 28-33-42,
e-mail: artigpetrov@yandex.ru.

Гуляев Максим Леонидович - ассистент, кафедра «Автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин».

Телефон: 8(3452) 68-10-09,
e-mail: gulyev_ml72@mail.ru.

Адрес университета: 625001 Тюмень, ул. Луначарского, 2.

АНАЛИЗ СПЕКТРА РЕАКЦИИ И ПРИМЕНЕНИЕ ГРУНТОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Доктор физ.-мат. наук, профессор **Дружинина О.В.**
(Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» Российской академии наук,
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук,
Российский университет транспорта),
доктор физ.-мат. наук, профессор **Локтев А.А.**
(Российский университет транспорта),
магистрант **Ванюшаник И.С.**
(Российский университет транспорта)

ANALYSIS OF THE RESPONSE SPECTRUM AND APPLICATION OF SITE COEFFICIENTS FOR MODELLING BRIDGE CROSSINGS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE WITH ACCOUNT FOR SEISMIC IMPACT

O.V. Druzhinina, Doctor (Physics & Math.), Professor
(FRC “Computer Science and Control” of RAS, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS,
Russian University of Transport),
A.V. Loktev, Doctor (Physics & Math.), Professor
(Russian University of Transport),
I.S. Vaniushanik, Master's Student
(Russian University of Transport)

Автомобильные и железнодорожные мосты. Проектирование. Сейсмические воздействия, сейсмическое микрорайонирование. Грунтовые коэффициенты. Спектральный метод оценки колебаний элементов конструкций.

Design of automobile and railway bridges, seismic impacts, seismic microzonation, site coefficients, spectral method for oscillation evaluating of structural elements.

Рассмотрены вопросы построения спектра реакции для моделирования мостовых переходов транспортной инфраструктуры с учетом геологических условий и сейсмических воздействий. Охарактеризованы особенности проектирования и строительства автомобильных и железнодорожных мостов. Предложена конкретизация спектрального метода расчета колебаний, передаваемых грунтом на фундаменты опор моста при сейсмическом воздействии. Рассмотрен пример моделирования спектральных характеристик с учетом лёссовых грунтов и возможных сейсмических воздействий высокой интенсивности. Рассмотрены перспективные направления в моделировании мостовых переходов транспортной инфраструктуры.

The problems of constructing of response spectrum for modeling bridge crossings of transport infrastructure with consideration of geological conditions and seismic impacts are considered. Features of design and construction of automobile and railway bridges are characterized. A specification of the spectral method for calculating vibrations transmitted by the ground to the foundations of bridge pillars under seismic influence is proposed. An example of spectral characteristics modeling is considered, taking into account loess soils and possible high-intensity seismic impacts. Perspective directions in modeling of bridge crossings of transport infrastructure are considered.

1. Общие положения

Проектирование и строительство мостовых конструкций в условиях возможных сейсмических воздействий относятся к сложным инженерным задачам. Актуальными направлениями, связанными с решением таких задач, являются развитие методов анализа геологических условий и разработка методик, учитывающих факторы сейсмоопасности [1]. Территория Российской Федерации характеризуется умеренной сейсмичностью, однако ряд регионов относится к регионам с высокой сейсмичностью. В частности, в регионах Северного Кавказа, юга Сибири и Дальнего Востока, где интенсивность землетрясений может достигать 8–10 баллов

по 12-балльной макросейсмической шкале, условия возведения объектов капитального строительства не являются благоприятными.

Проектирование и строительство автомобильных и железнодорожных мостов включают в себя этапы от выбора местоположения будущего объекта и инженерных изысканий до подбора элементов конструкций и их монтажа. Важно подчеркнуть, что нагрузки, передаваемые сооружению от транспортных средств, различны, поэтому для систематизации данных и возможной разработки ориентировочных таблиц по проектированию опор мостов необходимо разделение: автомобильные, железнодорожные и совмещенные мостовые сооружения.

Важным перспективным направлением при моделировании элементов конструктивных элементов мостов на сейсмические воздействия является использование карт сейсмической активности, разработанных Российской академией наук в 2016 г. [2]. Указанные карты можно использовать для моделирования и расчетов конструктивных элементов мостов на сейсмические воздействия с последующей систематизацией полученных данных: сейсмо-геологические условия – тип элемента (параметры, материал). Важно отметить, что на текущий момент единые сейсмические таблицы для проектирования с дальнейшим строительством рассматриваемых инженерных сооружений отсутствуют, в связи с чем создание и анализ указанных таблиц является актуальной задачей. В качестве дополнительного фактора при расчете инженерных конструкций в нашей стране целесообразно учитывать изменения грунтовых условий при добыче нефти и газа, в связи с неполным замещением флюидов углеводородов. Кроме того, возрастает актуальность учета фактора глобального потепления.

Основной задачей после изучения района проектирования является выбор расчетной схемы с определением несущей способности грунтового массива. Критерии эффективности проектирования опор моста разнообразны: экономичность, технологичность, простота эксплуатации, долговечность. Из-за многообразия условий сложно повторить конструктивное решение. Это связано с тем, что проект моста привязан к конкретной длине пролетных строений, опирающихся на опоры, и к конкретным геологическим условиям [3].

Для инженерных расчетов в практике сейсмического микрорайонирования уже принято использовать спектры реакций. Указанные спектры соответствуют реакциям системы маятников с одной степенью свободы, но с различными периодами собственных колебаний и с одинаковым затуханием. Аналогия с маятниками позволяет моделировать реакцию реально существующих сооружений. Значение инерционной силы, которая действует при сейсмическом событии на конструкцию, равно произведению ординаты графика спектра реакции на массу сооружения. В [4] отмечено, что «правильное задание параметров сейсмического воздействия, с одной стороны, залог сейсмической безопасности, а с другой – обеспечивает разумное, без излишних подробностей, задание сейсмических усилий, что позволяет экономить средства без потери надежности».

В целом существующая классификация исходных грунтовых условий при проектировании и строительстве мостовых конструкций с учетом сейсмических возмущений требует уточнений и дополнений. В расширенное описание возможных стратиграфических профилей включаются скальные геологические формации, отложения плотного песка и песка средней плотности, гравия, жесткой и мягкой глины, водонасыщенные отложения. Важным моментом является необходимость выбора грунтовых условий с учетом текущего таяния льда в многолетнемерзлых почвах. В настоящей работе рассмотрены особые грунтовые условия, связанные с наличием лёссовых грунтов [5].

В [6] представлено обоснование применения мостотоннелей в условиях вечной мерзлоты, заболоченной местности и сейсмических районах, а также предложена математическая модель расчета мостотоннеля бесфундаментного типа на пневмодомкратах. В [7] рассмотрены особенности строительства и ремонта со-

вмещенных (автомобильных и железнодорожных) мостов в особых геологических условиях, приближенным к условиям вечной мерзлоты.

В [8, 9] дано описание математической модели динамического взаимодействия высокоскоростного поезда и железнодорожного пути при сейсмических воздействиях, в частности, при движении по железнодорожному мосту. Матричные дифференциальные уравнения модели изучены с помощью качественных методов теории устойчивости движения, а также с помощью численных методов. Подходы к оценке безопасности транспортных систем при сейсмических воздействиях изучены в [10,11] и в других работах.

В [12, 13] рассмотрены методы построения спектров реакций конструкций на сейсмические воздействия с учетом местных инженерно-геологических условий.

Современные инженерно-сейсмологические исследования и принятие нормативной документации нового поколения показывают, что для того чтобы адекватным образом учесть особенности характеристик и строения верхней части геологического разреза, необходимо внедрять в практику использование грунтовых коэффициентов [4, 14, 15]. С помощью грунтовых коэффициентов можно построить спектр реакции грунтовой модели и получить необходимые характеристики сейсмических воздействий. В [4] обосновано, что с помощью такого параметра, как средняя сейсмическая жесткость 30-метровой толщи, слагающей верхнюю часть разреза, можно задать набор грунтовых коэффициентов, по меньшей мере в области линейных представлений. Кроме того, в [4] предложены формулы, позволяющие по параметрам грунтовой модели определить спектры реакции грунтов на сейсмические воздействия. Для случая нелинейной связи параметров сейсмических воздействий и свойств грунтовой модели рассмотрены соотношения на базе коэффициентов редукции.

В настоящей работе предложена конкретизация спектрального метода расчета колебаний, передаваемых грунтом на фундаменты опор автомобильных и железнодорожных мостов при сейсмическом воздействии. Исходные данные для построения спектра упругой реакции в ускорениях для горизонтальной компоненты сейсмического воздействия содержат конструктивные данные моста, тип грунтовых условий площадки строительства, а также коэффициенты, характеризующие сейсмические свойства грунта.

Вышеуказанные методы и подходы связаны с методами математического моделирования, строительной механики и транспортного строительства, а также с методами сейсмического районирования.

Теоретическая и прикладная направленность проведенной в настоящей статье исследования связана с реализацией Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года и Стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г. в таких аспектах, как: 1) повышение уровня безопасности движения, 2) разработка и совершенствование систем контроля напряженно-деформированного состояния, гидростатического давления и сейсмического воздействия на конструкции транспортной инфраструктуры, расположенные в сейсмически активных районах и в сложных инженерно-геологических условиях; 3) развитие скоростных и высокоскоростных железнодорожных перевозок, всех видов городского и пригородного транспорта; 4) обес-

печение надежной эксплуатации инженерных сооружений на современном техническом и технологическом уровне [16].

2. Особенности проектирования и эксплуатации автомобильных и железнодорожных мостов

Важно подчеркнуть, что нагрузки, передаваемые сооружению от транспортных средств, различны, поэтому для систематизации данных и возможной разработки ориентировочных таблиц по проектированию опор мостов необходимо разделение: автомобильные, железнодорожные и совмещенные мостовые сооружения.

Автомобильные и железнодорожные мосты имеют ряд своих особенностей. На элементы железнодорожных мостов действуют фиксированные нагрузки по стабильным линиям. На автомобильные мосты действуют переменные нагрузки, поэтому сооружение должно выдерживать нагрузки в любом месте полотна.

До начала проектирования автомобильного моста необходимо провести сбор и анализ информации по грузопотоку, приходящемуся на район строительства, с целью моделирования интенсивности движения в будущих периодах.

При проектировании железнодорожного моста следует учитывать габариты и грузоподъемность будущих железнодорожных составов.

Такой тип сооружений, как совмещенные (автомобильные и железнодорожные) мосты встречается достаточно редко. К крупным сооружениям в нашей стране относятся Керченский, Северодвинский, Хабаровский мосты. В этих инженерных конструкциях должны быть учтены особенности как железнодорожных, так и автомобильных мостов.

Стоит отметить, что при проектировании любые мосты следует располагать перпендикулярно течению воды (с косиной не более 10°) на прямолинейном участке с устойчивым руслом, вместе с неширокой (малозатопляемой) поймой, удаленном от перекатов на расстоянии не менее 1,5 длины расчетного судового или плотового состава. Данные требования указаны в СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» (актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*).

Согласно нормативной документации, фундаменты мостов рассчитывают с учетом сейсмических воздействий 7 баллов и выше. Кроме обычных учитывают следующие нагрузки, возникающие при землетрясении: сейсмические инерционные силы (нагрузки) от веса фундамента, надфундаментной части опоры, пролетных строений и временной вертикальной (полезной) нагрузки; сейсмическое горизонтальное (боковое) давление грунта на устои; сейсмическое (гидродинамическое) давление воды на опоры мостов. Значения перечисленных нагрузок определяют согласно указаниям СНиП 11-7-81 «Строительство в сейсмических районах» (2014). В расчетах принимают, что сейсмические нагрузки действуют преимущественно в горизонтальных направлениях вдоль и поперек моста.

3. Использование грунтовых коэффициентов в сейсмическом районировании

Приведем краткую характеристику типов грунтов, которая используется при проектировании объектов строительства, в частности, таких, объектов транспортного строительства, как автомобильные и железнодорожные мосты.

К типу А относят скальные и другие скальноподобные геологические формации, включающие не более 5 м ослабленных материалов на поверхности. Тип В характеризуется отложениями очень плотного песка, гравия или очень жесткой глины, мощностью до нескольких десятков метров и толщиной, характеризующейся постепенным увеличением механических свойств по глубине. К типу С относят глубокие отложения плотного или средней плотности песка, гравия или жесткой глины с толщиной от нескольких десятков до сотен метров. Тип D включает отложения несвязного и среднесвязного грунта (с некоторыми мягкими связными слоями или без них) или преимущественно мягких устойчивых связных грунтов. Тип Е соответствует грунтовому профилю, который состоит из поверхностного аллювиального слоя с мощностью от 5 м до 20 м, с подстилающей более жесткой породой. Кроме того, выделяют типы S_1 (отложения, состоящие или содержащие слой мощностью не менее 10 м из мягких глин/илов с высоким индексом пластичности и водонасыщенные) и S_2 (отложения способных к разжижению грунтов, неустойчивых глин или любые другие грунтовые профили, не включенные в типы А – S_1).

Для учета влияния локальных свойств грунта на сейсмические воздействия к значениям спектральной плотности ускорений привязывают соответствующие грунтовые коэффициенты. Применение грунтовых коэффициентов дает поправки спектра, учитывающие как региональные, так и локальные грунтовые особенности сейсмических воздействий. Для получения набора спектров реакции для различных типов грунта спектральную плотность низкочастотного диапазона и высокочастотную составляющую спектра реакции необходимо умножить на соответствующие грунтовые коэффициенты.

На рис.1 приведен сравнительный анализ спектров реакций для различных типов грунтовых условий. Основной вклад в параметры сейсмических воздействий вносят короткопериодные коэффициенты, влияющие на уровень спектра реакции [4].

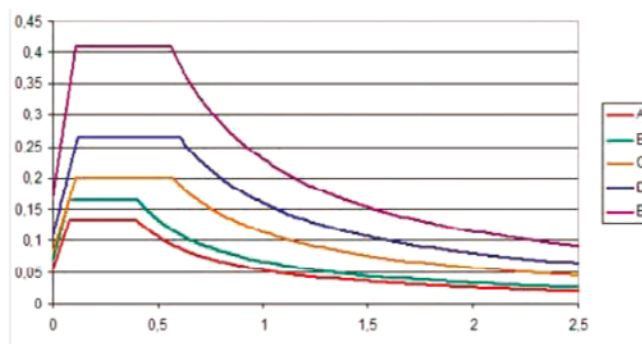


Рис. 1. Сравнительный анализ спектров реакций для различных типов грунта.

В ряде отечественных нормативных документов предлагается оценку влияния свойств грунта на форму спектров реакции осуществлять с помощью коэффициента динамичности. В нормативных документах нового поколения (а именно, в СП 286.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования и в СП 283.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования) описана схема применения грунтовых коэффи-

коэффициентов для построения спектров реакций. Следует отметить, что таблицы этих коэффициентов требуют уточнений и дополнений с учетом специфики региональных и геологических условий Российской Федерации.

Значения грунтовых коэффициентов, сгруппированные различными специалистами и коллективами, варьируют в довольно широких диапазонах. Этот факт связан с различием параметров землетрясений и грунтов, а также с погрешностями методов обработки данных. Для дальнейшего совершенствования таблиц грунтовых коэффициентов можно использовать карты сейсмической активности [2], эмпирические данные обследования крупных землетрясений и результаты математического моделирования.

4. Моделирование спектра реакции с учетом лёссовых грунтов и сейсмических воздействий

Для изучения модельного примера будем в дальнейшем рассматривать колебания, передаваемые грунтом на фундаменты опор моста «М» при сейсмическом воздействии. Будем учитывать условия Северо-Кавказского региона, где средняя интенсивность толчков составляет 9 баллов.

Рассмотрим грунтовые условия на примере изучаемого региона для проектирования мостовых конструкций. Строительство зданий и сооружений на территории рассматриваемого региона осложняют лёссовые грунты, которые являются характерными также для территории Крыма [5]. Лёсс – осадочная горная порода, неслоистая, однородная известковитая, суглинисто-супесчаная светло-жёлтого цвета.

Лёссовые грунты образовались вследствие переноса ветром мелких минеральных частиц и откладывания их в засушливых степных районах. Таким образом лёссовые грунты имеют достаточно однородный гранулометрический состав и содержат преимущественно пылеватые (0,05 ... 0,005 мм) частицы (более 50% по массе) и небольшое количество песчаных частиц размером > 0,25 мм и частиц глинистой фракции (не более 16% по массе). В лёссовых почвах в зависимости от происхождения может находиться 0,7 ... 2,5% гумуса. По гранулометрическому составу эти грунты могут быть отнесены к супесям, суглинкам и глинам. При замачивании, в нагруженных лёссовых грунтах часть жестких структурных связей ослабляется, а часть – полностью исчезает. Действующие на грунт нагрузки разрушают связи и сдвигают (перемещают) твердые частицы относительно друг друга, вынуждая их к тесному расположению. Кроме того, к разрушению структурных связей приводит и расклинивающее действие пленочной воды, образующейся при замачивании грунта и сорбирующей вокруг поверхностно активных к взаимодействию с водой (то есть гидрофильных) глинистых и пылевидных частиц; при этом наблюдается смазочное воздействие между ними. В результате указанных процессов наблюдается резкое уменьшение объема грунта, что приводит к опусканию поверхности земли и возведенных на ней инженерных конструкций [5].

Движение поверхности грунта при землетрясении описывается спектром реакции в ускорениях, построенных в предположении линейно-упругого деформирования систем (спектром упругой реакции) [12]. Расчетное значение ускорения основания для компоненты сейсмического воздействия $0,347g$, где g – значение ускорения свободного падения.

Соответственно лёссовому грунту рассмотрим тип «D» – отложения несвязного и среднесвязного грунта (с некоторыми мягкими связными слоями или без них) или преимущественно мягких устойчивых связных грунтов.

Коэффициент корреляции по демпфированию определяют с помощью формулы

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{(5 + \xi)}},$$

где ξ – коэффициент вязкого демпфирования, %. В модельном примере будем полагать, что $\eta = 1$.

Рассмотрим этапы построения спектра упругой реакции для горизонтальной составляющей сейсмической волны. Спектр упругой реакции будем обозначать через S_e .

С учетом типа грунтовых условий «D» и с учетом соответствующего выбора значений периода имеем

$$S=1,35; T_B=0,20 \text{ с}; T_C=0,8 \text{ с}; T_D=2,0 \text{ с},$$

где S – коэффициент, характеризующий сейсмические свойства грунта; T_B – минимальное значение периода на постоянном участке график-спектра; T_C – максимальное значение периода на постоянном участке график-спектра; T_D – значение периода, определяющее начало диапазона постоянных смещений. Точки T_B , T_C и T_D являются кардинальными точками, в которых вид спектральной плотности изменяется. Спектр реакции должен строиться во всем диапазоне частот – от самых высоких частот, соответственно самых коротких периодов, до самых низких частот, и соответственно сверхдлинных периодов.

Изучим спектр упругой реакции для интервалов $0 \leq T \leq T_B$, $T_B \leq T \leq T_C$, $T_C \leq T \leq T_D$, $T_D \leq T \leq 4..$

В интервале $0 \leq T \leq T_B$ используем соотношение

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right], \quad (1)$$

где коэффициент расчетного ускорения a_g принимается равным 0,347, а другие входящие величины пояснены ранее. Подставляя параметры, характерные для лёссового грунта, для этого интервала получим:

$$\begin{aligned} S_e(T) &= 0,347 \cdot 1,35 \cdot \left[1 + \frac{T}{0,20} \cdot (1 \cdot 2,5 - 1) \right] = \\ &= 0,46845 \cdot [1 + 7,5T] = 0,46845 + 3,513375T \end{aligned}$$

Применительно к интервалу $T_B \leq T \leq T_C$ на основе формулы

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (2)$$

получим $S_e(T) = 0,347 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 2,5 = 1,17113$.

В интервале $T_C \leq T \leq T_D$ с применением формулы

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_c}{T} \quad (3)$$

$$\text{будем иметь } S_e(T) = 0,347 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \frac{0,8}{T} = \frac{0,9369}{T}.$$

Рассматривая интервал $T_D \leq T \leq 4$ и применяя формулу

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_c \cdot T_D}{T^2}, \quad (4)$$

$$\text{получим } S_e(T) = 0,347 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot \frac{0,8 \cdot 2,0}{T^2} = \frac{1,8738}{T^2}.$$

Формулы (1)–(4) и их аналоги и конкретизации служат базовыми соотношениями для построения спектра упругой реакции сейсмической волны. В таблице 1 применительно к изучаемому модельному примеру приведены результаты вычисления характерных точек спектра в заданных интервалах.

Таблица 1.

Характерные точки для построения спектра реакции в модельном примере.

T, с	0	0,2	0,8	1	2	3	4
$S_e(T)$, в долях от g	0,46845	1,17113	1,17113	0,93690	0,46845	0,20820	0,11711

На рис. 2 приведен график спектра реакции в модельном примере с учетом лёссовых грунтов.

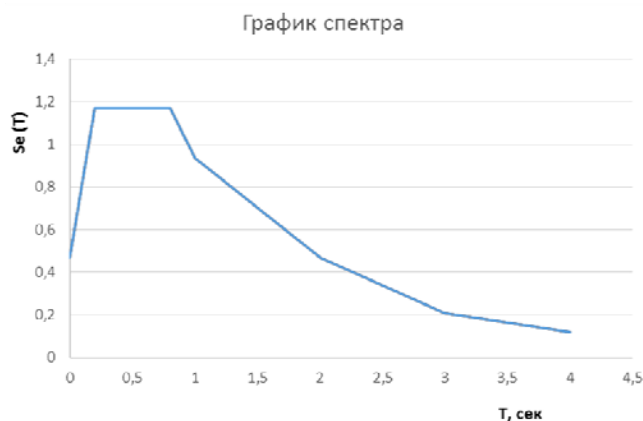


Рис. 2. График спектра реакции в модельном примере с учетом грунтовых условий типа D

Таким образом, для заданного типа грунта построен график спектра упругой реакции с учетом горизонтальной составляющей сейсмической волны. На графике спектра представлены значения спектра реакции для высокочастотной и низкочастотной частей диапазона периодов сейсмических колебаний.

5. Динамические методы анализа колебаний основных элементов конструкций автомобильных и железнодорожных мостов

Для полноформатной оценки влияния сейсмических воздействий на мостовой переход и, в частности, про-

летное строение, желательно определить собственные частоты колебаний основных элементов конструкций сооружения.

Дифференциальное уравнение, описывающее вертикальные колебания балки и позволяющее рассмотреть свободные колебания, можно записать в следующем виде:

$$m_b \frac{\partial^2 \omega(x,t)}{\partial t^2} + EI_z \frac{\partial^4 \omega(x,t)}{\partial x^4} = 0, \quad (6)$$

где ω – вертикальное перемещение средней линии балки, m_b – приведенная погонная масса балки, EI_z – жесткость балки при изгибе в вертикальном направлении.

Практически для любого мостового перехода результирующие колебания можно представить в виде набора гармонических колебаний, с различной частотой и начальным смещением фазы φ_i . Если рассматривать мостовой переход с разрезными пролетными строениями, которые обладают постоянной изгибной жесткостью и приведенной погонной массой, то вертикальное перемещение точек балки можно представить в виде

$$\omega(x,t) = \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin\left(\frac{i\pi x}{l}\right) \sin(\omega_i t + \varphi_i). \quad (7)$$

В формуле (7) $\omega_i = 2\pi f_i$ – циклическая частота, A_i – коэффициенты разложения функции прогиба в ряд Фурье, l – расчетная длина пролетного строения. Следует отметить, что для каждой формы колебаний характерна своя частота собственных колебаний:

$$f_i = \frac{j^2 \pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI_z}{m_b}}, i = 1, 2, 3, \dots$$

В обзорном научном исследовании [17] поставлены в соответствие величина частоты основной гармоники собственных колебаний железнодорожных мостов и длина пролетного строения. В результате серии экспериментов автор установил, что собственная частота колебаний железобетонных пролетных строений более 5 Гц; если пролетное строение выполнено в виде металлической фермы с организацией езды понизу, то собственная частота колебаний находится в интервале 3 – 7 Гц; для сталежелезобетонных основных конструкций диапазон данной величины 3 – 12 Гц.

В связи с необходимостью учета особенностей различных типов конструкций мостовых переходов и учета соответствующих диапазонов собственных частот колебаний, особенно актуальным становится определение временных параметров внешних сейсмических воздействий, в том числе построение спектра упругой реакции, для уменьшения вероятности появления резонансных эффектов в различных элементах мостовой конструкции.

Отметим, что вопросами, представляющими теоретический и прикладной интерес в моделировании транспортных систем, в частности, в изучении устойчивости колебаний элементов железнодорожных мостов с применением модельного уравнения (6), являются вопросы устойчивости в смысле А.М. Ляпунова и устойчивости в смысле Н.Е. Жуковского. Указанные вопросы тесно связаны с одним из приоритетных направлений развития транспортной отрасли – повышением

безопасности движения. Кроме того, в связи с внедрением высокоскоростных железнодорожных составов изучение устойчивости движения приобретает особенно важное значение. Различные типы устойчивости моделей общих динамических систем и моделей систем взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути рассматривались в работах [18–21].

6. Заключение

Рассмотренный подход к моделированию мостовых конструкций и к анализу спектра реакции позволяет выработать такие рекомендации по совершенствованию технологии проектирования мостовых переходов, которые будут эффективно учитывать геологические условия и сейсмические воздействия в регионе строительства. Создание единых сейсмических таблиц для задач проектирования сооружений на территории РФ является чрезвычайно актуальной задачей и направлено на разработку технологии модульного проектирования систем транспортной инфраструктуры [16]. Результаты применения технологии модульного проектирования можно использовать в задачах построения постоянно меняющихся цифровых профилей (цифровых двойников) объектов транспортной инфраструктуры, в задачах управления процессами, связанными с реализацией алгоритмов искусственного интеллекта [16, 21] и в других задачах.

Следует подчеркнуть, что при проектировании мостовой конструкции важным компонентом является выбор расчетной схемы. Разработка методики с применением единых сейсмических таблиц, определением параметров колебаний и построением спектра упругой реакции направлена на систематизацию типов расчетных схем в зависимости от вида местности и грунтовых условий. Данная систематизация позволит при решении конкретных задач выбрать или приблизиться к выбору типовой расчетной схемы, что, в свою очередь, снизит трудозатраты на проектирование и создание уникальных расчетных схем мостовых конструкций.

Литература

1. Пособие по проектированию мостов в сейсмических районах. М.: Мин. строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, 2017.
2. http://neotec.ginras.ru/neomaps/M080_Russia_2016_Seism-region_Komplekt-kart-osr-2016-territorii-rossiyskoy-federacii.html.
3. Смирнов В.Н. Опоры мостовых сооружений. Проектирование. Строительство. Ремонт и реконструкция. СПб.: ДНК. 2013.
4. Алёшин А.С. О грунтовых коэффициентах// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.- 2018, № 2.- С. 6–13.
5. Галай Б.Ф. Лёссовые грунты Северного Кавказа и Крыма (Сравнительный анализ). Наука. Инновации. Технологии. № 2, 2017.
6. Потапов А.В., Сычёв В.П., Локтев А.А. Сооружение мостотоннеля в условиях вечной мерзлоты, заболоченной местности и сейсмических районах// Транспортное строительство.- 2017, № 7.- С.23–25.
7. Ванюшаник И.С. Особенности строительства и ремонта совмещенных мостов в особых геологических условиях // Материалы V Международной научно-практической конференции «Системы управления, технические системы: устойчивость, стабилизация, пути и методы исследования». Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2019. С. 70–76.
8. Дружинина О.В., Климова Д.В., Мулкиджан А.С. Алгоритм анализа устойчивости модели динамического взаимодействия поезда и железнодорожного пути при сейсмических воздействиях// Наука и техника транспорта.- 2011, № 4.- С.23–32.
9. Климова Д.В., Дружинина О.В. Моделирование динамического взаимодействия поезда и железнодорожного пути с учетом оценки безопасности движения при сейсмических воздействиях//Транспорт: наука, техника, управление.- 2010, № 6.- С. 23–28.
10. Курбацкий Е. Н. Безопасность транспортных сооружений при экстремальных сейсмических воздействиях // Евразия Вести. 2008. Вып. 12. С. 22.
11. Дружинина О. В., Климова Д. В. О безопасности движения поезда при сейсмических воздействиях // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Труды XVII Международной конф. М.: ИПУ РАН, 2009.- С. 305–308.
12. Курбацкий Е.Н. Обзор методов, учитывающих местные инженерно-геологические условия при построении спектров Фурье и спектров реакций//Перспективы развития строительного комплекса.- 2018, № 18.- С. 126–133.
13. Баяев Л.В., Курбацкий Е.Н. Спектры максимальных реакций (откликов) конструкций на сейсмические и техногенные динамические воздействия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений.- 2012, № 1.
14. Power M., Borchardt R., Stewart J. Site amplification factors from empirical studies//NGA Working Group #5. September, 2004.
15. Silva W., Darragh R., Gregor N., Martin G., Abrahamson N., Kircher C., 2000, Reassessment of site coefficients and near-fault factors for building code provisions, USGS NEHRP program report 98-HQ-GR-1010.
16. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г. (Белая книга). Документ № 769/p от 17.04.2018.
17. Fryba L. Dynamics of Railway Bridges. London: Thomas Telford, 1996, 330 p.
18. Шестаков А.А., Черкашин Ю.М., Дружинина О.В. Устойчивость и прочность движения детерминированных динамических систем железнодорожного транспорта// Транспорт: наука, техника, управление.- 2003, № 12.- С. 10–15.
19. Шестаков А.А., Дружинина О.В., Масина О.Н. Оценка безопасности движения рельсовых экипажей на основе обобщенной технической устойчивости и устойчивости по Жуковскому// Транспорт: наука, техника, управление.- 2014, № 2.- С. 3–8.

20. Дружинина О.В. Устойчивость и стабилизация по Жуковскому динамических систем. М.: Изд. группа URSS, 2013. 256 с.

21. Дружинина О.В., Масина О.Н. Методы анализа устойчивости динамических систем интеллектуального управления. М.: Изд. группа URSS, 2015. 248 с.

Сведения об авторах :

Дружинина Ольга Валентиновна, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник.

Адрес: 119333 Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2.

Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, главный научный сотрудник.

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

Российский университет транспорта (МИИТ), профессор кафедры «Транспортное строительство».

Адрес: 127994 Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Тел. +7 (499)-649-19-35,

E-mail: ovdruzkh@mail.ru.

Локтев Алексей Алексеевич, Российский университет транспорта (МИИТ), заведующий кафедрой «Транспортное строительство».

Адрес: 127994 Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Тел. +7 (495)799-95-78,

E-mail: aaloktev@yandex.ru.

Ванюшаник Ирина Сергеевна, магистрант по направлению «Управление проектами строительства, реконструкции и ремонта железнодорожного пути», Российский университет транспорта (МИИТ),

Адрес: 127994 Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Тел. +7 (911)575-94-99,

E-mail: 79115759499@yandex.ru, mailto:aaloktev@yandex.ru.

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ ДОСТАВКИ МЕЛКИХ ОТПРАВЛЕНИЙ
В СЛОЖНЫХ СТРУКТУРАХ КЛИЕНТСКИХ ЗАКАЗОВ**

Доктор техн. наук, профессор **Палагин Ю.И.**
(Государственный университет гражданской авиации)

**OPTIMAL DELIVERY ROUTING OF SMALL-SIZED PARCELS
IN COMPLEX STRUCTURES OF CLIENTS' ORDERS**

Yu.I. Palagin, Doctor (Tech.), Professor
(State University of Civil Aviation)

Логистические провайдеры, мелкие отправления, заказы сложной структуры, цепи транспортировки, оптимальные маршруты, модели и алгоритмы оптимизации, программное обеспечение.

Logistical provider - supplier - consumer chains, delivery orders, optimal delivery routing, optimization models and algorithms, software.

Рассматривается задача планирования логистическим провайдером доставки малогабаритных грузов в системе разнотипных по характеру клиентских заказов. Предлагаются алгоритмы нахождения оптимальных маршрутов и программный комплекс их реализующий. Приведены примеры.

The optimal planning problem in complex consignor - consignee chains is considered. The optimal routing methods are given. Exact and suboptimal solutions of optimization problem are proposed. The algorithms and examples are described.

Поставщики (провайдеры) логистических услуг по доставке мелких отправок (почта, посылки и др.), экспедиторы, работая в условиях конкуренции стремятся в максимальной степени интегрироваться в логистические системы крупных заказчиков, предлагая разнообразные по характеру услуги по доставке грузов. Наряду с обычными, наиболее распространенными заказами по доставке грузов от одного отправителя в адрес одного получателя крупные заказчики могут делать *комплексные* заказы. Такие заказы содержат задания по доставке посылок от нескольких контрагентов в адрес одного заказчика, как получателя, и, одновременно, развозку исходящих от них отправок своим клиентам. Возникает задача нахождения маршрутов, объединяющих такие заказы в один рейс, с тем, чтобы курьер, собрав попутно заказы всех отправителей своего заказчика, сразу после разгрузки и сдачи груза осуществил забор и развозку всех подготовленных для него отправок.

При большом количестве и разнообразии заказов возникает необходимость в оптимизации маршрутов. Разбиение комплексных заказов по отдельным рейсам, упрощая поиск маршрутов, приводит к дополнительным рейсам и увеличению логистических издержек на доставку грузов. Разработка алгоритмов поиска оптимальных маршрутов способствует повышению оперативности решения задач планирования, автоматизации их решения.

Задачи оптимального планирования перевозок в различных постановках рассматривались в ряде работ [например, 1–7 и др.]. В работах [2,3] предложена единая оптимизационная модель, объединяющая разнотипные по своему характеру клиентские заказы, позволяющая формировать оптимальным образом полный транспортно-логистический процесс, элементами которого являются перевозки, погрузки, разгрузки и их опти-

мальное сочетание с целью минимизации суммарных затрат. Существенным в этих работах являлась масса (тоннаж), перевозимых отправок, сопоставимая с грузоподъемностью используемого парка автомобилей.

В настоящей работе, в отличие от модели работ [2,3], принимается, что тоннаж каждой из отправок незначителен. Тем самым снимаются ограничения по тоннажу и дополнительно снижаются транспортные издержки. Кроме того, что существенно для рассматриваемых здесь моделей, возникают дополнительные ограничения для комплексных заказов маршрутов типа «один заезд» заказчику. В зависимости от конкретных параметров задачи (расстояний, временных ресурсов) эта задача может быть выполнена за один или несколько рейсов автомобиля. Не всегда оптимальные с точки зрения провайдера маршруты содержат только один заезд к определенному заказчику комплексных заказов. В этом случае возникает задача уменьшения или ограничения количества заходов.

Далее дается точная формулировка задачи, предлагаются методы и алгоритмы ее решения, приводятся описание программного комплекса, реализующего предлагаемые модели, и алгоритмы.

**Описание транспортно-логистического процесса,
исходные данные**

Логистическому провайдеру (ЛП) по доставке мелких партий грузов, поступают заказы от его клиентов по развозке исходящих от них мелких отправок в адреса их получателей, а также заводу грузов в адрес заказчиков, отправляемых от их партнеров – отправителей. Клиентские заказы могут существенно отличаться по своей структуре, их описание дается ниже.

Собрав клиентские заказы, логистический провайдер формирует маршруты, включающие заезды ко всем отправителям, забор отправок и доставку их полу-

чателем. Весь искомый маршрут представляет собой сложный транспортно-логистический процесс (ТЛП), состоящий из отдельных элементов и рейсов автомобилей. Далее составляется транспортный заказ (заявка) перевозчикам или экспедиторам на подачу транспорта и выполнение перевозок.

Повторные заезды к одному и тому же клиенту, как получателю, с доставкой предназначенных для него отправок должны быть минимизированы, а, при возможности, исключены. Аналогично должны быть минимизированы (или исключены) заезды в адрес каждого отправителя для забора отправок в адрес разных получателей его отправок. Мы примем, что данные о заказах для планирования перевозок представлены в виде матрицы отправок

$$W = (W_{ij}), \quad (1)$$

элементы W_{ij} , которой равны единице, если имеется отправка i -го отправителя для j -ого получателя. В остальном случае эти элементы равны нулю. Матрица содержит N_s строк и N_{kl} столбцов, N_s – количество отправителей, N_{kl} – количество получателей. Индексы здесь означают поставщиков (s – supplier) и kl – клиентов. Сумма элементов матрицы по столбцам и строкам

$$T[j] = \sum_{i=1}^{N_s} w_{ij}, \quad Sup[i] = \sum_{j=1}^{N_{kl}} w_{ij}$$

соответственно означает общее количество отправок $T[j]$, $Sup[i]$ предназначенных для j -ого получателя и отправляемых i -ым отправителем.

Адреса пунктов объезда характеризуются массивами координат отправителей и получателей. Задана также матрица расстояний $R = (r_{ij})$ между всеми пунктами объезда. В дополнении к этим данным потребуются матрица затрачиваемых на перевозку временных ресурсов

$$T = \begin{pmatrix} T_{00} & \dots & T_{0n} \\ \dots & T_{ij} & \dots \\ T_{n0} & \dots & T_{nn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $T_{ij} = T[i, j]$ – время, затрачиваемое на перевозку между i -ым и j -ым пунктами, диагональные элементы T_{ii} матрицы T характеризуют время приемки-сдачи груза и время оформления документов в i -ом пункте.

Планирующий логистический провайдер располагает парком транспортных средств (ТС) с параметрами: C [руб./км] – стоимость пробега 1 км пути; C_0 [руб.] – стоимость подачи; $C_{пр}$ [руб./ч] – стоимость простоя при приемке-сдачи груза.

На выполнение всех транспортных и погрузочно-разгрузочных операций отводится ресурс времени $T_{max} = T_{res}$. Время выполнения каждого рейса должно быть не более величины T_{res} .

Требуется найти оптимальный план с наименьшей стоимостью, обеспечивающий доставку всех клиентских заказов с предварительным объездом для каждого клиента всех его поставщиков.

Классификация заказов с помощью матрицы тоннажа (W_{ij})

Рассмотренная выше общая модель (примем ее как модель 1), объединяет множество разнообразных по характеру клиентских заказов.

Модель 2. Типовой экспедитор. Заказы Доставка «1 ГО – 1 ГП». Типовые заказы, получаемые провайдерами, формулируются в виде доставки от i -ого грузоотправителя (ГО) до соответствующего грузополучателя (ГП). Такого типа заказам соответствует единичная матрица отправок W . Объединение их позволяет формировать маршруты, объединяющие ряд заказов в один рейс (см. примеры) и достигать существенной экономии, минимизировать автопробег и порожние рейсы.

Модель 3. Типовой экспедитор. Заказы по Доставке «1 ГО – N ГП». Модель данного типа включает клиентские заказы по развозке из одного адреса отправок в несколько адресов. Пример матрицы представлен в табл. 1.

Таблица. 1.

Структура матрицы тоннаж при развозке заказов ГО.

Постав-Клиенты	КЛ ₁	КЛ ₂	КЛ ₃	КЛ ₄	...	КЛ _{Nkl}	К-во заказов от ГО
П ₁	1	1	1	-	...	-	Sup [1] = 3
П ₂	-	-	-	1	...	W _{2Nkl}	Sup [2] = 2
К-во заказов для ГП	1	1	1	1	1	W _{2Nkl}	

Матрица отправок – не диагональная, каждая ее строка указывает наличие отправок, развозимых из одного адреса. Остальные элементы строки нулевые. Столбцы содержат один отличный от нуля элемент. Эффект оптимизации достигается путем объединения нескольких развозок в один рейс.

Модель 4. Типовой экспедитор. Заказы по Доставке «N ГО – 1 ГП». Модель данного типа включает клиентские заказы по заводу грузов из нескольких адресов в адрес одного грузополучателя. В том случае, если заказчику нужно, чтобы доставка собираемых для него грузов, осуществлялась одним автомобилем, матрица тоннажа формируется по столбцам. Ее вид получается транспонированием матрицы модели 3 (табл.1). Для доставки сборного груза получателю нужно формировать рейс с обязательным предварительным объездом всех ГО заказа.

Заказчик может не требовать заезд всех, предназначенных для него грузов за один рейс. Экспедитор в этом случае может формировать рейсы по своему усмотрению. В этом случае матрица тоннажа будет диагональной, как и в модели 2. Для ее формирования каждый адрес забора груза объявляется отправителем, формируется несколько условных (фиктивных) грузополучателей (по числу ГО заказа). Всем им соответствует один и тот же фактический грузополучатель – заказчик перевозки. Решение задачи оптимизации покажет, будут ли заказ доставлен одним или несколькими рейсами.

Модель 5. Комбинированные заказы. Заказы более общего типа предполагают комбинацию моделей 3 и 4. Клиент логистического провайдера делает заказ на отправление своих нескольких отправок разным грузополучателям и одновременно доставку на его склад (офис) груз от нескольких отправителей. Участники транспортно-логистического процесса (ТЛП) по каждому i -ому заказу формируют цепочки поставок в сети

$$ГО_{ji} \rightarrow \text{Клиент}_i \rightarrow \text{ГП}_{ij}.$$

Здесь индексы j и i означают соответственно номера j -ых грузоотправителей и получателей i -ого заказа.

Задача может решаться естественным разбиением на две несвязанные между собой задачи завоза и развозки. План будет состоять из двух частей, соответствующих моделям 3, 4. Однако оптимальный план должен учитывать возможность объединения в одном рейсе доставку всех отправок для данного клиента, а после разгрузки собрать все его отправления для заявленных ГП и осуществить их развозку.

В результате решения задачи оптимизации (см. пример 1) возможны оказываются и другие более сложные комбинации элементов транспортно-логистического процесса. Если заказов, отвечающих данной модели или моделям 2-5 несколько, то им будет соответствовать блочная структура матрицы тоннажа. Каждый из блоков формируется в соответствии с сформулированными правилами.

Представление транспортно-логистического процесса

Для решения введем искусственно новых отправителей, связав каждое отправление, фактически поставляемое i -ым ГО с новым «условным» отправителем. Каждого такого нового ГО закодируем по-новому в соответствии с матрицей (1). Для этого будем просматривать матрицу построчно. Начиная с первой строки, определяем первый отличный от нуля элемент. Будем считать, что он поставляется ГО с номером $f = 1$, далее находим следующий ненулевой элемент, свяжем его с новым поставщиком с номером $f = 2$ и т. д. После этого продолжим кодировку новых ГО, переходя к следующей строке вплоть до окончания просмотра всей матрицы. Обозначим N_{OS} общее количество ненулевых элементов в матрице (1). Эта величина равна числу условных поставщиков. Каждому физическому ГП присвоим последующие номера $N_{OS} + 1, N_{OS} + 2, \dots, N_{OS} + N_{kl} = n$. В результате искомый план может быть записан в виде маршрута

$$0 \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow \dots \rightarrow i_n \rightarrow \dots \rightarrow 0 \quad (3)$$

объезда n пунктов. Маршрут начинается и заканчивается нулевыми пунктами и содержит, возможно (при наличии $K > 1$ рейсов) ($K - 1$) нулей в средней части записи.

Такая форма записи обычна для планирования маршрутов завоза-вывоза. Отличие будет только в интерпретации. Узлы цепи (3) означают грузоотправителей, грузополучателей и других участников ТЛП. Физически одна и та же компания, закодированная разными кодами может быть и отправителем и получателем по нескольким различным заказам (см. примеры). Дуги цепи означают перевозки грузов, погрузки у ГО, разгрузки у ГП. Несколько дуг, идущих последовательно, могут означать разгрузки разных отправок у одного

и того же получателя и последовательные загрузки отправок с этого же склада разным клиентам.

Алгоритмы и разработанная компьютерная программа, которые рассматриваются далее, основаны на изложенном способе описания элементов транспортно-логистического процесса.

Точное решение методом динамического программирования

Введем множество $S_k = \{i_1, i_2, \dots, i_l = f, \dots, i_k\}$, составленное из k произвольно выбранных узлов, и узел i , лежащий вне этого множества. Для узла $i \neq 0$ определим параметр состояния

$$S = (i, t, S_k)$$

величины: $t = 0, 1, 2, \dots$ - остаточный ресурс (запас) времени, который остается у автомобиля до того момента, когда отводимый на весь рейс ресурс T_{res} будет израсходован. С этим значением остаточного ресурса и значением параметра состояния S автомобиль выходит из i -ого узла.

Введем соответственно два типа целевых функций: $F_{k+1}(i, t, S_k)$ - стоимость (длину) кратчайшего маршрута из i -ого узла в нулевой узел через множество S_k , при условии, что из узла i будет выходить ТС с остаточным ресурсом времени t ; $F_{k+1}(0, S_k)$ - стоимость (длину) кратчайшего маршрута.

Эти функции удовлетворяют следующим уравнениям ДП:

$$F_{k+1}(i, t, S_k) = \min \{ \min [C\rho_{if} + C_{ПП}T_{ff} + F_k(f, t - T_{if} - T_{ff}, S_k \setminus f)]; C\rho_{io} + F_{k+1}(0, S_k) \}, \quad (4)$$

$$F_{k+1}(0, S_k) = \min \{ C_0 + C\rho_{of} + C_{ПП}T_{ff} + F_k(f, T_{res} - T_{of} - T_{ff}, S_k \setminus f) \}. \quad (5)$$

Формула (4) содержит минимум по двум переменным. Первый (внутренний, выделенный квадратными скобками) минимум, отыскивается оптимальный узел f^* путем перебора переменной $f \in S_k$, второй (наружный) минимум позволяет сравнивать продолжение рейса через узел f^* и возможность возврата в нулевой узел. В формуле (5) минимум вычисляется только по номеру f узла множества S_k .

Уравнения алгоритма «L – кратчайших маршрутов».

На k -ом промежуточном шаге определим для фрагмента формируемого маршрута

$$i = i_k \rightarrow f = i_{k-1} \rightarrow i_{k-2} \rightarrow \dots \rightarrow i_2 \rightarrow i_1 \rightarrow 0 \quad (6)$$

параметры состояния, его определяющие

$$S = (i, t), \quad S_0 = S_{i=0, t=T_{res}}, \quad (7)$$

где компоненты параметра состояния S включают значения «выходных» параметров, с которыми начинается формируемый k -шаговый фрагмент. Параметр состояния S_0 означает, что промежуточный шаг, а также конечный шаг маршрута (как здесь, при обратной прокладке) может начинаться из нулевого состояния с полным временным ресурсом.

Среди упорядоченных по целевой функции на k -ом шаге маршрутов, соответствующих состояниям (8), рассмотрим маршрут r -го ранга M_k^r . Введем k -шаговую целевую функцию r -ого ранга

$$\varphi_k^r(S) = \varphi(i, t; M_k^r), \quad r=1, 2, \dots, L,$$

определив ее как стоимость r -ого кратчайшего маршрута M_k^r , исходящего из состояния S на k -ом шаге. Наибольшее значение L ранга r является параметром алгоритма. Для произвольных значений $k > 2$ и состояния $S \neq S_0$ уравнения для целевых функций имеют вид

$$\begin{aligned} \varphi_k^r(i, t, M_k^r) = \min_r \{ & [C\rho_{if} + C_{пп}T_{ff} + \\ & + \varphi_k^r(f, t - \Delta T_{if}, M_{k-1}^r)] ; \\ & C\rho_{io} + F_{k+1}(0, M_{k-1}^r(S_0)) \}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $\Delta T_{if} = T_{if} - T_{ff}$, а символ $\min_r \{ \dots \}$ обозначает r -ое наименьшее значение последовательности, заключенной в фигурных скобках. При $k > 2$ и $S = S_0$ уравнения для целевой функции имеют вид

$$\begin{aligned} \varphi_k^r(S_0) = \min_r \{ & C_0 + C\rho_{of} + C_{пп}T_{ff} + \\ & + F_k(f, T_{res} - T_{of} - T_{ff}, M_{k-1}^r) \}. \end{aligned} \quad (9)$$

Условия и параметры оптимизации в формулах (8), (9) те же самые, что и в выражениях (4), (5). Уравнения (4), (5) решаются последовательно по переменной k . При значении $k \geq n+1$ из состояния S_0 начинается поиск оптимальных планов. Оптимальность найденного маршрута обеспечивается выбором достаточно большого значения параметра L .

Процедура в целом и уравнения (4) - (9) аналогичны уравнениям, определяющим оптимальный маршрут в задаче развоза с одним терминалом отправления [1,2]. Специфика рассматриваемого здесь транспортно-логистического процесса отражается в большом количестве дополнительных условий и ограничений, накладываемых, как на начальные условия процедуры поиска, так и на переходы $i \rightarrow f$ (из i -ого узла в следующий за ним f -ый узел) при прокладке маршрута [3].

При формировании маршрутов в цепочке (6) должны учитываться ограничения, обусловленные необходимостью предварительного сбора отправок, предназначенных для определенного получателя перед заездом к нему.

Узел i должен отличаться от всех узлов уже сформированной цепочки с целью исключения повторного заезда в один и тот же узел. Если узел i является клиентом, то в подсоединяемой части не должно быть его отправителей. Если же узел i является отправителем, то в подсоединяемой части должен быть хотя бы один его получатель.

Ограничения типа «один заезд» для комбинированных заказов

Учет условия «один заезд к клиенту» предполагает, что маршрут должен быть сформирован так, чтобы перед заездом клиенту с комбинированной моделью заказа (модель 5, клиент типа А провайдера) необходимо предварительно заехать ко всем его отправителям и забрать все направленные в его адрес грузы, доставить их за один заезд. После разгрузки и сдачи заказчику, как получателю, этих отправок, необходимо осуществить забор грузов этого заказчика (как отправителя), предназначенных для всех его получателей и далее доставить эти грузы. Многократные заезды к данному клиенту для доставки грузов его отправителей порознь или забора в отдельности грузов его получателей в этой модели недопустимы.

В форме записи (3) маршрута такому клиенту (как отправителю) будет соответствовать несколько различающихся узлов. Их общее количество равно количеству его получателей, например, три. Этот клиент должен быть представлен также еще одним дополнительным узлом как получатель грузов всех своих отправителей, т.е. общее количество узлов, представляющих данного клиента должно быть четыре. Эти узлы должны следовать в формируемом маршруте подряд, один за другим. Например, фрагмент маршрута

$$0 \dots \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow \dots \rightarrow 8 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots \rightarrow 0$$

Означает, что на отрезке $0 \dots \rightarrow 4$ маршрут должен содержать узлы заезда ко всем отправителям данного клиента А (здесь узлы 4, 5, 6), узел 8 означает заезд к этому клиенту (здесь этот элемент ТЛП операция кодируется узлом 8) для разгрузки и передачи клиенту А грузов всех его отправителей. Фрагмент $8 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ означает погрузку грузов всех его получателей (дуги $8 \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$). Следующий далее фрагмент $3 \rightarrow \dots \rightarrow 0$ должен включать узлы, означающие заезд ко всем получателям для которых предназначены загруженные у данного клиента отправления.

Условием существования маршрута типа «1 заезд клиенту является неравенство

$$T_1 + T_{разгр} + T_{загр} + T_2 \leq T_{res}, \quad (10)$$

где T_1 – кратчайшее время объезда всех отправителей клиента А, $T_{разгр}$ – время разгрузки у этого клиента, предназначенных для него грузов, $T_{загр}$ – время загрузки у клиента А грузов всех его получателей, T_2 – минимальное время объезда всех его получателей. Величины T_1 , T_2 вычисляются по алгоритмам решения задачи коммивояжера с матрицей стоимости, равной временным ресурсам (2). Для вычисления времени T_1 начальным пунктом маршрута считается нулевым (депо), а конечным – склад (офис) клиента. При расчете параметра T_2 за начальный пункт маршрута принимается склад клиента, а за конечный депо транспортной компании (или провайдера).

Заказы, получаемые ТЛК, включают не только заказы с комбинированной моделью, но и других типов. При большом количестве заказов условие (10) может быть физически не выполнимым. В этом случае при поиске маршрутов целесообразно наложить дополнительное условие более общего характера

$$K_{узн} = K_{узндоп}, \quad (11)$$

где $K_{узн}$ – количество, идущих подряд узлов, в маршруте, соответствующих клиентам А, а $K_{узндоп} = 1, 2, \dots$ – параметр алгоритма, ограничивающий число таких узлов. Запуск алгоритма и программы при различных значениях $K_{узндоп}$ и при малых значениях отводимого на выполнение рейса временного ресурса

T_{res} позволяет избегать случаев, когда решение задачи отсутствует, и минимизировать пробег автомобилей.

В процессе прокладки маршрута для узла i , соответствующего клиенту А нужно (при его первом подключении) проверять условие включения в сформированный маршрут всех его получателей. Если это условие выполняется, то первое подключение допустимо. Далее к этому узлу могут подключаться только узлы клиента А, означающие его отправителей. Рейс заканчивается подключением к формируемому маршруту нулевого узла. В этом случае нужно дополнительно проверять отсутствие в рейсе получателей без отправителей.

Программный комплекс «SupKIRouteMaster» планирования доставки грузов в сети «Поставщики – потребители». Примеры

Описанные модели и алгоритмы положены в основу компьютерного программного комплекса «SupKIRouteMaster». Описание комплекса в целом соответствует опциям, описанным в [1, 2]. Главное меню дополнено рядом новых опций, позволяющих вводить матрицу W различными способами, соответствующими, в частности, рассмотренным выше типовым моделям заказов, получаемых логистическими провайдерами.

Пример 1. Комбинированные заказы. Для иллюстрации рассмотрим пример задачи планирования доставки грузов для трех заказов. Все три заказа - комбинированные, сочетают развозку отправок двум получателям и доставку от трех отправителей. Блок матрицы тоннажа (ненулевые элементы) для первого склада представлен в табл. 2.

Таблица 2.

Блоки матрицы тоннажа примера (модель 5)

Матрица W	1. ГП ₁	2. ГП ₁	3. Клиент А
1. Клиент А	1	1	
2. ГО ₁	-	-	1
3. ГО ₂	-	-	1
4. ГО ₃	-	-	1

Общее число отправителей (включая трех клиентов типа А в качестве отправителей) -12, общее число получателей с учетом трех клиентов типа А -12.

Все участники ТЛП располагаются на квадрате со сторонами $[-30, 30] \times [-30, 30]$ км². Их расположение разыгрывалось с помощью датчика случайных чисел. Скорость движения автомобиля принималась $v = 50$ км/ч, шаг дискретизации по времени $\Delta t = 10$ мин. Подача ТС под загрузку начинается из начала координат, где располагается депо транспортной компании. Целевая функция при оптимизации – суммарный автопробег, км.

Таблица 3.

Примеры расчетов

№	Пробег, км	К-во клиентов с одним заездом	Пробег, км
1	313	2	353
2	314	1	331
3	303	1	328
4	326	2	350
5	316	1	349

В табл. 3 представлены результаты расчетов для пяти реализаций расположений всех участников перевозок. Оптимальные планы рассчитывались для двух вариантов алгоритма. В первом случае не учитывались дополнительные ограничения типа «1 заезд к клиенту». Данные по автопробегу приведены во втором столбце. Третий столбец содержит количество клиентов (из заданных трех), в которых маршрут содержал только один заезд клиентам типа А. Например, маршрут реализации № 1 для двух из трех клиентов типа А содержал один заезд к этим клиентам, а для одного заезд дважды.

Во втором варианте, программа учитывала дополнительные ограничения, обеспечивающие доставку грузов от всех ГО и забор всех отправок для ГП за один заезд. Данные о суммарном пробеге приведены в четвертом столбце. В среднем пробег увеличивался на (10-15)%.

Для всех вариантов, представленных в табл. 3, время рейса составило величину порядка 11 ч. Вводились ограничения на время выполнения рейса T_{res} . При значении параметра $T_{res} = 8$ ч (реализация № 1, ограничения типа «1 заезд» исключались) маршрут содержал два рейса, суммарный пробег увеличился от 313 км до 393 км. Если программу запускать с ресурсом $T_{res} = 6$ ч, то число рейсов возрастет до трех, а пробег до 457 км.

Если при расчетах маршрутов включить ограничения типа «1 заезд», то при $T_{res} = 10$ ч (реализация № 1) суммарный пробег увеличится с 353 км до 449 км, план будет содержать два рейса. Один рейс включает однократный заезд одному из трех клиентов типа А, а второй – однократные заезды к каждому из двух оставшихся. Если временной ресурс уменьшить до значений $T_{res} = 8$ ч и 6 ч, то маршрут распадается на три (по числу клиентов типа А) рейса. В каждом из рейсов выполняется, естественно, условие «один заезд» к клиентам. Пробег возрастает до значений 568 км и 573 км соответственно. При меньших значениях временного ресурса маршрут не существует.

Пример 2. Модель ГО - ГП. Рассчитывались оптимальные планы доставки грузов от $n = 10$ заказчиков. Матрица тоннажа (1) в этом случае является единичной размера 10×10 . Координаты $n = 10$ грузоотправителей и $n = 10$ грузополучателей разыгрывались с помощью датчика случайных чисел. Все остальные параметры ТС – те же, что и в предыдущем примере.

Простейшая модель плана доставки по схеме рейса «1 ГП -1 рейс» включала 10 рейсов с суммарным пробегом 1209 км. Оптимальная модель доставки без учета ограничений по времени содержала 1 рейс с пробегом 392 км. Время доставки порядка 16 ч. Оптимальный план с учетом $T_{res} = 10$ ч включал два рейса с суммарным пробегом 456 км, а с ресурсом $T_{res} = 8$ ч - три рейса с суммарным пробегом 516 км.

Все рейсы строятся на оптимальном сочетании попутного забора груза от грузоотправителей (с заездом в начале для загрузки к 3-4 ГО) и последующей доставки с разгрузкой у грузополучателей.

Заключение

Логистические провайдеры и крупные экспедиторы работают с большим количеством разнообразных по своему характеру заказов на поставку и перевозку товаров. Перевозки малых отправок, характерных для планирования курьерских маршрутов, при планировании не требуют учета тоннажа грузов. Предложенная здесь единая форма описания заказов, включает множество различных моделей, важных в практическом плане. Описанные оптимизационные модели и алгоритмы позволяют осуществлять оптимальное планирование полностью всего транспортно-логистического процесса одновременно по всем заказам.

Оптимальные маршруты без учета ограничений на время доставки даже при значительном количестве заказов содержит, как правило, один рейс, заканчивающийся возвратом после развоза и всех заказов в начальный пункт.

Распространенными для курьерской службы являются комбинированные заказы. С точки зрения интересов клиентов наиболее удобными являются маршруты, предполагающие только один заезд курьера в адрес такого клиента. Однако такие маршруты при их реализации могут потребовать больший пробег автомобиля. Это условие должно учитываться при формировании тарифов на перевозки.

При большом числе заказов учет ограничений по временному ресурсу T_{res} , отводимому на выполнение ТЛП, приводит к многорейсовым маршрутам. В этом случае маршруты типа «один заезд к клиенту» могут быть и не реализуемыми. В этом случае число таких заездов является дополнительным параметром алгоритма поиска, варьируя которым удастся найти план с минимальным пробегом и числом посещений к таким заказчикам.

Литература

1. Палагин Ю.И. Транспортная логистика и мультимодальные перевозки. Технологии, оптимизация, управление: - СПб.: Политехника, 2015.– 266.
2. Палагин Ю. И. Оптимальное планирование задач завоза и вывоза грузов в логистических системах // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. - № 7.
3. Палагин Ю.И., Глинский В.А., Мочалов А.И. Интермодальные транспортно-логистические процессы. Экспедирование, технологии, оптимизация. - СПб.: Издательство «Политехника», 2019. – 366 с.
4. Tonci Caric, Hrvoje Gold. Vehicle Routing Problem. – 2008. – 152 p.
5. С.А. Канцедал, М.В. Костикова. Динамическое программирование для задачи коммивояжера. – 2014. - № 166. – С. 15-20.

6. Гусев С.А., Маросин В.С. Интеллектуальные модели разработки маршрутов перевозки мелкопартионных грузов. Известия Тульского государственного университета. Технические науки –2015. - № 5. ч.1. - С. 69-76.

7. Michael Hahsler and Kurt Hornik, TSP - Infrastructure for the Traveling Salesperson Problem, *Journal of Statistical Software*, 22(2), 2007, pp. 1-21.

8. Norbert Ascheuer, Matteo Fischetti, Martin Grötschel: A polyhedral study of the asymmetric traveling salesman problem with time windows. *Networks* 36(2): 69-79 (2000).

9. Нагорный Е.В., Музылев Д.А. Стратегия формирования городских развозочных маршрутов на оперативный период с учетом неравномерности распределения спроса на специфические грузы. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. -2009. - № 4 (42). - С. 27-30.

10. Stacy A.V., Ann M. Campbell, Barrett W. Thomas. The probabilistic travelling salesman problem with time windows. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. – 2013. – Issue 1. Vol. 2, pp 89-107.

11. Jaroslaw Hurkala . Time-Department Travelling Salesman Problem with Multiple Time Windows. Position Papers of the Federated Conference on computer Science and Information System. – 2015. –Vol 6. pp. 71–78.

Сведения об авторе:

Палагин Юрий Иванович, заведующий кафедрой "Интермодальных перевозок и логистики" (с 1992) Государственного университета гражданской авиации (ГУГА), профессор с 2016.

Телефон 704-18-60.

E-mail: profypal@yandex.ru.

О ТРЕБОВАНИЯХ И ПРИНЦИПАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ УСЛУГИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Доктор техн. наук, доцент **Покровская О.Д.**

(Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

ON THE REQUIREMENTS AND PRINCIPLES OF IMPLEMENTATION OF INTEGRATED SERVICES IN RAILWAY TRANSPORT

O.D. Pokrovskaya, Doctor (Tech.), Associate Professor
(Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University)

Комплексные транспортно-логистические услуги, железнодорожный бизнес, цифровая платформа, цифровизация, клиентоориентированность.

Integrated transport and logistics services, railway business, digital platform, digitalization, customer orientation.

Определены требования и ключевые принципы реализации комплексной транспортно-логистической услуги на железнодорожном транспорте. Выделены ключевые перспективные направления научной работы, связанные с оказанием таких услуг. Определены этапы реализации комплексных транспортно-логистических услуг. Практическое значение статьи заключается в разработке необходимых условий и прикладных технологических инструментов для реализации комплексных транспортно-логистических услуг на российских железных дорогах.

The purpose is to formulate the key principles for the implementation of integrated transport and logistics services on railway transport and requirements for it. The key promising areas of scientific work related to the provision of such services are highlighted. The stages of implementation of complex transport and logistics services are defined. Practical significance lies in the fact that the article has developed a number of necessary conditions and applied technological tools for the implementation of complex transport and logistics services on Russian Railways.

Текущая ситуация.

В условиях «оттока» высокодоходных грузов с железнодорожного на другие виды транспорта отсутствуют: единая, общесетевая система терминологии, пакетов услуг, паспортов услуг и логистических объектов (ЛО); работающие инструменты продвижения и предоставле-

ния комплексных транспортно-логистических услуг (КТЛУ); клиентоориентированный формат подачи информации о КТЛУ для клиента; инструменты логистического аудита, система комплексной оценки и нормирования работы логистических цепей ОАО «РЖД» [1].

Эту текущую ситуацию иллюстрирует рис. 1.



Рис.1. Текущая ситуация.

В настоящее время предоставление комплексного сервиса ведется на сети опорных терминально-складских объектов ОАО «РЖД», согласно Концепции создания сети транспортно-логистических центров

(ТЛЦ) на территории РФ до 2025 г., карта дислокации которых по сети железных дорог РФ приведена на рис. 2 [2].



Рис. 2. География оказания комплексных транспортно-логистических услуг.

Изолированная работа терминально-складской инфраструктуры не сможет обеспечить эффективное развитие интермодальных перевозок и привлечение инвестиций. Согласно Транспортной Стратегии РФ до 2030 года [3], железнодорожному транспорту следует обеспечить, прежде всего, инфраструктурную подготовку

имеющихся грузовых дворов и терминалов к оказанию комплексного транспортно-логистического обслуживания.

На рис. 3 показаны результаты анализа, проведенного А.Т. Kearney для ОАО «РЖД» [4].



Рис. 3. Результаты анализа А.Т. Kearney

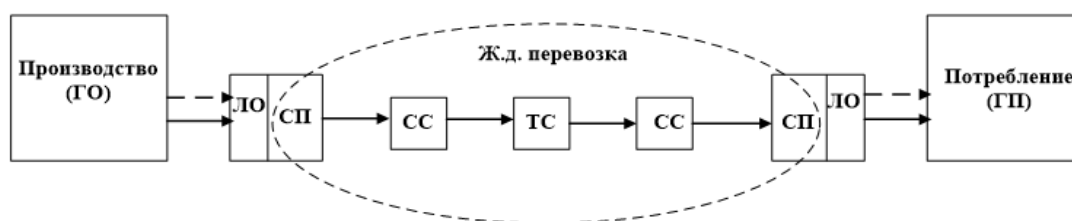
Как видно по рис. 3, потенциальный рынок, который может быть охвачен комплексным обслуживанием, предоставляемым ОАО «РЖД», - это не менее 60 млн т дополнительных грузов, привлекаемых на железнодорожный транспорт.

При этом согласно рис. 3, от железнодорожного транспорта требуется не только решение сложной технологической задачи по консолидации поставок и

«сборки» комплексной услуги из совокупности необходимых клиенту логистических операций, но и организация слаженной работы сети ТЛЦ (терминально-логистических центров, согласно Концепции создания сети ТЛЦ на территории РФ до 2025 г.). Последнее напрямую связано с решением задачи соответствующего инфраструктурного обеспечения КТЛУ, то есть – с развитием собственной терминальной сети ОАО «РЖД»,

размещенной на опорных станциях сети, в непосредственной близости от транспортных коридоров и крупных транспортных узлов страны.

По данным исследований автора, можно утверждать, что, к сожалению, не менее 50 % услуг реализуются ОАО «РЖД» ТОЛЬКО в очерченном сегменте, рис. 4.



Существующая логистическая система доставки грузов:
от сферы производства - грузоотправителей (ГО) к сфере потребления - грузополучателям (ГП) через станции примыкания (СП), сортировочные станции (СС) и технические станции (ТС), без рассмотрения работы объектов ТСИ, тяготеющих к ж.-д. (ЛО) и доставки груза до них автотранспортом (пунктир) или ж.-д. транспортом (сплошная линия)

Рис. 4. Существующая система доставки груза и область покрытия комплексным сервисом

Так, ОАО «РЖД», традиционно уделяя внимание собственно перевозочному процессу, осуществляет тотальный контроль исключительно за перевозкой груза по схеме «от станции до станции». При этом искусственно исключаются ЛО, на которых выполняется 90 % логистических операций по грузопереработке (операций добавленной стоимости). В условиях, указанных в Транспортной Стратегии РФ на период до 2030 г., компания «РЖД» трансформируется из чисто перевозочной в транспортно-логистическую. Для этого необходимо уделить максимум внимания КТЛУ, которые может и должен оказывать железнодорожный перевозчик, обладающий исключительными инфраструктурными и провозными преимуществами перед другими видами транспорта. Далее рассмотрен ряд решений, направленных на научно-методическое обеспечение КТЛУ в свете трансформации ОАО «РЖД» в логистического провайдера-агрегатора комплексного «бесшовного» сервиса [5-7].

Предлагаемые решения

1. Терминология КТЛУ

Понятие «Комплексная транспортно-логистическая услуга» в виде «формулы» может быть представлено следующим образом:

$$КТЛУ = [ПЕРЕВОЗКА-ОСНОВНАЯ + «ОКОЛОТРАНСПОРТНЫЕ» + РАСШИРЕННЫЙ СЕРВИС ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ]$$

$$K_{\text{компл}} * K_{\text{совм.опер.}} = > 8 \text{ правил логистики для клиента}$$

Согласно такой формуле, КТЛУ – комплексная транспортно-логистическая услуга – имеет трехчленный состав: 1) перевозка – основная услуга; 2) «околотранспортные» услуги (дополнительные услуги, сопутствующие собственно перевозке, например, погрузка и выгрузка, хранение, маркировка, оформление документации и др.); 3) расширенный сервис добавленной стоимости (так называемые «необязательные» услуги, которые по желанию клиента могут быть оказаны при перевозке, например, услуга «первая миля/последняя миля» по подвозу-вывозу груза на/со станции, транспортное экспедирование, трекинг нахождения и состояния подвижного состава, таможенные операции и др.).

При этом, как указано в формуле, следует учитывать комплексность предоставляемых услуг (коэффициент комплексности обслуживания $K_{\text{компл.}}$), а также коэффициент совмещения логистических операций ($K_{\text{совм.опер.}}$), «собираемых» логистическим агрегатором в «пакет» комплексного сервиса (КТЛУ). Вышеперечисленный сервис должен быть направлен на целевую реализацию всей совокупности логистических принципов («восемь правил» логистики) в интересах конкретного клиента.

В соответствии с таким составом КТЛУ, предлагается следующее определение понятия «КТЛУ».

КТЛУ, комплексная транспортно-логистическая услуга – это уникальная для конкретного клиента совокупность логистических операций по организации доставки груза, связанных единым технологическим процессом и цифровым полем, «покрывающая» сквозным бесшовным обслуживанием необходимую длину и глубину логистической цепи в формате «одного окна», «одного договора» и «со скоростью клика».

Поставщиком КТЛУ предлагается считать генерального организатора / логистического агрегатора всей системы доставки, который способен «от одного лица» (вне зависимости от географии, сложности и типа услуги) предоставить клиенту персонализированные КТЛУ в требуемом формате/пакете, с адаптивным ситуационным управлением и сопровождением, по сквозному тарифу и одному договору.

Такие определения, на наш взгляд, отражают как качественные характеристики такого многогранного понятия, как КТЛУ, так и особенности оказания такого вида сервиса.

2. Требования к КТЛУ.

Требования к КТЛУ может сформулировать только сам клиент.

По характеру требования к КТЛУ можно классифицировать на методические, цифровые, маркетинговые, правовые, технологические.

Со своей стороны, ОАО «РЖД» следует обеспечить:

- информирование и консультирование клиентов,
- персональное обслуживание,
- полное покрытие сложных систем доставки,
- оригинальные коммерческие предложения нового формата,
- «общий язык», «одно окно» и «единое поле» работы с клиентом.

Иными словами, от ОАО «РЖД» требуется сформировать для реализации КТЛУ адекватное рыночным условиям организационно-правовое, методическое, инфраструктурное, маркетинговое и цифровое обеспечение.

3. Обеспечение реализации КТЛУ

Для успешной «сборки» и продажи КТЛУ необходима реализация принципов логистики, открытости информации и клиентоориентированности, в частности:

Принципы реализации КТЛУ: клиентоориентированность (персонифицированность услуг), гибкая дифференцированная комплексность по уникальным пакетам сервиса для каждого клиента, полная доступность каждого клиента к любому пакету сервиса, цифровизация взаимодействия с клиентами, прозрачность блокчейн-цепей поставок и ценообразования в них, «бесшовность» и синхромодальность транспортного процесса [8-9].

Необходим **комплексный подход** к формированию методического, организационно-правового, цифрового, маркетингового и технологического обеспечения КТЛУ [10], и **совместная выработка** научно-практических решений.

Для реализации КТЛУ потребуются **последовательно создать условия для:** цифровизации («бизнес со скоростью клика», 4-5 PL) [11], оптимизации цепей поставок (максимальная интеграция, исключение посредников) [12], аутсорсинга (уберизация) [13] и провайдинга (сквозное бесшовное обслуживание цепи доставки любой сложности) [14].

Особо следует отметить, что адекватные требования к КТЛУ может сформулировать ТОЛЬКО клиент. Для уточнения требований рынка к КТЛУ и формулирования на основе этих требований разумных механизмов и эффективных инструментов для реализации КТЛУ, потребуется выполнить крупномасштабное общесетевое маркетинговое исследование востребованности пакетов КТЛУ, наличия платежеспособного спроса на разные пакеты КТЛУ у разных целевых аудиторий, портрета типичного пользователя / заказчика КТЛУ, а также технико-технологических и качественных требований клиента к инфраструктурным объектам, предоставляющим КТЛУ на железнодорожном транспорте.

В данном исследовании сформулирован научно-теоретический аппарат, полезный для стратегического планирования деятельности по разработке новых транспортно-логистических продуктов и направлений совершенствования технологии и процедур оказания КТЛУ, их агрегирования в сложных цепях поставок на железнодорожном транспорте и управления ими.

4. Инструменты реализации КТЛУ

а) Методические:

- логистическое нормирование работы транспорта по оказанию КТЛУ,
- методическое и программное обеспечение предоставления КТЛУ,
- разработка логистического руководства по реализации КТЛУ на железнодорожном транспорте,
- разработка и утверждение программного документа по развитию КТЛУ в Холдинге РЖД [15].

б) Организационно-регулирующие и правовые:

- стандартизация ассортимента КТЛУ,

- закрепление требований к технологии предоставления и к качеству КТЛУ, а также унификация терминологии в сфере КТЛУ и юридического статуса поставщика КТЛУ / агрегатора / провайдера,

- общесетевое утверждение практических способов выполнения КТЛУ и оценки эффективности реализации КТЛУ,

- совершенствование транспортного законодательства и тарифной политики в сфере оказания КТЛУ,

- классификация и каталогизация КТЛУ по «линейкам» (целевым клиентским группам, пакетам услуг, тарифам),

- параметрические ряды, классификация и паспортизация железнодорожных логистических объектов и предоставляемых ими КТЛУ [16].

Условия реализации единого организационно-правового режима:

- определить и разграничить: статус перевозчика, ответственность сторон перевозочного процесса, полный перечень услуг с указанием стоимости и продолжительности выполнения каждой составной операции,

- создать систему логистического нормирования каждой операции с учетом продолжительности, трудозатрат, материальных затрат и оценки ее эффективного выполнения,

- каталогизация и контроллинг услуг со стандартизацией их качества,

- сквозная бесшовная услуга в одно лицо, одно окно, один договор, один перевозочный документ, один ответственный – генеральный поставщик (агрегатор, провайдер),

- повышение добавленной стоимости товара и ценности услуги на каждом участке и элементе транспортной системы (ТС) и цепи доставки,

- многофункциональность,

- сбалансированность функций элементов ТС,

- гибкость составления маршрута,

- устойчивость и адаптивность ТС при колебаниях спроса, объемов погрузки, объемов перевозок, изменениях условий поставок и транспортных тарифов и пр.,

- повышение клиентоориентированности и лояльности бренда ОАО «РЖД»,

- повышение информативности и доступности сервиса,

- цифровизация взаимодействия с клиентом, «умный терминал», «умный вагон», «цифровая услуга»,

- пакетные решения «под клиента» (дифференцированный подход и предоставление уникальной услуги для каждого клиента) [17].

в) Информационные/цифровые:

- цифровизация взаимодействия участников цепи доставки «бизнес со скоростью клика»,

- формирование единой базы данных о ЛО с интерактивным контролем их текущего состояния, загрузки и ассортимента КТЛУ,

- обеспечение высокой доступности и маркетинговой эффективности информирования клиентов о новых продуктах Холдинга [18].

г) Технологические:

- обеспечение станций современным оборудованием, предназначенным для перегрузочных работ, обновление оборудования,

- повышение пропускной способности линий, оптимизация отцепочного ремонта вагонов, сокращение срока доставки,
 - быстровозводимые склады, мобильные бригады по грузопереработке,
 - индивидуальный менеджер – консультант,
 - ускоренная доставка грузов без переработки на сортировочных станциях, подача вагонов по графику, «вагон+перевозка» по расписанию, цепочка «клиент-клиент», приближение ЛО к клиенту,
 - формирование опорной транспортной сети без разрывов и узких мест,
 - ликвидация диспропорций в развитии инфраструктуры,
 - реализация приоритетных инфраструктурных проектов,
 - синхромодальность и мультимодальность перевозочного процесса,
 - перевозки мультимодальные по терминальной схеме, осуществляет контроль и несет ответственность за нее один генеральный оператор,
 - ускорение и непрерывность движения материальных потоков,
 - обеспечение логистического сервиса на уровне международных стандартов,
 - наличие: 1) единого оператора мультимодальных перевозок; 2) единого договора; 3) единого сквозного тарифа на всей транспортной цепи, 4) интермодального транспортного модуля для последовательной перевозки несколькими видами транспорта в одной и той же грузовой единице или транспортном средстве без перегрузки самого груза при передаче на другой вид транспорт (бесперегрузочное сообщение), 5) в крупных транспортных узлах, тяготеющих к транспортным коридорам, мультимодальных транспортно-логистических центров как пункта стыковки других видов транспорта и участников процесса доставки, 6) единообразный коммерческо-правовой режим, 7) использование систем электронного обмена данными, обеспечивающих слежение за передвижением груза, передачу информации и связь; 8) единство всех звеньев транспортной цепи в организационно-технологическом аспекте (единый технологически процесс, контактный график), 9) единая форма взаимодействия всех звеньев транспортной цепи,
 - доставка клиент-клиент, а не станция-станция,
 - дифференциация тарифов по категориям качества,
 - внимание не назначению вагона, а назначению груза в вагоне или в другом транспортном средстве,
 - разработка и внедрение совмещенной технологии, необходимой нормативной базы и мер, обеспечивающих своевременную оперативную информацию о фактических объемах погрузки грузов на перевалку, с распределением ее по конкретным транспортным узлам, а также по обеспечению пунктов погрузки и пунктов перевалки порожним подвижным составом [19].
- Условия реализации синхромодального транспортного сервиса:*
- Прозрачная информационная система для синхронизации способов заказа/бронирования перевозки различных видов транспорта онлайн и оперативного управления перевозками.

- Наличие у оператора синхромодальной перевозки полномочий по оперативному управлению товарным потоком в цепи поставок.
- Наличие развитой мультимодальной инфраструктуры (сети терминалов на направлении поставок продукции, резерва складских площадей и т.д.).
- Готовность всех участников процесса доставки к гибкому оперативному решению.
- Система тарифов со справедливым распределением издержек и доходов между участниками процесса перевозки.

д) Маркетинговые:

- Стратегия ценности – это создание у клиента четкого понимания «Почему я должен работать с Вами?». За ценностью появляется лояльность, а за ценой скрывается только разовое использование.
- Сетевой эффект/эффект масштаба – расширение клиентской базы при привлечении большого количества новых участников в систему доставки.
- Согласованность, синхронность работы многих участников как «фабрики сервисных возможностей» и синергетический эффект.
- Открытость данных для смарт-контрактов, прозрачных сделок, цен для удобства выбора клиента.
- ПРОКСИМА (ПРОгрессивность, КОмплексность, СОгласованность, ИНтеллектуальность, МУльтипликативность, Адаптивность).
- «Продвижение» КТЛУ и информирование целевых групп о КТЛУ в новом клиентоориентированном формате.
- Повышение гибкости и дифференцированности системы тарифов, предоставление «пакетных» услуг и скидок на перевозку грузов, персонализация сервиса («built to suit»).
- Переход на один язык с клиентом, создание единого информационного поля: системы стандартизации, нормирования, продажи услуг, паспортизация и каталогизация услуг, предоставление инновационных продуктовых линеек, раскрытие информации о параметрах и ценообразовании, оценки и контроля текущего состояния терминальной сети [20].
- Предоставление персонифицированного комплексного сервиса.

5. Пути и этапы реализации КТЛУ как CRM-решения.

Рассмотрим возможные этапы реализации КТЛУ железнодорожным перевозчиком как логистическим провайдером-агрегатором. Как известно, система управления взаимоотношениями с клиентами (CRM-система, сокр. от англ. Customer Relationship Management) – это система с прикладным программным обеспечением для автоматизации взаимодействия с клиентами, повышения уровня продаж, оптимизации маркетинга и улучшения обслуживания клиентов путём улучшения бизнес-процессов и последующего анализа результатов. КТЛУ является ключевым инструментом и драйвером успешного функционирования CRM-системы, адаптированной интересам клиента.

На рис. 5 приведен вариант поэтапного внедрения КТЛУ в основную операционную деятельность ОАО «РЖД» согласно возможным конфигурациям CRM-системы, выстраиваемой компанией.



Рис. 5. Вариант поэтапного внедрения КТЛУ как CRM-решения, в деятельность ОАО «РЖД».

На рис. 5 слева показан примерный состав этапов предоставления ОАО «РЖД» КТЛУ, начиная с первого – цифровизации распределения мощностей по обслуживанию клиентов, ведения каталогов услуг и продаж. Вторым этапом предполагается при достаточном уровне цифровизации переход к оптимизации предоставления КТЛУ, в частности, повышение качества цепей поставок, исключение лишних звеньев, обеспечение прозрачности сделок в информационной среде.

Третьим этапом предполагается проведение «убери́зации» (передачи на аутсорсинг) терминально-складских мощностей, на базе которых осуществляются КТЛУ. И, наконец, на четвертом этапе предполагается собственно провайдинг уровня 4-5PL, управление цепями поставок и агрегирование КТЛУ от одного лица (ОАО «РЖД»).

Далее, с учетом варианта этапного внедрения КТЛУ в деятельность компании «РЖД», рассмотрим прикладной инструментарий, необходимый для реализации перечисленных требований к КТЛУ. Так, для реализации перечисленных выше требований отраслевая транспортная наука способна в синергии с ОАО «РЖД» предложить ряд инструментов, которые могут быть использованы при реализации КТЛУ. В частности, на рис. 6 показан примерный состав того инструментария оказания КТЛУ, который должен быть поддержан соответствующим теоретическим (научным) и практическим (административным) обеспечением.



Рис. 6. Совокупность усилий отраслевой науки и железнодорожного транспорта в реализации КТЛУ.

В таблице ниже показаны ожидаемые результаты, которые могут быть достигнуты при реализации предложений по видам обеспечения КТЛУ, предоставляемым отраслевой транспортной наукой.

Таблица.

Предложения и их ожидаемая результативность при организации КТЛУ

ПРЕДЛОЖЕНИЕ		ОЖИДАЕМЫЙ РЕЗУЛЬТАТ	СРОК РЕАЛИЗАЦИИ
ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВОЕ	СТАНДАРТ, КЛАСС, ПАСПОРТ, РУКОВОДСТВО	ОБЩИЙ ЯЗЫК С КЛИЕНТОМ	1 ГОД
ЦИФРОВОЕ	ПРОЕКТ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ «ТЕРМИНАЛЬНАЯ СЕТЬ»	ЕДИНОЕ ЦИФРОВОЕ ПОЛЕ С КЛИЕНТОМ	1 ГОД
МЕТОДИЧЕСКОЕ	ЛОГИСТИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АУДИТ	ОПТИМИЗАЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	1 ГОД
МАРКЕТИНГОВОЕ	ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА	РАСШИРЕНИЕ КЛИЕНТСКОЙ БАЗЫ, ПОВЫШЕНИЕ ДОХОДНОСТИ, РОСТ ОБЪЕМОВ СБЫТА УСЛУГ	1 ГОД

6. Направления совершенствования КТЛУ в ОАО «РЖД»

Приоритетные задачи на период в 2-3 года: выработка конкретных инновационных механизмов реализации КТЛУ, их «линеек» и паспортов, клиентоориентированного формата информирования клиентов, бизнес-модели по предоставлению КТЛУ с цифровым обеспечением принятия решений по проектированию, нормированию и оценке терминально-складской инфраструктуры и КТЛУ.

Перспективные направления прикладных научных исследований в сфере методов, средств и механизмов оказания КТЛУ:

1) Разработка логистического руководства по стандартизации, идентификации, классификации, маркировке и нормированию деятельности терминально-складской инфраструктуры железнодорожного транспорта, включая вопросы экологической составляющей [21-22] и экономического обоснования технологических решений [23-28].

2) Комплексная оценка и технико-экономическое обоснование вариантов развития терминальной сети Холдинга «РЖД».

3) Унификация и цифровизация оценки работы терминальной сети.

Для повышения уровня доходности транспортно-логистического бизнес-блока компании ОАО «РЖД» и расширения клиентской базы, включая привлечение

высокодоходных грузов на сеть, необходимо удовлетворение всем требованиям клиентоориентированности и единого языка с клиентом. В свою очередь, это обеспечивает успешную цифровую трансформацию и реализацию логистических услуг уровня 4-PL (в том числе – их аутсорсинг, агрегация, продвижение и продажа).

В качестве иллюстрации перечислим некоторые научно-практические направления, по которым в свете указанной проблематики работают ученые Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I:

1-е направление: «Разработка логистического руководства по стандартизации, идентификации, классификации, маркировке и нормированию деятельности терминально-складской инфраструктуры железнодорожного транспорта».

В рамках этого направления подготовлен проект логистического руководства по идентификации, маркировке и нормированию деятельности терминально-складской инфраструктуры железнодорожного транспорта.

2-е направление: «Комплексная оценка и технико-экономическое обоснование вариантов развития терминальной сети Холдинга «РЖД»».

В рамках данного направления проводятся маркетинговые исследования востребованности услуг, ведется разработка новых транспортных продуктов, анализ клиентоориентированности, проектирование актуального состава опорной терминальной сети, разработка пакетов комплексных транспортных услуг, проведение логистического аудита и оценки работы терминалов, разработка проектов терминалов с применением авторского программного обеспечения «под заказчика».

3-е направление: «Унификация и цифровизация оценки работы терминальной сети».

В рамках этого направления ведется разработка систем стандартизации, классификации, нормирования и оценки работы объектов терминально-складской инфраструктуры; версии цифровой платформы «Терминальная сеть»; методического обеспечения (инструкции, проект стандарта и классификатора по КТЛУ).

Рекомендации

ОАО «РЖД» следует вести работы по формированию адекватной системы стандартизации, классификации, паспортизации и оценки как КТЛУ, так и объектов терминально-складской инфраструктуры – первичных поставщиков КТЛУ, в частности:

- Унификация и каталогизация комплексных транспортных услуг по пакетам.
- Паспортизация комплексных транспортных услуг и грузовых терминалов, на которых выполняются эти услуги, установление требований к ним (по группам: маркетинговых, технико-технологических, экономических, организационно-правовых и др.).
- Классификация и стандартизация типов грузовых терминалов, осуществляющих комплексные транспортные услуги.
- Разработка государственного стандарта в сфере терминально-логистической деятельности железнодорожного транспорта.
- Активизация рекламной кампании и разработка инновационных инструментов рекламы комплексных транспортных услуг.

- Нормирование работы терминально-складской инфраструктуры железных дорог.

- Разработка эффективных систем комплексной оценки работы терминалов, расположенных на сети железных дорог.

- Цифровизация взаимодействия с клиентами-заказчиками комплексных транспортных услуг на единой платформе.

- Разработка программы реализации логистического провайдинга в ОАО «РЖД» и правовое закрепление статуса ОАО «РЖД» как логистического агрегатора-провайдера услуг 4-PL.

Литература

1. Экономика России: прошлое, настоящее, будущее: коллективная монография / под общ. ред. Н.А. Адамова. – М.: Ин-т исследования товародвижения и конъюнктуры оптового рынка, 2014. – 248 с.
2. Транспортная Стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008 N 1734-р (ред. от 12.05.2018) «О Транспортной стратегии Российской Федерации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_82617/
3. Концепция создания сети ТЛЦ на территории РФ до 2025 года. – М., 2012. – 79 с. – URL: https://cargo.rzd.ru/dbmm/download?vp=5&load=y&col_id=121&id=74208
4. Цифровая Россия: новая реальность: отчет McKinsey. – 2017. – 133 с. – URL: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/russia/our%20insights/digital%20russia/digital-russia-report.ashx> (дата обращения: 15.02.2020 г.).
5. Loffredo A., Tufo M. (2018) Digital work in the transport sector: In search of the employer / A.Loffredo, M. Tufo. – Work Organisation, Labour and Globalisation, – 12(2). – P. 23-37. DOI: 10.13169/workorglaboglob.12.2.0023.
6. Kache F., Seuring, S. (2017) Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management / F.Kache, S. Seuring // International journal of operations & production management. –Vol. 37. – Iss.1. – P.10-36. DOI: 10.1108/IJOPM-02-2015-0078.
7. Цифровизация: тренды. – URL: https://transweek.ru/18/Digitization_of_container_shipments.pdf (дата обращения: 15.02.2020 г.).
8. Гришкова Д.Ю., Наперов В.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ // В сборнике: Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство сборник научных статей по итогам одиннадцатой международной научной конференции. Казань, 2019. С. 112-113.
9. Гришкова Д.Ю., Тесленко И.О. БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта.- 2018, № 51.- С. 45-52.
10. Покровская О.Д. Организация международной доставки груза через распределительный центр: учеб.пособие / О.Д. Покровская. –Новосибирск, Центр развития научного сотрудничества, 2015. – 102 с.

11. Покровская О.Д. Понятийный аппарат терминалистики /О.Д.Покровская, Т.С. Титова // Бюл. результатов научных исследований. – 2018.– Вып. 2. – С. 29-43.
12. Покровская О.Д. Организация работы складской распределительной системы: учеб. пособие / О.Д. Покровская. – Новосибирск, ЦРНС, 2015. – 72 с.
13. Покровская О.Д. Состояние транспортно-логистической инфраструктуры для угольных перевозок в России /О.Д. Покровская // Инновационный транспорт. – 2015. – № 1 (15). – С. 13-23.
14. Покровская О.Д. Эволюционно-функциональный подход к развитию транспортных узлов /О.Д. Покровская// Политранспортные системы :материалы IX Междунар. науч.-технич. конференции. – г. Новосибирск: Сиб. гос. ун-т путей сообщения. – 2017. – С. 233-238.
15. Покровская О.Д. Вопросы логистической иерархии железнодорожных объектов / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Изв. Петерб.гос.ун-та путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2016. – Вып. 4 (49). – С. 521-531.
16. Покровская О.Д. Эволюционно-функциональный подход к классификации транспортных узлов / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Изв. Петерб.гос.ун-та путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2017. – Т. 14. – Вып. 3. – С. 406-419.
17. Покровская О.Д. Международная логистика Транссибирской магистрали: использование транзитного потенциала России / О.Д. Покровская, В.М. Самуйлов // Инновационный транспорт. – 2016. – № 3 (21). – С. 3-7.
18. Самуйлов В.М. Концепция «Новый Шелковый путь» (Китай, Россия, Германия)/ В.М. Самуйлов, О.Д. Покровская, Ц.Цун // Инновационный транспорт. – 2017. – № 4 (26). – С. 26-28.
19. Покровская О.Д. Определение параметров терминальной сети региона (на примере Кемеровской области) / О.Д. Покровская // Транспорт Урала. - 2012. - № 1 (32). – С.93-97.
20. Покровская О.Д. Анализ системы нормирования на железнодорожном транспорте с позиций клиентоориентированности / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14. – № 2. – С. 187-199.
21. Ахтямов Р.Г. Геоэкологические проблемы обеспечения безопасности при обращении с отходами / Р.Г.Ахтямов, Т.С. Титова. –Saarbrücken, Германия: Lambert Academic Publishing, 2016. – 109 с.
22. Titova T.S. Lifetime of earth dams / T.S. Titova, A. Longobardi, R.G. Akhtyamov, E.S. Nasyrova // Инжен.-строит. жур. – 2017. – № 1 (69). – С. 34-43.
23. Быкадоров С.А. Анализ методов определения себестоимости грузовых перевозок /С.А. Быкадоров, П.В. Куренков, А.В. Серкова, О.В. Чиркова // Вестник транспорта. – 2014. – № 3. – С. 30-41.
24. Ефремов В.А. Логистизация управления движением поездов / В.А. Ефремов, П.В. Куренков // Логистика сегодня. – 2004. – № 5. – С. 31-38.
25. Полянский, Ю.А., Куренков П.В. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНТИ РАН.- 2003, № 7.-С. 8-18.
26. Полянский Ю.А., Куренков П.В. Дорожный центр ситуационного управления: проблемы создания и функционирования // Экономика железных дорог. – 2003, № 1.- С.51-65.
27. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Ситуационное управление перевозочным процессом // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. ОИ / ВИНТИ.- 2004, № 11.- С. 14-16.
28. Бубнова Г.В., Зенкин А.А., Куренков П.В. Транспортные коридоры и оси в евразийских коммуникациях // В сборнике: Логистика - евразийский мост материалы 12-й Международной научно-практической конференции. 2017. С. 25-33.

Сведения об авторе:

Покровская Оксана Дмитриевна, профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Адрес: 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9.
 Контактный телефон (мобильный): 8-965-035-42-54,
 e-mail: insight1986@inbox.ru.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОБУСОВ НА ГОРОДСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Доктор технических наук, профессор **Блудян Н.О.**
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Ассоциация содействия развитию транспортной отрасли
«Транспортная ассоциация Московской Агломерации»)

ASSESSMENT OF FUTURE USE OF URBAN ELECTRIC BUSES

N.O. Bludyan, Doctor (Tech.), Professor
(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Transport Industry Promotion Association “Transport Association of Moscow Agglomeration”)

Городской транспорт, электробусы, автобусы, троллейбусы, эксплуатация, стоимость, шум, выбросы.

Urban transport, electric bus, bus, trolleybus, operation, cost, noise, emissions.

Приводится анализ эксплуатации и экономическая оценка различных концепций автобусов на электрической тяге (электробусов) на муниципальных маршрутах. Выполнен комплексный обзор международных исследований проблем внедрения и эксплуатации электрических автобусов.

The article provides an analysis of the operation and economic evaluation of various concepts of electric buses on city routes. A comprehensive review of international studies of the problems of introduction and operation of electric buses is performed.

Введение

Транспорт общего пользования является важнейшей составляющей частью транспортной системы любой агломерации. Проблемам развития агломерационных транспортных систем посвящены ряд исследований выполненных в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ). Эти исследования были направлены на решения управленческих и организационных проблем, а также оптимизацию системы государственного регулирования транспорта общего пользования.

Глобальной стратегией решения многих проблем в крупных агломерациях является развитие транспорта общего пользования и сокращение количества личных автомобилей.

Поэтапный перевод транспорта общего пользования с обычных дизельных автобусов на электрические и водородные в настоящее время является общемировым трендом инновационного развития. Во многих странах

Европы, Северной Америки, в Китае, Японии, Республике Кореи и др. реализовываются пилотные проекты внедрения электробусов.

В настоящее время у исследователей и практиков нет однозначного ответа относительно экономической целесообразности перехода на электрические автобусы. На транспорте общего пользования представлены альтернативные типы подвижного состава, использующих разные виды топлива [1].

1. Анализ альтернативных транспортных средств для городских перевозок

При разработке стратегии перехода от дизельных автобусов на другие типы в первую очередь обсуждается сравнительные цены транспортных средств. При этом понятно, что цена не является единственным или определяющим показателем при принятии стратегических решений. Сравнительные характеристики себестоимости различных типов автобусов приведены на рис. 1.

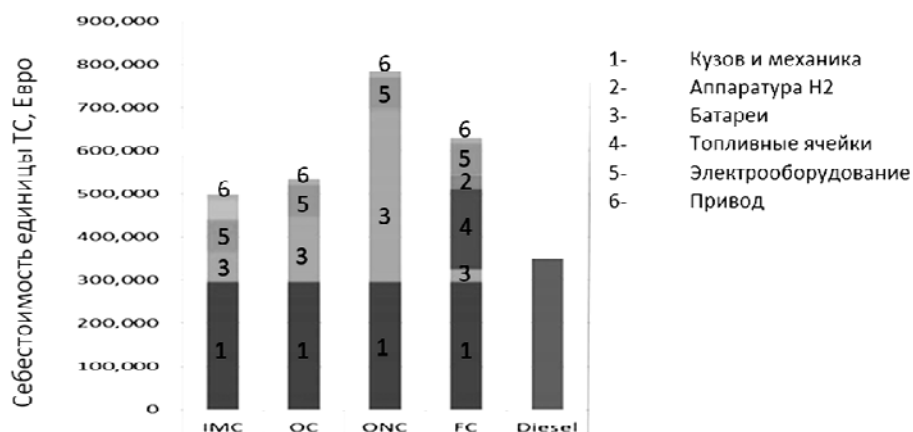


Рис. 1. Себестоимость транспортных средств и их составных частей.

По стоимости кузова и механики все автобусы на альтернативных видах топлива одинаковы, разница только в элементах питания. Самым дорогим источником являются батареи, рассчитанные на ночную зарядку, вторыми с ультрабыстрой зарядкой и самые бюджетные батареи у электробусов с концепцией динамической зарядки. Топливные ячейки для водородного

транспорта заняли позицию между ультрабыстрой и ночной зарядками. Автобус с классическим дизельным двигателем дешевле по себестоимости, но уступает по расходу энергии (рис. 2). Электробусы с концепцией динамической зарядки и с концепцией ультрабыстрой зарядки по расходу примерно равны, и являются самыми экономичными [1].



Рис. 2. Расход энергии транспортными средствами.

Одним из важных показателей автобуса является пассажироместность [1]. Самыми вместительными являются автобусы на электрической тяге с концепцией динамической зарядки и классические дизельные автобусы. Ниже всех показатель у электробусов с концепцией ночной зарядки, что обусловлено видом используемых батарей, их массой и габаритами.

Абсолютным мировым лидером по производству и эксплуатации электробусов является Китай. Однако наращивается парк электробусов и в других странах. В Европе ежегодный заказ составляет свыше 1,0 тыс. ед. [2].

2. Экономическая оценка эксплуатации альтернативных транспортных средств

В городах и агломерациях мира реализовываются локальные проекты внедрения различных вариантов

типов транспортных средств. Одним из обсуждаемых вариантов является переход от обычных троллейбусов к троллейбусам с автономным ходом IMC.

Приведем основные преимущества троллейбусов с автономным ходом IMC по сравнению с обычным троллейбусом:

1. Способность объезжать преграды.
2. Способность функционировать даже в условиях обрыва или обледенения сети.
3. Возможность продолжать движение на маршрутах, где нет инфраструктуры.
4. Отсутствие потребности в зарядной инфраструктуре (при условии наличия контактной сети).

Результаты исследований по экономической оценке внедрения троллейбуса с автономным ходом и обычного троллейбуса представлены на рис. 3 [3].

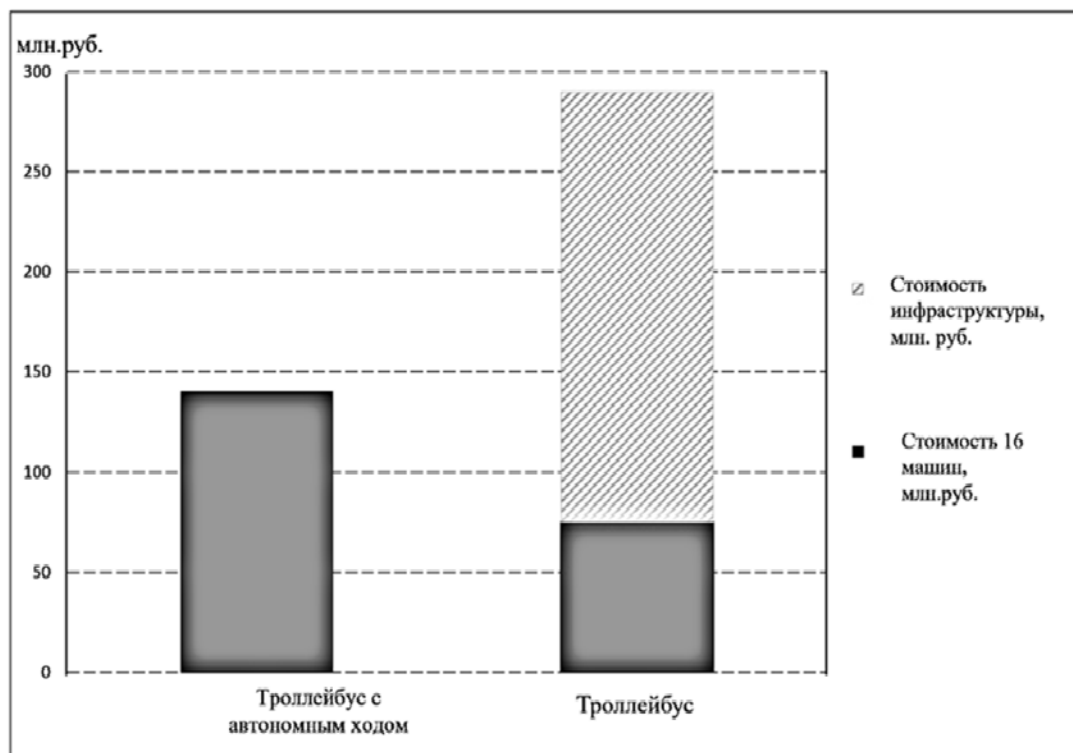


Рис. 3. Экономическая оценка различных троллейбусов.

В проведенных исследованиях при сравнении затрат на эксплуатацию автобусов на электрической тяге и автобусов с дизельным двигателем в расчетах принимались следующие исходные показатели (Таблица 1).

Таблица 1.

Показатели для расчетов.

№ п/п	Показатель	Величина
1	Срок эксплуатации	10 лет
2	Пробег в день	250 км
3	Цена топлива	38 руб./л
4	Стоимость 1 кВт/ч	2,5 руб.

На рис. 4 приведены результаты расчетов по стоимости эксплуатации электробусов и автобусов с дизельными двигателями [3].

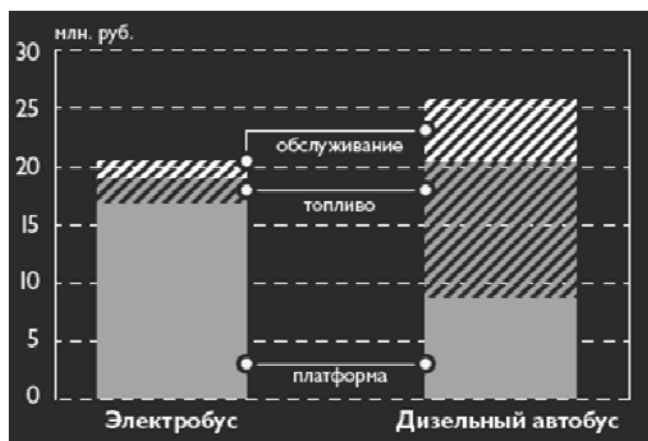


Рис. 4. Стоимость эксплуатации электробусов и дизельных автобусов.

Необходимо отметить, что гарантия на аккумуляторную батарею и тяговый электропривод больше срока окупаемости. При сравнении эксплуатационных затрат электробусов и автобусов с дизельным двигателем Евро-6 сделан вывод, что стоимость эксплуатации электробусов за 7 лет на 17% ниже, чем автобусов [3].

Согласно оценкам специалистов, если в городе заменить 1000 эксплуатирующихся дизельных автобусов на электробусы, то экологический эффект будет равен исключению с дорожной сети парка из 343 тыс. автомобилей с ДВС [4].

Известно, что размер инвестиций всегда должен соответствовать интенсивности использования и сроку службы актива. По мнению авторов с экономической точки зрения, только троллейбус составляет конкуренцию автобусу. Создание трамвайных систем и, тем более, метро требует очень значительных инвестиций, доказательных и объективных обоснований (Рис. 5) [5].

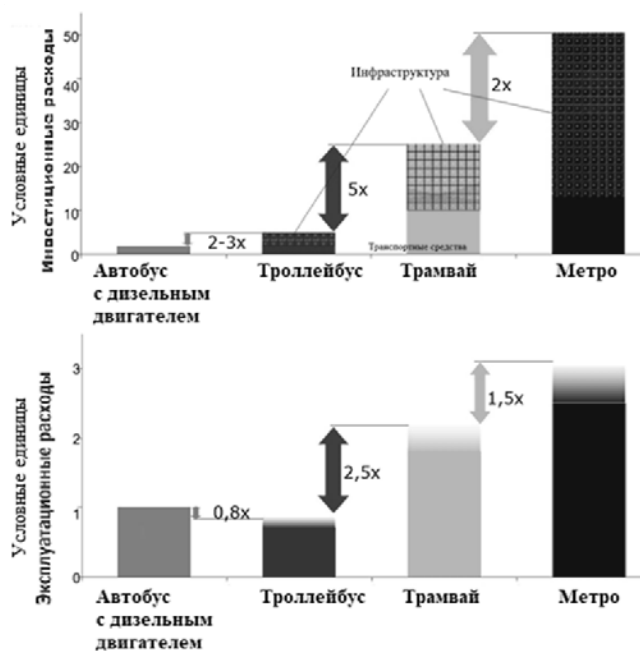


Рис. 5. Инвестиционные и эксплуатационные затраты (основные положения)

Более интенсивное использование троллейбуса делает его эксплуатацию дешевле, чем автобуса с дизельным топливом. Согласно полученным результатам критическая точка ежегодного пробега обычно находится на уровне 40-60 тыс. км (Рис. 6) [5].

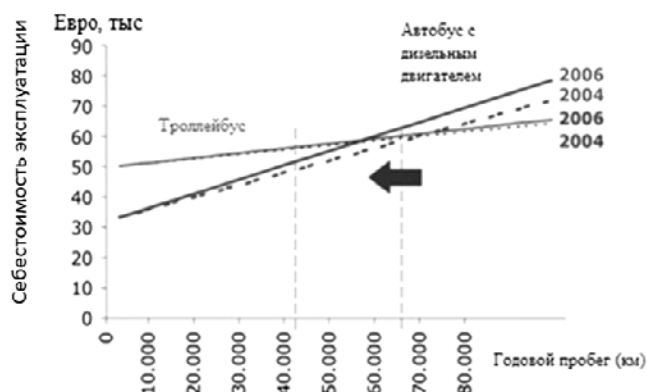


Рис. 6. Критическая точка годового пробега электробусов

Согласно выполненным исследованиям [6] наиболее оптимальной является схема электроснабжения, соответствующая концепции ультрабыстрой зарядки (ОС). Автобус на электрической тяге заряжается на маршруте от станции ультрабыстрой зарядки, расположенной на конечном/начальном остановочном пункте, при величине автономного хода 84 км.

Параметры автобуса на электрической тяге с оптимальным автономным ходом 84 км при минимальных приведенных затратах 0,0013 млн руб./чел.·км приведены в таблице 2 [6].

Таблица 2.

Параметры автобуса на электрической тяге с оптимальным автономным ходом 84 км при минимальных приведенных затратах 0.0013 млн руб./чел·км

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Общая масса, $M_{ЭБ}$, кг	18000
2	Пассажировместимость, человек	72
3	Энергетическая емкость батареи, $A_{Б}$, кВт·ч	233
4	Масса батареи, $M_{Б}$, кг	2116
5	Стоимость батареи, $\mathcal{E}_{Б}$, млн руб.	2,3

По оценкам исследования [7] в 2015 г. можно было бы добиться сокращения выбросов двуокиси углерода в Нью-Йорке с 575 тыс. т до 300 тыс. т, если весь парк автобусов города был бы переведен на электробусы. Однако, при этом не приводятся данные о финансовых затратах, связанных с таким сокращением.

Второй аргумент в пользу использования электрических автобусов связан с охраной здоровья людей. В исследовании [7] автор использовал метод определения количества выбросов от дизельного топлива, который имеет компонент анализа полезности для здоровья. Польза для здоровья от перехода с дизельных на электрические автобусы оценивается примерно в 150,0 тыс. долларов на один автобус.

По результатам проведенных исследований [8] установлено, что при условии учета внешних затрат, т.е. (здоровья и климат), электрические автобусы уже в настоящее время имеют более низкие эксплуатационные затраты, чем дизельные автобусы.

В 2018 г. автобусы типа zero-emission bus - ZEB с нулевым уровнем выбросов от New Flyer Industries вышли на маршруты трех городов Канады в рамках реализации опытного проекта. По оценкам специалистов использование ZEB приносит также экономическую выгоду [9]. Без сложных систем выпуска отработавших газов с уменьшенным износом тормозов, достигаемым благодаря электродвигателю, вырабатывающему электроэнергию при замедлении, стоимость жизненного цикла New Flyer ZEB может компенсировать первоначальные инвестиции.

Проект RATP Bus Project 2025 [10] показывает, что схема ночной зарядки в депо не влияет на объем перевозок. Предполагается, что схему ночной зарядки лучше всего выбирать в депо в центре города или в непосредственной близости от автобусных маршрутов.

По имеющимся оценкам выбросы парниковых газов в Европе, связанные с транспортными потоками, составляют 25% от общего объема выбросов, а 8% в расчете на один пасс.км приходится на автобусы на городском транспорте [9].

Согласно транспортной стратегии Лондона к 2025 г. 80% всех поездов должны совершаться общественным транспортом, велосипедами, пешком или автобусами с нулевым выбросом. К 2050 г. планируется создать транспортную систему с нулевым уровнем выбросов [11].

В Париже (Франция) RATP адаптирует к 2025 г. 25 автобусных парков для своих будущих электрических автобусов ночной зарядки. Все автобусные депо расположены в центре или в ближайшей периферии [11].

Для муниципалитетов и компаний общественного транспорта переход от обычных автобусов к электрическим подразумевает некоторые фундаментальные инфраструктурные изменения в зависимости от масштабов внедрения. По результатам проекта ZeEUS5 [12] этап обоснованного и грамотного планирования имеет решающее значение для успеха будущих систем электрических автобусов.

Опытные проекты внедрения электрических автобусов на общественном транспорте в Намюре (Бельгия), Эйндховене (Нидерланды), Барселоне (Испания) и др. уже в настоящее время дают положительные результаты.

Проект ELIPTIC8 [13] показал, что отсутствие инфраструктуры зарядки в масштабах всего города является препятствием для внедрения электрической мобильности.

В Осло (Норвегия) маршрутную сеть в течение 2019 г. намечалось довести до 115 электрических автобусов, из них 72 автобуса с зарядкой в депо, используя батареи высокой мощности 300 кВт с зарядкой через пантограф.

3. Комплексные исследования альтернативных типов автобусов

Наиболее системные и комплексные методически сформулированные исследования проблем внедрения и эксплуатации электрических автобусов были проведены кафедрой стратегического устойчивого развития Технологического института Блекинге (Карлсруна, Швеция) [14].

Исследования были проведены в пяти городах Швеции, которые внедрили электрические автобусы в свои системы общественного транспорта. На основе этих исследований, а также с использованием результатов более ранних работ были разработаны новые модели, которые были спроектированы и применены на маршруте в Карлсруне. Было установлено, что по сравнению с автобусами, работающими на дизельном топливе и биогазе, удалось добиться значительной экономии общественных затрат и общей стоимости эксплуатации. Главным образом, это достигается благодаря снижению энергопотребления, снижению уровня шума и отсутствию выбросов в атмосферу.

Европейской комиссией электромобили определены в качестве ключевого решения для реализации экологически чистого общественного транспорта, а также в качестве ступени на пути к полному экологическому развитию стран. Целый ряд исследований по оценке жизненного цикла также показали, что воздействие на окружающую среду в течение жизненного цикла от электрических автобусов ниже, чем от автобусов с двигателями на дизельном топливе и от возобновляемых источников.

Шум от движения транспортных средств имеет большее негативное влияние на здоровье людей, снижает цены на жилье и вызывает большие общественные затраты. Например, W.Babisch утверждает, что при повышении уровня дневного и ночного шума на 10 децибелов риск сердечно-сосудистых заболеваний увеличивается на 8%.

Базовые исследования Boren S., Ny H., Nurhadi L. включают теоретические расчеты общей стоимости эксплуатации и результаты испытаний в реальных условиях эксплуатации, в которых были определены результаты устойчивого развития, что позволило опреде-

лить результаты устойчивого развития, оценить пред-варительные затраты, измерить внешний шум.

К исследованиям были подключены много заинтере-сованных сторон электрического автобусного парка в Гетеборге, Карлстаде, Вестере, Умео и Энгельхольме. В этих городах эксплуатируются электрические автобусы разных марок BYD, Hybricon, Optare, Solaris и Volvo. Результаты анализируемого исследования были ис-пользованы для обновления и дальнейшего совершен-ствования методики расчетов первого базового иссле-дования по воздействию на устойчивость, социальные затраты и общую стоимость эксплуатации (TCO) по сравнению с дизельными автобусами.

Первое базовое сравнительное исследование устой-чивого развития также проводилось под руководством FSSD. Оно включает стратегическую оценку жизненно-го цикла Strategic Life Cycle Assessment (SLCA), оценку жизненного цикла Life Cycle Assessment (LCA) и оцен-ку стоимости жизненного цикла Life Cycle Costing (LCC) для расчета общей стоимости эксплуатации TCO. SLCA - это качественный метод решения вопросов со-циальной и экологической устойчивости.

За основу рассматриваемого исследования была принята структура стратегического устойчивого разви-тия Framework for Strategic Sustainable Development (FSSD). Этот подход обеспечивает системную перспек-тиву стратегического развития с учетом научно-обоснованных подходов.

Первоначально с помощью SLCA определялось воз-действие на устойчивость. Для количественной оценки негативного воздействия автобусов на окружающую среду использовался LCA с различными энергоносите-лями и трансмиссией. Оценка проводилась в течение срока службы автобусов, называемого анализом полно-го цикла производства. В соответствии с исследова-ниями LCA по шведскому биотопливу, были выбраны следующие категории выбросов: парниковые газы (эк-виваленты CO₂), эвтрофикация (эквиваленты PO₄), под-кисление (эквиваленты SO₂), фотохимические окисли-тели (эквиваленты C₂H₂) и твердые частицы (TЧ_{2,5}). В рамках этих категорий, оксиды углерода (CO и CO_{2e}), углеводороды (HC / LOC), оксиды азота (NO_x), твердые частицы (PM_{2,5}), и диоксиды серы (SO₂) входят в так называемую модель ASEK.

По мнению Gunnarsson D. пассажирская нагрузка, рельеф местности, характеристика трассы маршрута, температура наружного воздуха, количество разго-

нов/торможений и манера вождения водителем оказы-вают значительное влияние на использование энергии для электрических автобусов. В предыдущих исследо-ваниях Boren S. было установлено, что количество раз-гонов/торможений в городском цикле на общественном транспорте в Швеции приблизительно одинаково.

Внешний шум от электрического и биогазового ав-тобуса длиной 12 м измерялся в соответствии с Прави-лами 51-02 ЕЭК Организации Объединенных Наций при постоянной скорости 30, 40, 50 км/ч и при разгоне от 0 до 35 (±5) км/ч. Биогазовый автобус оснащен вен-тилятором, повышающим уровень шума. Поэтому в исследовании испытания проводились как при вклю-ченном, так выключенном вентиляторе.

Исследования электрических автобусов Nurhadi L., Boren S., Ny H., были основаны на определении полной стоимости жизненного цикла (LCC), используемой при расчете общей стоимости эксплуатации (TCO). Основ-ное внимание при расчете затрат было уделено элек-трическим автобусам. Однако наиболее распространен-ные типы автобусов в Швеции работают на биогазе (из бытовых отходов), дизельном топливе и био/синтети-ческом дизельном топливе (HVO). Они были включе-ны, чтобы сравнить их с электрическими автобусами.

При этом Bangman G. была обновлена модель ASEK для расчета социальных расходов, с учетом государст-венного механизма стимулирования. Согласно Abrespart E. с февраля 2018 г. закупочная цена на новые электрические автобусы снижена на 20% и по прогнозу Chediak M. снижения к 2025 г. цены EV-аккумуляторов до 100 долларов США/кВт-ч.

Расходы на выбросы и шум были рассчитаны Bangman G. по модели ASEK, принципы и значения которой рекомендованы Шведским дорожным агентст-вом. В базовом 2014 г. ASEK общественные затраты составляли 1,14 шведских крон/кг в качестве стандарт-ной величины. В модели ASEK для расчетов город Кристианстад используется в качестве эталона.

Дальнейшие расчеты энергопотребления и затрат в течение жизненного цикла (Таблица 3), приведшие к результатам по выбросам (Таблица 4), были основаны на среднем энергопотреблении в Энгельхольме. Резуль-таты были получены исследователями: Edwards R., Larive J.-F., Rickeard D., Weindorf W., Borjesson P., Thufvesson L., Lantz M., Boren S., Nurhadi L., Ny H., Vojtisek-Lom M., Dittrich L., Fenkl M.

Таблица 3.

Энергопотребление автобуса длиной 12 м на городском транспорте

Энергоноситель	Источник	Использование энергии автобуса	Содержание энергии	Коэффициент первичной энергии (КВП)
Биогаз	Городские отходы	0,57 nm /км	9,95 мВтч/ nm	0,28 МДЖ/МДЖ
HVO	Животный жир	0,42 л/км	9,44 мВтч/м	0,28 МДЖ/МДЖ
Дизель	Ископаемая нефть+ 5% FAME	0,42 л/км	9,80 мВтч/м	0,28 МДЖ/МДЖ
Электричество +HVO	Ветер и HVO	1,04 + 0,30 кВтч/км	1,00 мВтч/МВтч + 9,44 мВтч/м	0,28 МДЖ/МДЖ

Выбросы отработавших газов у автобуса длиной 12 м на городском транспорте

Выбросы	Биогаз (отходы)	HVO	Дизельное топливо	Электричество
NO _x (g/km)	1,0	0,8	0,8	0,1
HC/VOC (mg/km)	363,4	251,2	254,9	6,0
SO ₂ (mg/km)	17,4	1,94	3,45	–
PM (mg/km)	22,7	17,4	17,6	0,01
CO ₂ e (g/km)	27,4	27,6	1108,9	2,3

Энергия, потребляемая автобусами, измерялась в соответствии с учетом выделенных факторов различий в получаемых результатах. Расход топлива отопителем салона зависит от температуры наружного воздуха. Автобусные маршруты в городах отличаются по рельефу местности. Электрический автобус в Вестеросе потреблял электроэнергию на трансмиссию 1,19 кВт/ч/км, а потребление топлива отопителем составило 0,68 кВт/ч/км. Соответствующие значения для Энгельхольма составили 1,04 кВт/ч/км и 0,30 кВт/ч/км, а для Гетеборга - 0,93 кВт/ч/км и 0,28 кВт/ч/км.

Показатели измерений шума при разгоне от 0 до 35 (±5) км/ч показывает значительные различия для электрических автобусов по сравнению с биогазовыми, особенно при включённом вентиляторе охлаждения. Шум измерялся при постоянной скорости 30, 40, 50 км/ч и показал незначительные различия между электрическими и биогазовыми автобусами, и больше при включенном вентиляторе охлаждения.

При использовании модели ASEK были рассчитаны затраты от выбросов в атмосферу на этапе эксплуатации для городских автобусов при использовании на маршруте №1 в Карлскруне. В целом, расходы на автобусы с электрическим приводом составили 81 шв. крон в год, дизельное топливо – 8,072 шв. крон в год, HVO 859 шв. крон в год и биогаз – 1,250 шв. крон в год. Общие затраты на выбросы дизельных автобусов маршрута №1 в Карлскруне оказались более чем в шесть раз выше, чем если бы эти автобусы работали на биогазе, более чем в девять раз выше, чем если бы они работали на HVO, и в 100 раз выше, чем если бы они работали на электричестве от ветра. Дополнительные расчеты показали, что если бы стоимость двуокиси углерода была установлена в размере 3,50 крон/кг (вместо

1,14 крон/кг, использованных в базовом анализе), то общая стоимость выбросов увеличилась бы в 2,7 раза для автобуса, работающего на дизельном топливе, в 1,3 раза для автобуса, работающего на электроэнергии от ветра (HVO для внутреннего обогревателя), в 1,2 раза для автобуса, работающего на HVO от биотоплива, и в 1,1 раза для автобуса, работающего на биогазе от отходов.

Согласно проведенному в 2014 г. исследованию Olofsson E. в Карлскруне, в некоторых населенных пунктах уровень шума от автомобильного и железнодорожного транспорта превышает 65 дБА, а где-то составляет менее 55 дБА. Исследование показало, что средний уровень шума до сентября 2014 г. на расстоянии 20 м от дороги, составляет около 60 дБА.

Согласно предыдущим измерениям шума, выполненным Boren S., Nurhadi L., Ny H., Larsson K., Holmes M., Turcsany J., автобусы, работающие на биогазе, в целом при разгоне на несколько дБА шумнее, чем дизельные автобусы. Исходя из полученных результатов, для учета различий в уровнях шума при разгоне от электрических, дизельных и биогазовых автобусов было получено уравнение (1):

$$L_{eq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_0^2 T + (p_y + p_o)^2 n t}{p_{ref}^2} dt \right) \quad (1)$$

где $L_{eq,T}$ - дневной эквивалентный уровень шума в дБА, p_0 - базовое звуковое давление в Па, p_y - повышенное звуковое давление при ускорении в Па, n - число ускорений в T , а t - время, в течение которого человек подвергается воздействию шума от разгоняющейся шины.

Значения итоговых показателей для расчета ТСО сведены в таблицу 5.

Таблица 5.

Значения показателей при расчете общей стоимости эксплуатации ТСО.

Параметр стоимости	Биогаз	Дизель	Электрический (депо зарядка HVO)	Быстрая зарядка + HVO	HVO
Закупочная стоимость а	2,4–2,6	2,1–2,3	3,6–4,0	3,3–3,6	2,1–2,3
Энергия (с НДС) (SEK/кВт-ч) b	1,25	1,44	1,05	1,05	1,46
Топливозаправочная станция (шведских крон) c	48–53	24–27	290–610	434–500	24–27
Дополнительная батарея (MSEK 2023 года) a	-	-	0,7–0,9	0,5–0,7	-
Плановое техническое обслуживание (шведских крон /год) c	72–80	52–58	65–71	78–86	52–58
Помощь в обслуживании (шведских крон /год) c	133–147	117–130	119–132	137–152	117–130
Неопределённость (±МСЭК/год)	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5

Расчеты общей стоимости эксплуатации автобусов отображены на рис. 7.

По результатам данного исследования электрический автобус с быстрой зарядкой имеет меньшую стоимость эксплуатации, чем электрический автобус, заряжаемый

в депо, и значительно меньшую стоимость эксплуатации, чем автобус, работающий на дизельном топливе (см. рис. 7).

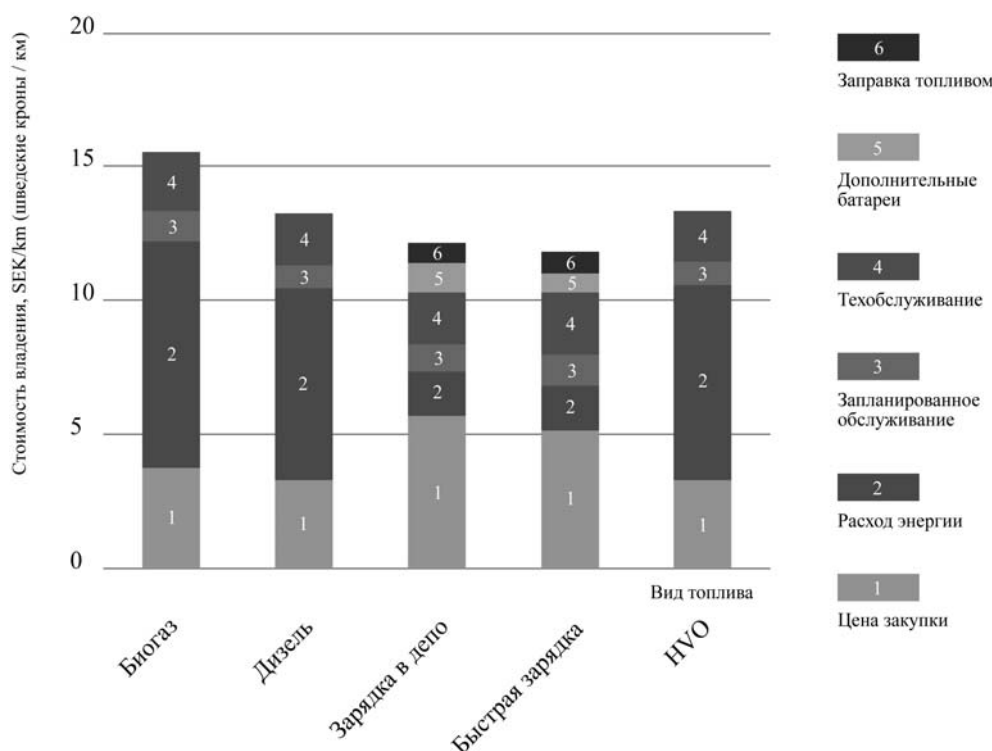


Рис. 7. Общая стоимость эксплуатации автобусов.

В случае, если обслуживание электрического автобуса, станет на 25% дешевле, то автобус, работающий на дизельном топливе, станет на 18% дороже, даже при условии, если цена на электроэнергию удвоится к 2030 г. по сравнению с 2018 г. В расчете социальных затрат в качестве базовой величины принято значение дневного эквивалентного уровня шума 60 дБА при эксплуатации дизельных автобусов.

Расчеты показали, что электрический автобус производит примерно на 5 дБА меньше внешнего шума во время ускорения по сравнению с дизельным автобусом и на 7 дБА меньше по сравнению с биогазовым автобусом.

Эксплуатация электробусов приводит к снижению социальных затрат на шум на 750 шв. крон/год (1,0 шв. крон/км) и к увеличению на 820 шв. крон/год (1,1 шведских крон/км) для биогазовых автобусов. Социальные затраты на выбросы от эксплуатации дизельного автобуса составляют 12 шведских крон /100 км. Это более чем в 6 раз выше, чем у биогазового автобуса, более чем в 9 раз выше, чем у автобуса HVO, и примерно в 100 раз выше, чем у электробуса (при условии, если электричество поступает от ветросиловых установок).

Заключение

Проведенное исследование Nurhadi L., Boren S., Ny H. дало более точные результаты по сравнению с первым базовым исследованием о влиянии устойчивости и общей стоимости эксплуатации для различных типов автобусов на городском транспорте, благодаря доступу к более сложным принципам социальной устойчивости. В более ранних базовых исследованиях Nurhadi, L., Boren, S., и Ny, H. автобусных систем ис-

пользовалось более упрощенное определение социальной устойчивости. В отдельной работе Boren, S., и Ny, H. были учтены некоторые новые результаты исследований SLCA по транспортным средствам, работающим на дизельном топливе, электроэнергии, вырабатываемой ветром, и водородными топливными элементами. Edwards R., Larive J.-F., Rickeard D., Weindorf W. при анализе и оценке автобусных систем основное внимание уделяют затратам, связанным с инвестициями, топливом, техническим обслуживанием и выбросами CO₂. Данное исследование расширяет перспективу полной устойчивости, определяемой восемью принципами устойчивости согласно Broman G. I., и Robert K.-H. Оно также покрывает расходы общества, связанные с автобусными системами, а также будущие расходы на основе экстраполяции данных ранних периодов. Более ранние исследования показали, что эксплуатация электрических автобусов была бы на 24% дешевле, но этот результат не в полной мере сопоставим с результатами данного исследования, так как были внесены изменения в маршруты движения автобусов. Результаты расчетов ACC в этом исследовании аналогичны всеобъемлющему исследованию ACC, основанному на результатах проекта "Электричество" в Гетеборге выполненных Nordelof A., Romare M. И Tivander J. Как и в данном исследовании, в нем сравнивались электробусы с автобусами, работающими на биотопливе и дизельном топливе.

Анализ показал, что тесты на шум в Швеции и в США, имеют схожие различия между электрическими и топливными автобусами во время работы на постоянной скорости. Сведения о стоимости автобусов и их влиянии на окружающую среду показали, что автобусы

с двигателем внутреннего сгорания вызывают социальные издержки из-за шума величиной в 3,60 шведских крон/км, при соответствующих затратах для электрических автобусов в 0,97 шведских крон/км. Кроме того, в исследовании, проведенном Шведским институтом технических исследований SP и городом Гетеборгом, сравнивался шум от автобусов, работающих на дизельном топливе, газе, гибриде и электричестве. Это исследование выявило еще более высокие различия в уровне шума на более низких оборотах работы двигателя.

Выполненное исследование внесло серьезный вклад в развитие научных данных, уточнив последствия для устойчивого развития, оценки влияния уровня шума, энергии и общественных затрат на общую стоимость эксплуатации автобусов, работающих на электричестве, по сравнению с автобусами, работающими с двигате-

лями внутреннего сгорания. Таким образом, оно позволяет заинтересованным сторонам, имеющим отношение к транспортному сектору, получить объективные результаты, которые могут стать основой для принятия стратегий, направленных на обеспечение устойчивости транспортного сектора.

Эксперты UITP прогнозируют темпы перехода общественного транспорта в странах Европейского союза на электрическую энергию. Постепенно будет повышаться доля электробусов относительно классических дизельных (рис. 8). У электробусов прослеживается снижение издержек от использования топлива, что является огромным потенциалом и преимуществом. Это и есть важнейшая причина активнейшего внедрения транспорта на электричестве в странах Европы

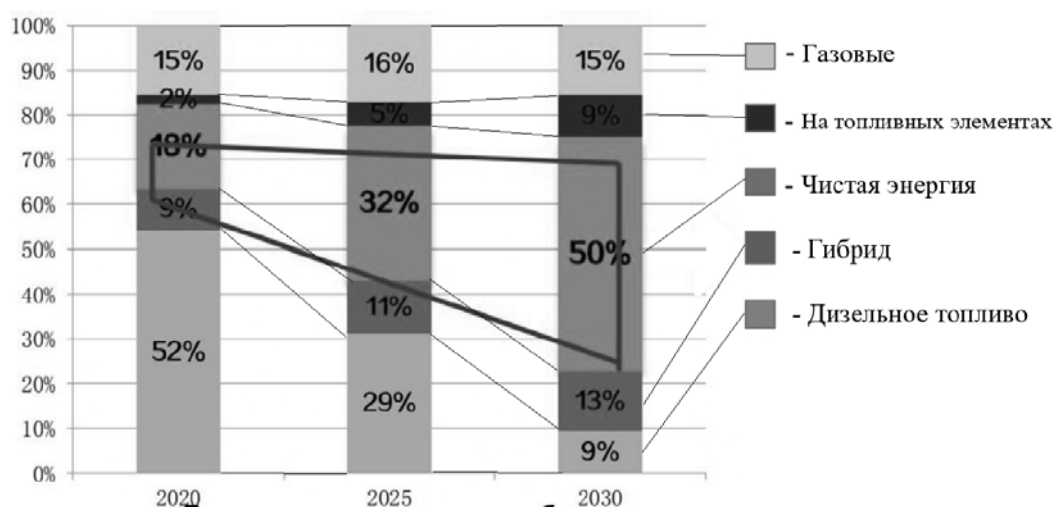


Рис. 8. Прогноз изменения парка транспортных средств на городском транспорте общего пользования в Европе

Литература

1. Evopro. Эффективные режимы работы общественного электротранспорта. – Режим доступа: http://0s.nvxxgz3poj2heyloomxhe5i.cmle.ru/fileadmin/projects/electrobus/HTC_08.09.2017/Evopro.pdf свободный (Дата обращения: 20.03.2020).
2. Electric buses, including costs on climate and health, are cheaper than diesel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sustainable-bus.com/news/taking-into-account-external-costs-health-and-climate-electric-buses-already-offer-a-lower-tco-than-diesel/> свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).
3. DRIVE ELECTRO. Опыт эксплуатации городского электротранспорта с подзарядкой на маршруте. Рекомендации по реализации контракта жизненного цикла. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://0s.nvxxgz3poj2heyloomxhe5i.cmle.ru/fileadmin/projects/electrobus/HTC_08.09.2017/Drive_Electro.pdf свободный. (Дата обращения: 20.03.2020).
4. ЭЛЕКТРОБУС ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ С УЛЬТРАБЫСТРОЙ ЗАРЯДКОЙ. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/32481603-Elektrobus-vtorogo-pokoleniya-s-ultrabystroy-zaryadkoy.html> свободный (Дата обращения: 20.03.2020).
5. ЭЛЕКТРОБУС – ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВАРИАНТОВ ИСПОЛНЕНИЯ. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://0s.nvxxgz3poj2heyloomxhe5i.cmle.ru/fileadmin/projects/electrobus/HTC_08.09.2017/Electrotransservice.pdf свободный (Дата обращения: 20.03.2020).

6. Руцкий В.М., Старикова А.Г., Пидченко С.С., Алиев Т.В. Оценка инвестиционной привлекательности применения электробусов на городских маршрутах. Вестник транспорта Поволжья. 2019. № 2 (74). С. 83-90 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=39184798> свободный (Дата обращения: 20.03.2020).
7. A look at the economics of electric buses [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energycentral.com/c/pip/look-economics-electric-buses>, свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).
8. Electric buses, including costs on climate and health, are cheaper than diesel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sustainable-bus.com/news/taking-into-account-external-costs-health-and-climate-electric-buses-already-offer-a-lower-tco-than-diesel/> свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).
9. Zero-emission buses make a big economic and environmental impact [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.industryandbusiness.ca/technology/zero-emission-buses-make-a-big-economic-and-environmental-impact> свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).
10. The impact of electric buses on urban life [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/doc9493348_543938270?hash=f2b93859a8464f94f9&dl=d5bb51f8ddb79d5baf свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).

11. Bloomberg New Energy Finance, March 2018. Electric Buses in Cities [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf> свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).

12. ZeEUS, 2018. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.zeeus.eu свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).

13. ELIPTIC, 2018. Policy Recommendations, electrification of public transport in cities. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.eliptic-project.eu свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).

14. Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://vk.com/doc9493348_543938266?hash=7c0ae0cf046c9a6c42&dl=c009c71683b25af395 свободный. (Дата обращения: 23.03.2020 г.).

15. Yutong. Электробус компании Yutong. – [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://o53xo.nvxxgz3poj2heyloomxhe5i.cmle.ru/fileadmin/projects/electrobus/HTC_08.09.2017/YUTONG.pdf свободный (Дата обращения: 20.03.2020).

Сведения об авторе:

Блудян Норайр Оганесович, заведующий кафедрой «Автомобильные перевозки» МАДИ, директор ассоциации «ТАМА».

125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.

Тел. +7 (499) 148-65-19,

e-mail: np-tama@mail.ru.

СКЛАДСКАЯ ЛОГИСТИКА НА ПУТИ В ЦИФРОВОЕ БУДУЩЕЕКандидат техн. наук **Тиверовский В.И.**

(Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук. ВИНТИРАН)

WAREHOUSE LOGISTICS ON THE WAY TO DIGITAL FUTURE**V.I. Tiverovsky, Ph.D. (Tech.)**

(All-Russian Institute for Scientific and Technical Information. VINITI RAS)

Склады, логистические центры. Цифровизация и автоматизация. Автоматизированные системы управления. Тележки челночные. Роботы транспортные. Облачная компьютеризация.

Warehouses, logistic centres. Digitalization and automation. Control systems. Shuttle cars. Transport robots. Cloud computing.

Рассмотрены основные пути развития складской логистики в свете концепции 4-й промышленной революции. Приведены примеры строительства автоматических складов для мелких штучных грузов, логистических центров, автоматизированных высокостеллажных складов и складов металла.

The main developmental trends for warehouse logistics are considered in the light of the concept of the 4th industrial revolution. Examples are given of construction of automatic warehouses for small piece cargos, logistics centres, automated high-rack warehouses and metal goods warehouses.

Введение

Современный этап развития складской логистики определяется требованиями концепции 4-й промышленной революции (Industrie 4.0). Основные требования концепции можно определить как цифровизацию, автоматизацию и соединение в единую цепь производства, транспорта и логистики. В зарубежной практике регулярно проводятся международные и специализированные выставки и ярмарки, которые по существу являются смотрами инновационного развития отраслей, определяя дальнейшие пути развития. К числу наиболее значимых событий можно по праву отнести ежегодную Ганноверскую ярмарку в Германии, которая была запланирована на апрель 2020 г.

По данным организатора ярмарки - фирмы Deutsche Messe AG в ярмарке подтвердили участие более 6 тыс. фирм-экспонентов из разных стран мира. Центральная тема ярмарки - цифровые трансформации в промышленности, на транспорте и в логистике в свете реализации концепции 4-й промышленной революции. В дни работы ярмарки было намечено проведение 80 конференций и форумов. Ярмарка должна осветить важнейшие направления цифровизации и автоматизации, умную логистику и коммуникации 5G, применение искусственного интеллекта и роботов разного типа, автономные транспортные системы и новейшие компьютерные технологии, беспилотные летательные аппараты и новые технологии в торговле через Интернет и др. Традиционными партнерами в организации ярмарки выступали Федеральное объединение логистики Германии (BVL), Союз германских машиностроителей (VDMA) и Институт материальных потоков и логистики им. Франгофера (IML) в г. Дортмунде. Вследствие пандемии очередная Ганноверская ярмарка перенесена на более поздние сроки, однако опубликованные данные о ее подготовке и экспонатах позволяют в полной мере представить, в частности, современные направления инновационного развития складской логистики [1].

В преддверии Ганноверской ярмарки Цифровой союз Bitkom (Германия) произвел опрос логистических фирм с целью выяснения их отношения к цифровизации. Две трети опрошенных ожидают в результате цифровизации ускорения всех логистических процессов. На втором месте - ожидание уменьшения ошибок и сбоев в процессах производства (43%). Более 74% опрошенных используют автоматизированные системы управления складами и логистическими центрами (WMS) и на этой основе намерены внедрять цифровизацию. Цифровизация должна по-этапно внедряться на основе IT-технологий. Большое значение имеет сбор, обработка и анализ больших данных [2].

Для фирмы Hewi G. Winkler GmbH & Co. KG в Германии построено новое промышленное предприятие площадью более 36 тыс. кв. м для производства крепежных изделий по заказам автомобилестроительных предприятий и в комплексе с предприятием - автоматизированный высокостеллажный склад. Инвестиции для реализации проекта - 18,5 млн евро. Генеральный подрядчик - фирма Jungheinrich AG (обе фирмы - Германия). В проекте реализована задача создания современной производственной логистики с высокой степенью автоматизации и автоматизированного высокостеллажного склада для складирования сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Построенный высокостеллажный склад силосного типа имеет вместимость 9888 мест и может работать с производительностью 93 двоянные операции/час. Складирование выполняется на поддонах трех типов - одноразового использования, европейских и типа Slave, масса поддонов с грузом - 650 кг. Логистическое обеспечение производства и связь со складом реализует транспортная система с шестью напольными тележками ERC 215a, работающими без водителей (FTS). Автоматизированное управление складом и транспортной системой выполняет система Jungheinrich-WMS. Строительство промышленного предприятия и высокостеллажного склада в едином

производственно-логистическом комплексе является наглядным примером создания цепи «производство – логистика» [3].

Рассмотрим далее на конкретных проектах основные направления развития, цифровизации и автоматизации логистических центров и складов разного назначения.

1. Автоматические склады для складирования мелких штучных грузов

При проектировании и строительстве автоматических складов для мелких штучных грузов в последние несколько лет используются две технологии и два типа складов: классический склад с кранами-штабелерами (RBG) и склад с челночными тележками (Shuttle). Если в 2013 г. в Германии было построено 31 склад с кранами-штабелерами и всего 4 склада с челночными тележками, то в 2017 г. картина существенно изменилась. Были построены 57 складов типа AKL и 52 склада Shuttle. Склады с кранами-штабелерами отличаются надежностью, прочностью и безотказностью, склады с челночными тележками - гибкостью, динамизмом и простотой наращивания производительности. Выбор варианта должен производиться на основе сравнения вариантов с учетом требуемой вместимости и производительности. В Институте транспортной техники и логистических систем (IFL) и Технологическом институте г. Карлсруе (оба - Германия) разработана модель складов обоих типов и система моделирования, в которой представлены 9225 вариантов. С помощью разработанной модели можно выбрать наиболее экономичный вариант, отвечающий в полной мере требованиям заказчика [4].

Еще один пример строительства автоматического склада для мелких штучных грузов. Фирма H. Gautzsch Firmengruppe (Германия) поставляет продукцию для электротехники и систем освещения, которая насчитывает более 30 тыс. наименований. После изучения различных вариантов транспортно-складских систем, используемых для складирования мелких деталей фирма остановилась на варианте склада Autostore с комплектованием заказов по принципу "Груз - к человеку". Концепция системы Autostore построена на основе применения вместо обычных стеллажных систем решетчатой растровой алюминиевой решетки Grid высотой до 7,5 м, в которой мелкие детали складываются в стандартных носителях объемом 48, 75 или 99 л и массой до 30 кг. Носители с деталями складываются в вертикальных каналах решетки, а операции складирования, взятия носителей с деталями с места хранения и доставки к станциям комплектования заказов выполняют автоматические челночные тележки - транспортные роботы. Для центрального склада фирмы была принята решетка Grid размерами в плане 17х46 м и высотой 5,5 м. В системе функционирует 22 тыс. носителей объемом 75 л. Отличительная концепция складов этого типа состоит в их исключительной гибкости, прозрачности и возможности расширения. Число носителей может достигать до 1,5 млн шт., а число транспортных роботов - до 600 и более.

В Норвегии фирма Cube-Storage реализовала первый проект строительства автоматического склада типа Autostore для складирования мелких штучных грузов разработки фирмы Autostore System GmbH (Германия). Как обычно, склад состоит из пяти стандартных компонентов: транспортных роботов, решетчатой системы

Grid, унифицированных носителей Bins и рабочих станций для комплектования заказов и контроллеров для управления. Транспортные роботы движутся по решетчатой системе со скоростью до 8 м/с и транспортируют носители с грузом массой до 35 кг. Склады типа Autostore значительно компактнее других систем.

Для фирмы по производству крепежных изделий Eisele Pneumatics GmbH & Co. KG (Германия) построен автоматический склад для мелких штучных грузов в унифицированных носителях. Вместимость склада - 17280 носителей. Транспортно-складская система - с челночными тележками типа Viaflex, версия 3. Основные задачи склада - транспортная связь производства и монтажа и отправление готовой продукции по заказам. Фирма Viastore System GmbH (также Германия) в качестве генерального подрядчика выполнила весь комплекс работ по консалтингу, проектированию и строительству склада, включая внедрение автоматизированной системы управления (WMS) типа Viadat 9. Работа склада организована на основе безбумажной технологии [5].

2. Логистические центры и грузовые терминалы

В столице Эфиопии, г. Адис-Абебе, построен крупнейший в Африке грузовой терминал общей площадью 38 тыс. кв. м для погрузочно-разгрузочных и перегрузочных работ с грузами, перевозимыми воздушным транспортом. В составе терминала склад-холодильник площадью 17 тыс. кв. м с температурой среды 2-10°C, склад сухих продуктов площадью 19 тыс. кв. м и автоматический склад для унифицированных алюминиевых контейнеров воздушного транспорта (ULD) вместимостью 1000 ULD массой 6,8 т. Проектная производительность терминала - 1 млн т грузов в год. Генеральный подрядчик - фирма Unitechnik Systems GmbH (Германия), которая совместно с фирмой Amova выступала с маркой Acunis. Автоматизированное управление терминалом выполняет автоматизированная система на основе платформы Uniware со встроенной программой визуализации Uniware-Visu. В качестве субподрядчиков выступали фирмы Amowa, Linde, Mecalux и др. Инвестиции на реализацию проекта составили 32 млн евро [6].

Фирма SSI Schäfer для фирмы Calanbau Brandschutzanlagen (обе - Германия) завершила строительство нового автоматизированного логистического центра с высокостеллажным складом вместимостью 4 тыс. мест для грузов на поддонах и встроенными двумя складами лифтового типа Logimat для мелких штучных грузов. На высокостеллажном складе с тремя межстеллажными проездами установлены три межстеллажных крана-штабелера типа Exyz. Наличие складов лифтового типа на 70% сокращает маршруты движения операторов при подготовке заказов и почти на 90% уменьшает потребность в складских площадях. Логистический центр может работать с производительностью 180 поддонов/ч.

В 2018 г. на сортировочной станции Лерте железных дорог Германии начато строительство современного терминала (MegaHub) с инвестициями из федерального бюджета и концерна Deutsche Bahn AG в общей сумме 170 млн евро. На терминале будет установлен мостовой кран-перегрузчик с подкрановыми путями длиной 800 м, который перекрывает 3 сортировочных и 4 перегрузочных пути полезной длиной по 700 м. Возможна перегрузка контейнеров и др. грузов из одного вагона в другой и из вагона в грузовой автомобиль или автопо-

езд. Центром терминала является автоматическая сортировочная система и 12 автоматических тележек с электрическим приводом от бортовых аккумуляторных батарей (AGV, FTS).

Фирмой Witron Logistik + Informatik (Германия) в качестве генерального подрядчика построено в Испании для торговой сети Mercadona 12 автоматизированных логистических центров для складирования продовольственных товаров и снабжения торговых предприятий. В апреле 2018 г. был подписан контракт на строительство еще одного логистического центра с автоматическим высокостеллажным складом-холодильником глубокого замораживания для снабжения 128 торговых филиалов. Вместимость склада-холодильника - 13900 мест. Для транспортно-складских работ на складе устанавливается 12 межстеллажных кранов-штабелеров. Ежедневно на складе будут комплектоваться 3200 поддонов и полуподдонов с заказами для филиалов. Для комплектования заказов устанавливается система PSSM [7].

Фирма TGW для предприятия Personalshop, работающего в области электронной торговли одежды и аксессуарами, завершила строительство и ввела в действие в начале 2020 г. в Инсбруке (Австрия) новый высокоавтоматизированный логистический центр. В составе логистического центра высокостеллажный склад силосного типа с двумя межстеллажными проездами, предназначенный для складирования грузов на поддонах, и склад с четырьмя межстеллажными проездами и с транспортно-складской системой на основе применения челночных тележек (Shuttle) типа Stingray, вместимость склада - 130 тыс. мест для мелких штучных грузов в носителях. В составе логистического центра также рабочие станции для комплектования и упаковки заказов. Комплектование заказов - по принципу "груз - к человеку". Автоматизированное управление логистическим центром реализует система Suite. Предусмотрена возможность последующего расширения склада с увеличением числа челночных тележек, сооружением автоматизированной установки для депакетирования грузов и оборудованием автоматизированных упаковочных устройств. Новый логистический центр отличается высокой производительностью и минимальными сроками выполнения заказов.

Наряду со строительством новых логистических центров и складов за рубежом активно ведутся работы по модернизации действующих. Так, например, фирма AM-Automation GmbH завершила проект модернизации логистического центра фирмы Roto Frank AG, обслуживающего 18 промышленных предприятий для производства окон и дверей в разных местах Германии. Особенность проекта состоит в сочетании модернизации действующего высокостеллажного склада с новым строительством автоматического высокостеллажного склада для мелких штучных грузов в носителях. На высокостеллажном складе заменены устройства программного управления на более современные, модернизированы приводы, актуализировано программное обеспечение и выполнен ряд других работ. Новый автоматический склад имеет 23 тыс. мест для складирования мелких штучных грузов в носителях размерами 600x400x320 мм. В логистическом центре реализована технология удаленного сервисного обслуживания подъемно-транспортного и складского оборудования, что значительно сокращает продолжительность работ по устранению возникающих неисправностей.

Для фирмы 11teamsports GmbH (Германия) фирмой Gebhardt Fördertechnik GmbH (обе - Германия) запроектирован и построен новый логистический центр спортивных товаров. В составе логистического центра высокостеллажный склад с узкими межстеллажными проездами для складирования грузов на поддонах и автоматический склад с челночными тележками (Shuttle) для складирования грузов в унифицированных носителях. Всего на складе работают 140 челночных тележек типа OLS, а для складирования используется 75 тыс. носителей. Управление складами и материальными потоками обеспечивает одноуровневая система управления Gebhardt StoreWare. Производительность логистического центра по отправлению - 420 упаковок/ч. Цифровизация логистического центра построена с использованием облачной компьютеризации на основе программного обеспечения Galileo IoT и Gebhardt Insight. По оценке экспертов новый логистический центр отвечает требованиям концепции Logistik 4.0 [8].

Фирма Witron Logistik + Informatik GmbH (Германия) в качестве генерального подрядчика завершила строительство в Великобритании для группы компаний bilstein group нового логистического центра для централизации снабжения запасными деталями легковых и грузовых автомобилей, выпускаемых под маркой Vale. В составе логистического центра склад с узкими межстеллажными проездами для грузов на поддонах вместимостью 10 тыс. мест, стеллажная система с консольными стеллажами на 720 мест и автоматический склад для мелких штучных грузов (AKL), разделенный на 12 проездов. В каждом проезде работает один межстеллажный кран-штабелер. Вместимость автоматического склада - 215 тыс. мест. Логистический центр рассчитан на хранение 50 тыс. наименований деталей. Автоматизированное управление логистическим центром обеспечивает система Witron-WMS.

На предприятии Szikszó по производству прохладительных напитков фирмы Hell (Венгрия) построен самый крупный в стране автоматизированный высокостеллажный склад вместимостью 31 тыс. мест для грузов на поддонах. Построенный фирмой Aberle (Германия) в силосном варианте склад с шестью межстеллажными проездами имеет высоту 30 м. В каждом межстеллажном проезде работает автоматический кран-штабелер, оборудованный вилочным захватом для двухрядного складирования с видеокамерой для облегчения позиционирования, особенно при работе на верхних ярусах стеллажной системы. Автоматизированная транспортная система соединяет склад с производственным корпусом.

В складской логистике большое внимание уделяется совершенствованию технологий обработки грузов и комплектования заказов. Такая работа проведена, например, группой Fressnapf-Gruppe, которая располагает в странах Европы сетью из 1500 предприятий по торговле предметами питания и др. товарами для домашних животных. В Крефельде (Германия) расположены крупнейший логистический центр площадью 60 тыс. кв. м и региональный склад площадью 20 тыс. кв. м. Для отбора грузов и комплектования заказов были поставлены две системы: по световым указателям (Pick-by-Vision) и по командам голосом (Pick-by-Voice). Вторая система показала лучшие показатели по производительности и точности комплектования заказов. Выбрана система Lydia Voice. С 2018 г. по этой системе работает в группе 360 операторов. Производительность ком-

плектования заказов против бумажной технологии, которая использовалась до 2018 г., возросла на 50%.

Для специализированной фирмы Kühlhaus Neuhof AG (Швейцария) фирмой - генеральным подрядчиком Gilgen Logistics AG (также Швейцария) завершен проект модернизации с расширением автоматического склада-холодильника глубокого замораживания с температурой среды -28°C и быстрого замораживания -38°C. При расширении вместимость склада-холодильника увеличена на 13700 мест для поддонов с грузами. Автоматические межстеллажные краны-штабелеры работают по оптимальным маршрутам. Точное позиционирование обеспечивается с использованием встроенных видеокамер. Грузы из отделения быстрого замораживания передаются на складирование автоматическими транспортными устройствами. На складе функционирует эффективная система визуализации. В функции генерального подрядчика были включены услуги инжиниринга, управления и ввода в действие. На условиях субподряда в проектировании принимала участие швейцарская фирма W+P Weber und Partner AG.

3. Склады металла

Фирма Amco Metall-Service GmbH (Германия) специализируется в области производства и торговли полуфабрикатами из листового и сортового проката алюминия, меди, бронзы и др. немагнитных металлов. В сервисном центре фирмы с обрабатывающими центрами и автоматизированной системой CAD/CAM фирмой Kasto Maschinenbau GmbH & Co. KG установлена складская система типа Unigrip 3.0 для длинномерных грузов. Вместимость складской системы - 1365 мест. В межстеллажном проезде работает кран-штабелер, который может двигаться в межстеллажном проезде со скоростью до 2 м/с. Обеспечен удобный доступ ко всем складированным грузам. Автоматизированное управление работой склада и материальными потоками обеспечивает система на основе концепции Kastologic [9].

Фирма Hoberg Driesch GmbH & Co. KG - крупнейшая в Европе по торговле горяче- и холоднокатаными стальными трубами. С целью оптимизации логистики и дальнейшего расширения бизнеса было принято решение построить в Дюссельдорфе автоматизированный центральный склад с инвестициями в сумме 7 млн евро. Фирмой fehr Lagerlogistik AG (Швейцария) построен автоматический склад высотой 26 м для складирования 60 тыс. т труб длиной 2-15 м и диаметром от 3 мм до 1420 мм. Для складирования труб используются кассеты, всего около 9 тыс. штук. В процессе проектирования склада для выбора оптимального варианта использовали моделирование. Склад полуавтоматической транспортной системой соединен с отделением резки труб на мерные длины. Склад введен в действие в полном объеме в сентябре 2019 г. С вводом в действие центрального склада выведены из эксплуатации четыре неавтоматических склада труб [10].

4. Автоматизированные системы управления

На новом складе фирмы Kurth GmbH & Co. KG (Германия) для оптимизации логистического процесса внедрена новая автоматизированная система управления Web WMS с банком данных MongoDB фирмы Coglas (также Германия). Система построена на основе безбумажной технологии, обеспечивает прозрачную и

эффективную работу склада по принципу FIFO ("первым прибыл - первым отправлен") и охватывает весь процесс работы склада от прибытия грузов до отправления готовых заказов. Для управления материальными потоками установлен специальный компьютер (MFR). Через установленные интерфейсы АСУ склада взаимодействует с компьютерной системой планирования и управления материальными ресурсами (ERP). Система Web WMS показала высокую эффективность.

Служба пассажирских перевозок железных дорог Швейцарии (SBB) располагает сетью из 20 складов, из которых наиболее крупный в Ольтене имеет вместимость 55 тыс. мест. В центре управления внедрена автоматизированная система Prolag World с SQL-сервером-2016-Datenbank, работающим с операционной системой Windows Server 2016. Через пакет интерфейсов Prolag World Konverter система взаимодействует с компьютерной системой планирования и управления материальными ресурсами SAP. Важная особенность системы Prolag состоит в том, что система в реальном времени работает с использованием облачной компьютеризации (Cloud). Реализация такой системы управления построена на основе стандартизации производственных процессов на всех складах службы. Менеджмент построен на основе мобильной системы Sito Mobilcontrol. Для возможности использования мобильных средств разработано и используется специальное приложение Prolag Go [11].

Фирма Mahr GmbH (Германия) специализирована в области производства средств измерительной техники. Производство и центральный склад фирмы соединены единой многоуровневой ИТ-системой. На верхнем уровне - автоматизированная система планирования и управления материальными ресурсами (ERP) PSIpenta концерна PSI. Автоматизированное управление складом реализует система (WMS) PSI Logistics, которая взаимодействует с системой верхнего уровня PSIpenta. Ниже расположена система управления транспортными средствами TMS, а также подсистема управления комплектованием заказов. Строгая иерархия ИТ-системы обеспечивает оптимизацию производства и логистики при минимальных сроках выполнения заказов.

Эффективность использования во внутренней логистике напольных транспортных средств, работающих без водителей (FTF) и транспортных систем на основе таких средств (FTS) уже доказана многократно, поэтому используется такой транспорт все более широко. Между тем управление системами FTS требует специальных систем связи высокого быстродействия. Применяемые беспроводные локальные сети WLAN в целом ряде случаев стали сдерживать развитие систем FTS. Это стало особенно заметно, когда транспортные средства стали оборудовать различными устройствами для автоматизации погрузки и разгрузки и рабочими органами, которые превращают напольные тележки без водителей в транспортные роботы. Глобальное решение проблемы связи состоит в переходе на связь 5-го поколения - 5G. Это обеспечивает скорость обмена информацией до 10 Гбит/с, а перерывы между данными сокращаются до 1 мс. Такие показатели создают новую техническую основу для работы напольных транспортных средств без водителей, их постепенного превращения в транспортных роботов и безопасной совместной работы с персоналом и различными техническими устройствами и оборудованием.

5. Подъемно-транспортное и складское оборудование

На строящихся новых и модернизируемых действующих складах, как правило устанавливается новейшее подъемно-транспортное и складское оборудование. В рамках настоящей статьи ограничимся отдельными примерами нового оборудования.

Крупное издательство Reach plc (Великобритания) располагает высокостеллажным складом с тремя межстеллажными проездами общей вместимостью 1728 мест для складирования рулонов бумаги разных диаметров и массы. Высота стеллажной системы склада в 6 уровней составляет 12,47 м, длина 72,96 м. В связи с развитием производства фирма заказала компании Daifuku Co., LTD два новых межстеллажных кранов-штабелера грузоподъемностью 1400 кг. Скорость движения кранов-штабелеров в проезде - 2,6 м/с, подъема грузов - 0,2 м/с, опускания захвата без груза - 0,3 м/с. Краны-штабелеры взаимодействуют с транспортной системой из напольных тележек без водителей (FTS) [12].

Фирма Schmale Logtec (Германия) создала новый тип роликовых направляющих и на этой основе предлагает широкий выбор гравитационных стеллажей для канальных стеллажных систем нового поколения. При стандартной высоте в 2000 мм стеллажные системы могут регулироваться по высоте с растром в 33,33 мм, что позволяет более эффективно использовать систему. Стеллажная система может работать по принципу FIFO ("первым прибыл - первым отправлен") или по технологии тянущего типа Kanban.

Фирма Meta-Regalbau GmbH & Co. KG (Германия) предлагает мобильные складские системы типа META MULTIBLOC Syncon нового поколения. Поставляемый в комплекте конфигуратор META Calc позволяет в режиме on-line удобно конфигурировать систему. Специальная система контролирует и управляет движением стеллажей и обеспечивает безопасность выполняемых действий. Экономия складских площадей по сравнению со стационарными системами до 110%.

Для предприятий автомобилестроительной промышленности фирма Jansen AG (Швейцария) производит прецизионные стальные трубы. Для манипулирования связками труб по специальному заказу фирмы Jansen фирмой Konecranes (Германия) поставлены три двухбалочных мостовых крана типа CXT-NEO грузоподъемностью 5 т с тремя грузоподъемными механизмами каждый. Ширина колеи - 22,57 м, высота - 6 м, скорость бесступенчатого подъема груза 0,1-4 м/мин., максимальная скорость движения тележек - 32 м/мин., моста крана - 63 м/мин. Наличие трех подъемных механизмов исключает прогиб труб во время транспортировки [13].

Машиностроительная фирма Vetter Krantechnik GmbH (Германия) модернизировала и усовершенствовала поворотный кран Mobilus. В новом исполнении опорный цоколь крана выполнен т.о., что его можно использовать для кранов в разных вариантах, например, с поворотом на 360° или 270°, с облегченной стрелой из алюминиевых профилей или шарнирно-сочлененной стрелой и др. Полную номенклатуру кранов Mobilus фирма экспонировала на логистической выставке Logimat 2020 в Штутгарте (Германия).

Специализированная фирма Eurotech Vertriebs GmbH (Германия) предлагает широкий выбор вакуумных грузозахватных устройств в стандартном и специальном исполнении для манипулирования грузами плоской формы, например листами из немагнитного материала.

Захваты серии ET-Hover-Panel и ET-Hover-Modesto удобны для применения, например на складах листов, на предприятиях для кроя листов и др. Важное достоинство вакуумных захватов - возможность работы в стесненных местах. Грузоподъемность захватов серии ET-Hover-Panel - 250 кг и более, траверзы с такими захватами могут быть грузоподъемностью до 4000 кг [14].

На основе представленных обзорных материалов о путях инновационного развития зарубежной складской логистики на современном этапе можно сделать следующие выводы:

1. Основное направление развития – цифровизация и автоматизация, как это предусматривает концепция 4-й промышленной революции.

2. Значительных успехов достигнуто в области создания автоматических складов для мелких штучных грузов на основе использования транспортно-складских схем с челночными тележками (Shuttle).

3. В последнее время за рубежом построен ряд крупных логистических центров и контейнерных терминалов, активно ведутся работы по строительству автоматических и автоматизированных складов.

4. В целом ряде проектов реализованы новые, более совершенные системы автоматизированного управления. Ведутся работы по созданию коммуникаций нового поколения 5G для обмена данными.

Литература

1. Hannover Messe 2020 //F+H: Fördern und Heben.-2020.-70, № 1-2.-С. 44-45.
2. Priozeesse intelligent gestalten/Daniella Oppmann //Techn. Logist.-2020.-60, № 1-2.-С. 23.
3. Aus alt mach neu //Nechn. Logist.-2019, Прил. Neubaufibel 2020.-С. 76-79.
4. AKL oder Shuttle-Lager? //Techn. Logist.-2019.-59, № 11-12.-С. 18-21.
5. Wieder fit für weeteres Wachstum // Techn. Logist.-2019, Прил. Neubaufibel 2020.-С. 92-95.
6. Lagerprozesse exact steuern // Techn. Logist.-2019, Прил. Neubaufibel 2020.-С. 88-91.
7. Deutsch-spanische Erfolgsgeschichte //DHF Intralogistik. [Электронный ресурс].-2019, № 10.-С. 48-49.
8. Intralogistik-Losung 4.0 //Techn. Logist.-2019. Прил. Neubaufibel 2020.-С. 26-27.
9. Schneller Zugriff für Metallhändler //Techn. Logist.-2019, Прил. Neubaufibel 2020.-С. 58-59.
10. Vier mach eins //Techn. Logist.-2019, Прил. Neubaufibel 2020.-С. 84-87.
11. Schlanker und schneller in der Cloud //Techn. Logist.-2020.-60, № 1-2.-С. 54-55.
12. Moderne Regalbediengeräte in der Druckerei //DHF Intralogistik.-2019, № 6.-С. 14-15.
13. Kontrolliert schräg //Techn. Logist.-2019, Прил. Neubaufibel 2020.-С. 24-25.
14. Horizontales Plattenhandling auf engstem Raum //Techn. Logist.-2019, № 11-12.-С. 12.

Сведения об авторе:

Тиверовский ВладимирIZEкильевич, старший научный сотрудник в Отделе информации по транспорту Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук.

Адрес: 125190 Москва, ул. Усиевича, 20.

Телефон 499-152-56-33.

E-mail: logistic@viniti.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ПЛАНИРОВАНИЮ ПЕРЕВОЗОК И ВЫГРУЗКИ КОЛЕСНОЙ И ГУСЕНИЧНОЙ ТЕХНИКИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аспиант **Горенькова В.С.**

(Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. ГУМРФ),
кандидат техн. наук, доцент **Кравец Ю.Д.**

(Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева)

TECHNOLOGY OF AN INTEGRATED APPROACH TO PLANNING TRANSPORTATION AND UNLOADING OF WHEELED AND TRACKED VEHICLES IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

V.S. Gorenkova, Post-graduate

(Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping),

Yu.D. Kravets, Ph.D. (Tech.), Associate Professor

(Military Academy of Logistics named after Army General A.V. Khrulev)

Арктическая зона РФ, планирование перевозок, погрузка и выгрузка накатных грузов, колесная и гусеничная техника, контейнеровозы, универсальные устройства крепления, универсальная сборно-разборная платформа, необорудованное побережье.

Arctic zone of the Russian Federation, the planning of transportation, loading and unloading of rolling cargo, wheeled and tracked vehicles, container ship, universal mounting devices, the universal collapsible platform, unequipped coast.

Проведенный анализ существующих условий перевозки и выгрузки колесной и гусеничной техники в Арктической зоне РФ, показал, что необходимо создание новой технологии планирования перевозок и выгрузки контейнеризованных грузов. Данная технология состоит из решения ряда задач: «Коммивояжера», расстановочной, остановочной, определения позиции распределительных центров; и использования разработанных универсальных устройств крепления и универсальной сборно-разборной платформы.

An analysis of the existing conditions of transportation, as well as methods for solving this problem showed that it is necessary to create a new technology of an integrated approach to the rational planning of transportation and unloading of containerized cargo to optimize these processes and minimize costs. This technology consists of solving a number of tasks: "Traveling salesman", positioning, stopping, determining the position of distribution centers; and the use of developed universal mounting devices and a universal collapsible platform.

Введение

Большая часть территории России относится к районам Арктики и Крайнего Севера, которые характеризуются суровыми климатическими условиями, относительно слабой заселенностью, удаленностью от экономических и культурных центров страны и отсутствием круглогодичной транспортной сети. При этом на этой территории находится большая часть естественных ресурсов и полезных ископаемых страны. Ежегодно с целью обеспечения территорий Крайнего Севера РФ основными жизненно необходимыми товарами в преддверии зимнего сезона проводится комплекс государственных мероприятий, именуемый «навигационный завоз». Кроме обеспечения населения он используется также и для снабжения военных баз.

В настоящее время требует решения вопрос, связанный с завозом продовольствия и техники в Северные регионы РФ, ведь, по подсчетам, данные регионы приносят стране до 60% национального дохода и 1/5 часть всех валютных поступлений, а обратно получают не более 10% [1].

Проведенный в ходе исследования анализ показал, что в общем объеме перевозок преобладают перевозки в межпортовом сообщении, при этом только 11% от

перечня всех пунктов завоза являются оборудованными. Учитывая данные факты и актуальность проблемы, появилась необходимость проведения исследований и разработки предложений по оптимизации рейдовой выгрузки экспедиционных судов [2].

Грузы в по заданию федеральных органов исполнительной власти (далее «федеральные грузы») перевозятся назначением в 224 пункта, большая часть из которых – небольшие и слабо оборудованные портопункты и рядовые пункты. Основную массу федеральных грузов в условиях мирного времени около, составляли грузы снабжения (около 97%).

Проведя ретроспективный анализ открытых статистических данных, было выявлено, что основную массу федеральных грузов снабжения в период 2002 – 2004 гг. составляли твердое топливо и горючее. Большая часть пунктов завоза и основной объем перевозимых грузов приходился на Тихоокеанский флот в морском сообщении. Кроме того, в номенклатуру федеральных грузов также входило продовольствие, вещевое и медицинское имущество и прочие грузы [3].

Исходя из проведенного ретроспективного анализа и опыта перевозок, в настоящее время постепенно ситуация улучшается, т.к. открываются новые пункты

завоза: база «Темп» (на острове Котельный), пункт Нагурская (на острове Земля Александры), острова Средний и Врангеля. Создана логистическая компания ООО «Оборонлогистика». Постоянно выполняются перевозки грузов оборонного значения, нарастают объемы и совершенствуются технологии погрузочно-разгрузочных работ (ПРР). При этом технологические условия выполнения перевозок предполагают выполнение большинства воинских перевозок именно в форме экспедиционного завоза. Таким образом, перечисленные выше обстоятельства определили в качестве основной арендную форму привлечения судов – фрахтование в тайм-чартер.

Вместе с тем, в общем объеме воинских перевозок преобладают именно перевозки в межпортовом сообщении, которые составляют 61,3% от объема перевозок, в то время как оборудованные порты составляют только 11,2% от перечня всех пунктов назначения. Исходя из этого, можно сделать вывод, что порт или место выгрузки являются лишь перевалочным пунктом в цепи доставки грузов [4].

Кроме того, большая часть портов и пунктов выгрузки, расположенных в Арктике, являются необорудованными (отсутствие пирса, галечный пляж и т.п.), т.е. техническое состояние пунктов завоза не удовлетворяет современным требованиям.

Огромное значение для перевозок в том числе и в Арктике сыграло внедрение технологии перевозки грузов укрупненными грузовыми единицами (УГЕ), которое потребовало строительство специализированных судов и терминалов, а также коренного изменения всей системы перевозки генеральных грузов и линейного судоходства. В связи с этим в технологии перевозки генеральных грузов в настоящее время сформировались и успешно функционируют три типа транспортно-технологических систем (ТТС), в которых может перевозиться подвижная техника (ПТ): контейнерная, Ро-Ро (накатная) и лихтеровозная системы [5].

Ввиду широко спектра выбора ПТ и ТТС ее доставки каждый ее вид имеет свои особенности при подготовке к погрузке (груз и судно) и выгрузке (контроль качества), средства крепления, технику безопасности и т.п., а также документация.

Самым распространенным способом перевозки ПТ является использование ролкерной ТТС. Но ввиду популярности контейнерной ТТС и разрабатываемых новых технологий, небольшие партии можно перевозить в контейнерах. В унифицированных контейнерах длиной 12 м (40 футов), которые оборудованы средствами крепления T-Rak и R-Rak [6], возможно перевозить в два раза большее количество легковых автомобилей, нежели в обычном контейнере, необорудованном данной системой. Лихтеровозная ТТС в таких целях используется крайне редко.

Колесную и гусеничную технику можно отнести к контейнеризованным грузам. В последнее время растет потребность доставки таких грузов на необорудованное побережье Арктической зоны РФ, но соответствующие методы и технологии по доставке данных грузов в таких условиях отсутствуют.

Обработка сухогрузных, наливных и других судов в пунктах побережья, не имеющих стационарных портовых сооружений и оборудования, а также в открытом море, называется внепортовой обработкой [7]. Для России обработка судов у побережья весьма характерна

для морских пунктов Арктики, Крайнего Севера и Дальнего Востока, а также такая обработка проводится на реках Сибири и Дальнего Востока в ходе навигационного (экспедиционного) завоза материальных средств ввиду малочисленности портов, значительного количества изолированных в транспортном отношении пунктов завоза и слабого развития или отсутствия в этих районах других видов транспорта.

В период погрузки/выгрузки ПТ в зависимости от местонахождения судна на перегрузочном рейде выделяют следующие основные способы его обработки у побережья: на рейде, у временного причала и у необорудованного берега (припая).

На выбор способа обработки судна оказывает влияние ряд факторов: местные условия, защищенность пункта от волнения, наличие приливо-отливных колебаний, характер грунта, уклоны дна и берега, ледовая обстановка, типы обрабатываемых судов, наличие и вид транспортных, перегрузочных средств и других ресурсов, а также возможности их применения в данном районе [7].

Исследованию данной проблемы посвящены труды таких специалистов, как: А.В. Кириченко, А.Л. Кузнецов, О.А. Изотов, А.Ю. Мегалинская, Н.М. Нечаева, В.Н. Щабельский, Д.Ю. Кравец, А.З. Джигоев и др.

Ряд работ посвящен определению рациональных маршрутов перевозок и минимизации затрат. А. В. Кириченко, А.Л. Кузнецов и др. в работе [8] обосновали концепцию создания транспортной системы совместного использования в Арктическом регионе РФ и предложили ее методологию и этапность. Данная методология обеспечивает рациональное использование транспортных средств (ТС) и инфраструктуры, минимизирующей совокупные затраты на выполнение перевозок.

Основные современные исследования, опубликованные в зарубежных изданиях, касаются в основном контейнерных перевозок по Северному морскому пути, а именно сравнению перевозок грузов по Северному морскому путем (СМП) с маршрутом через Суэцкий канал.

Jerome Verny и Christophe Grigentin в своем исследовании [9] подтвердили техническую и экономическую целесообразность регулярных контейнерных перевозок по СМП. Приняв типовой график между Шанхаем и Гамбургом, они проанализировали относительные затраты по различным направлениям в транспортной сети Азия-Европа, включая СМП, и пришли к выводу, что доставка через Суэцкий канал по-прежнему является наименее дорогостоящим вариантом, но СМП и Транссибирская магистраль являются примерно эквивалентными альтернативами второго уровня.

Hui Zhao, Nao Hu и Yison Lin в работе [10], посвященной исследованию сети контейнерных перевозок Китай-ЕС в контексте СМП, оценили потенциал СМП на основе проектирования многопортового многоадресного обслуживания линейного судна путем создания двухэтапной модели оптимизации. В работе определили, что ввиду значительного влияния таких факторов как ледокольный сбор, сезонность и объем груза СМП станет дополнительной линией в сети контейнерных линий в краткосрочной или среднесрочной перспективе. Авторы пришли к следующему результату: использование СМП может привести к перераспределению сети доставки и портов-хабов в долгосрочной перспективе.

Этой же теме посвящено исследование Yiru Zhang, Qiang Meng и Szu Hui Ng [11]. Авторами предлагается модель оценки прибыли для одного рейса контейнеровоза из исходного порта в порт назначения с несколькими заходами в порт и модель оценки стоимости плавания нефтяного танкера из порта отправления в порт назначения. Затем авторы сравнили эффективность доставки по СМП с маршрутом доставки из Азии в Европу через Суэцкий канал, используя разработанные модели и реальные эксплуатационные данные о доставке. Результаты показали, что отгрузка по СМП экономически не выгодна по сравнению с традиционной перевозкой контейнеров, но может быть привлекательной только для небольших или средних операторов танкеров.

Dung-Ying Lin и Yu-Ting Chang в работе [12] поднимают вопросы маршрутизации судов по СМП. Авторы предлагают общую математическую формулировку на основе пространственно-временных сетей для анализа проблемы маршрутизации движения судов и применения ее для решения проблемы планирования СМП. Для решения этой программы был предложен алгоритм разложения на основе лагранжевой релаксации, который облегчает работу сети. Полученные эмпирическим путем данные показали, что на коммерческую проходимость СМП влияют в основном следующие факторы: навигационные навыки, цена bunkerного топлива, штраф за задержку доставки и обязательство по предоставлению услуг.

В работе Hua Wang, Yiru Zhang, Qiang Meng [13] приведена количественная оценка влияния открытия СМП на маршрут Суэцкого канала с помощью модели дискретного выбора.

Исследование Taedong Lee и Hyun Jung Kim [14] направлено на определение экономических, внешних и внутренних движущих сил и препятствий (лимитирующий фактор) для плавания через СМП с точки зрения судоходных компаний.

Вместе с тем можно заметить, что указанные программные работы, как и ряд других зарубежных исследований не затрагивают напрямую вопросы планирования доставки и выгрузки колесной и гусеничной техники в Арктической зоне РФ.

Рассмотрим далее ряд современных исследований касательно способов обработки судна у побережья. В работе В.Н. Щабельского [15] к выгрузке инженерной техники с оборудованных кранами судов привлекаются рейдовые плавсредства (плашкоуты), а к выгрузке контейнерных грузов в ряде случаев используется вертолетная технология. Также выгрузка грузов снабжения осуществляется и на ледовый припай. Но у каждого из этих случаев есть свои достоинства и недостатки, которые также рассмотрены в работе.

В исследовании Д.Ю. Кравца и А.З. Джиеова [16] рассмотрены основные проблемы и мероприятия именно по выгрузке судов через припай.

В работе А.В. Кириченко [17] отмечено, что поступательное развитие технологии морских перевозок привело к скачкообразному переходу на новую систему транспортировки – контейнеры, а конвенционные (универсальные) суда для перевозки грузов в значительной мере утратили эффективность и используются реже. На смену пришли новые суда, требующие иные технологии обработки в портах и во внепортовых условиях, а также и другое оборудование. В этом случае идет речь о переходе на контейнерную и лихтерные

ТТС доставки грузов в районы Крайнего Севера. В упомянутом исследовании также подробно показаны состав этих ТТС, их преимущества и недостатки.

Достаточно подробно технологические процессы выгрузки колесной и гусеничной техники в Арктической зоне РФ раскрыты в работе Д.Ю. Кравца и А.А. Давыденко [18]. Авторами изучен многолетний опыт экспедиционного Арктического завоза для внепортовой выгрузки небольших партий груза, который предполагает три подхода: с использованием рейдовых плавсредств различной конструкции, рейдовых воздушных средств и при постановке судна на ледовый припай. В своей работе они показали, что также необходимо предусматривать оборудование временных погрузочно-выгрузочных мест вне пределов портов, которые должны быть при этом направлены на обеспечение высоких темпов перегрузочных работ. Решение данной проблемы авторы видят в использовании лихтерной ТТС и транспортно-амфибийных платформ.

Таким образом, анализ современных исследований в области доставки и выгрузки накатной техники в Арктической зоне РФ показывает, что данная тема недостаточно разработана и требует модернизации устоявшихся способов доставки и выгрузки ПТ.

Кроме того, погрузка и выгрузка ПТ на водном транспорте любым из представленных (описанных) ими методов нерациональна, т.к. габариты ПТ, необходимой в районах Крайнего Севера (в основном, это строительная техника) в ряде случаев превышают габариты контейнеров, и их выгрузка на необорудованное побережье с соответствующих судов (контейнеровозов, ролкеров, лихтеровозов) является либо невозможной, либо нерациональной (большие затраты по времени и средств на обработку одного судна – например, использование судоходно-вертолетной ТТС для завоза грузов на необорудованный берег, а также ледокольная проводка).

Целью настоящей статьи - предложить новую технологию комплексного подхода к планированию перевозок и выгрузки колесной и гусеничной техники в Арктической зоне РФ.

Методы и материалы

В течение многих лет внимание было уделено интенсивной разработке различных способов доставки груза на необорудованное побережье в Арктической зоне РФ. Многолетняя практика показала, что расстановка судов по направлениям и составление графика выступают одними из самых важных и сложных вопросов организации движения флота. Составление графика судна начинается с изучения грузопотока, пунктов захода, а также условий эксплуатации судов на данном направлении.

Проанализировав данные по пунктам завоза грузов в Арктической зоне РФ, например: пункты Баренцева и Белого морей, а также характеристику данных пунктов завоза, можно заметить, что все они являются необорудованными, что хорошо заметно при просмотре снимков со спутника. Поэтому основное требование к судам – это наличие грузовых устройств для самовыгрузки и рейдовых плавсредств (РПС).

Наиболее удобным методом определения ротации является задача «Коммивояжера», имеющая множество способов решения. Рациональное решение оптимизационной версии данной задачи возможно получить либо полным перебором, либо оптимизированным полным перебором, т.е. методом ветвей и границ.

Расчет ротации судна начинается с внесения исходных данных и построения на их основе графа и матрицы. Как только матрица расстояний по исходным данным сформирована, используя алгоритм Литтла или исключения подцикла, решается полученная матрица.

Первым делом в исходной матрице по каждой строке ищется минимальный элемент – $d_{\min}$ (1), который в последствии вписывается в отдельный столбец (d_i). Обозначить задачу многокритериальной оптимизации можно следующим образом (1):

$$d_i = \min(j) d_{ij}. \quad (1)$$

Затем выполняется редукция по строкам путем вычитания из каждого элемента строки минимального элемента (d_i), который ей соответствует. Нижняя граница будет равна (2):

$$H = \sum d_{\min}. \quad (2)$$

Аналогично проводится операция редукции по столбцам (3):

$$d_j = \min(i) d_{ij}. \quad (3)$$

Нижняя граница при этом будет равна (4):

$$H = H + \sum d_{\min}; \quad (4)$$

где « H » – это константа приведения, являющаяся нижней границей множества всех допустимых гамильтоновых контуров [19].

Сумма констант приведения в матрице определяет нижнюю границу H (5):

$$H = \sum d_i + \sum d_j \quad (5)$$

Элементы матрицы d_{ij} соответствуют расстоянию от порта i до порта j . Т.к. в матрице n портов, то матрица D является матрицей $n \times n$ с неотрицательными элементами $d_{ij} \geq 0$. Каждый возможный маршрут является циклом, согласно которому судно заходит в порт только один раз и возвращается в исходный порт.

Длину маршрута можно определить выражением (6), в котором каждая строка и столбец с элементом d_{ij} входят в маршрут только по одному разу:

$$F(Mk) = \sum d_{ij}. \quad (6)$$

В полученной после таких преобразований матрице выделяются нулевые клетки и находятся оценки (степени) для этих клеток, т.е. в строке нулевой клетки ищется минимальное число, сама нулевая клетка не учитывается (ее временно заменяют на знак « ∞ » или « M »), аналогично ищется минимум и в столбце нулевой клетки, полученные цифры по строке и столбцу суммируются – это оценка. Оценка записывается в скобках рядом с нулем в нулевой клетке. Аналогично вычисляются оценки для всех остальных нулевых клеток [19].

Среди полученных оценок нулевых клеток находят дугу (i, j), в которой нулевая клетка имеет максимальную оценку. После этого множество всех гамильтоновых контуров разбивается на два подмножества, в которых содержится дуга (i, j) и не содержится дуга (i^*, j^*). Чтобы получить матрицу контуров, где включена дуга (i, j), выполняется редукция матрицы, т.е. вычеркивается строка i и столбец j . При этом во избежание образо-

вания негаметтонова контура симметричный элемент (i, j) заменяется на знак « ∞ » или « M ». Таким образом, исключение дуги достигается заменой этих элементов в матрице на знак « ∞ ». Снова выполняется редукция по строкам и столбцам и поиск констант приведения $H(i, j)$ и $H(i^*, j^*)$ с целью приведения матрицы гамильтоновых контуров. Найдя константы, сравниваются нижние границы каждого из подмножеств $H(i, j)$ и $H(i^*, j^*)$: в случае, когда $H(i, j) < H(i^*, j^*)$, то множество (i, j) подлежит дальнейшему ветвлению, в противном случае множество (i^*, j^*) подлежит разбиению [19]. Данный алгоритм выполняется до тех пор пока не получится матрица 2×2 , после решения которой будет найден наилучший вариант ротации судна.

В Арктической зоне РФ процесс погрузки/выгрузки, в основном, осуществляется на рейде, поэтому для доставки грузов с судна на берег или обратно используются различные виды рейдовых ТС: плавучие, амфибийные и воздушные.

Контактный способ передачи грузов является самым быстрым и удобным при стоянке на тихой воде. Но при обработке судна на рейде из-за сложности использования даже при небольшом волнении средства внутри-трюмной механизации не применяются. Поэтому вторая задача, для оптимизации процесса перевозки и доставки грузов в Арктической зоне РФ – расстановочная задача.

Расстановка РПС у борта зависит от наличия волнения на рейде, при котором РПС швартуются с подветренного борта судна: на каждый люк по одному РПС; при достаточной длине РПС – на два смежных люка; при отсутствии волнения на рейде – с обоих бортов судна в шахматном порядке.

С учетом местных условий, наличия РПС, типа и конструктивных особенностей судна, а также вида перегружаемых грузов определяется организация и технология обработки судна на рейде. На основании технологической схемы перегрузки грузов рассчитывается количество РПС, необходимое для обработки судна.

Третьим этапом расчетов является совместное решение в интересах грузовладельца двух взаимоувязанных задач – остановочной (распределительной) и определения позиции распределительных центров, которое становится необходимым исходя из анализа особенностей функционирования больших и особо больших транспортных систем. Обычная последовательность действий, направленных на подготовку исходных данных и машинное решение оптимизационной задачи, определяемой моделью, представляет собой методику определения качественных показателей производственного процесса ЛТС.

Вместе с тем, задаваемые в качестве исходных данных значения объемов перевозок в функциональные периоды, определяющие соответствующие их порционность и ритмичность, обуславливаются потребностями грузополучателей и взаимозависят как от общих возможностей транспорта, так и от возможностей грузоотправителя и грузополучателя по временному хранению груза.

Таким образом, требуется определение общей технологии производственного процесса ЛТС, взаимоувязывающей потребности грузополучателей, а также технологии перевозки, грузопереработки и хранения [20].

Кроме указанных выше задач новая технология комплексного подхода к планированию перевозок и вы-

грузки колесной и гусеничной техники в Арктической зоне РФ также будет включать в себя универсальные средства крепления ПТ и универсальную сборно-разборную платформу для их перевозки.

Результаты

Пусть завоз будет осуществляться круговым рейсом из Архангельска, с пополнением запасов и дозагрузкой в Мурманске, в ротацию будут включены следующие пп. Баренцева и Белого моря: м. Святой Нос, Нарьян-Мар, Н. Золотица, Мезень, Шойна, Н. Пеша. В таблице 1 представлены исходные данные, построенные в матрицу для расчетов (где 1 – Архангельск, 2 – Нарьян-Мар, 3 – Н. Золотица, 4 – Мезень, 5 – Шойна, 6 – Н. Пеша, 8 – Индига, 9 – Амдерма, 10 – м. Святой Нос, 11 – Грибовая, 12 – Белушья, 13 – Рогачево, 14 – Мурманск).

Таблица 1

Матрица исходных данных для метода определения ротации судна

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	678	86	230	246	492	445	712	258	422	543	562	442
2	678	0	589	575	454	390	313	301	480	255	280	285	608
3	86	589	0	150	159	398	284	625	178	347	456	462	368
4	230	575	150	0	124	350	337	612	177	317	428	435	372
5	246	454	159	124	0	224	177	478	102	200	312	318	278
6	492	390	398	350	224	0	106	443	288	143	340	346	438
7	445	313	284	337	177	106	0	380	240	78	272	277	397
8	712	301	625	612	478	443	380	0	515	305	253	259	644
9	258	480	178	177	102	288	240	515	0	232	336	342	188
10	422	255	347	317	200	143	78	305	232	0	187	192	382
11	543	280	456	428	312	340	272	253	336	187	0	19	436
12	562	285	462	435	318	346	277	259	342	192	19	0	441
13	442	608	368	372	278	438	397	644	188	382	436	441	0

В качестве произвольного маршрута возьмем маршрут 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 (Архангельск → Нарьян-Мар → Н. Золотица → Мезень → Шойна → Н. Пеша → Индига → Амдерма → м. Святой Нос → Грибовая → Белушья → Рогачево → Мурманск → Архангельск):

$$X_0 = (1,2);(2,3);(3,4);(4,5);(5,6);(6,7);(7,8);(8,9);(9,10);(10,11);(11,12);(12,13)$$

тогда:

$$F(X_0) = 678 + 589 + 150 + 124 + 224 + 106 + 380 + 515 + 232 + 187 + 19 + 441 + 442 = 4087 (\text{мор.мили})$$

После решения задачи «коммивояжера», выполнив алгоритм Литтла 16 раз (дважды возвращаясь к исходному плану), и после решения матрицы 2×2 был получен наилучший вариант ротации судна (рис. 1).

Таким образом, по сравнению с произвольным маршрутом длиной в 4087 мор. мили мы нашли наилучший маршрут ротации судна равный 2668 мор. миль, что в 1,5 раза меньше по сравнению с произвольным. Данный метод позволяет значительно сократить не только время фрахтователя, но и ресурсы, позволив тем самым сделать большее количество рейсов.

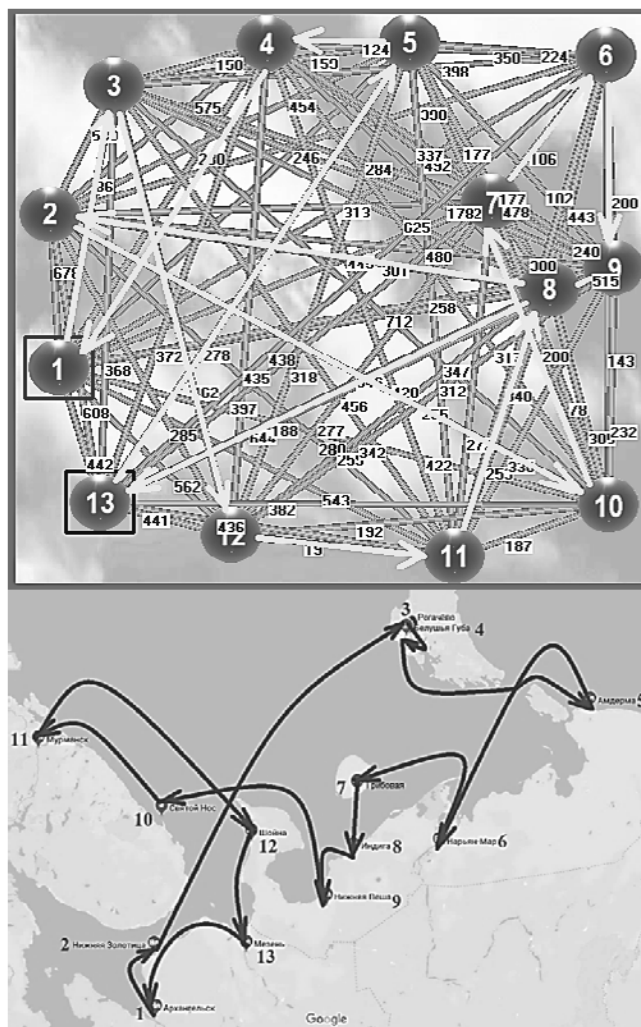


Рис. 1. Сетевой граф и маршрут судна по решению задачи коммивояжера

Для того чтобы в заданные сроки развести заданные объёмы груза по заданным направлениям (используется базово-кустовая транспортно-логистическая система) была разработана общая математическая модель, применяемая для каждого пункта выгрузки.

Ключевая цель – постановка и решение поставленных задач в интересах грузовладельца.

Для достижения цели прибегнем к линейному программированию. Во-первых, сформируем систему условных обозначений, которая делится на три составляющих: признаки, показатели, переменные. Во-вторых, сформируем математическую систему задач (формулы). В-третьих, решаем данную матрицу и интерпретируем машинное решение на русский язык.

Цель такого моделирования – комплексное описание процесса в производственной деятельности локальной транспортной системы для решения оптимизационной задачи по выбору ТС, форм их привлечения, технология перевозки грузов различных номенклатур и распределительных центров, расстановки ТС на маршрутах между центрами с учетом их согласованного взаимодействия, обеспечивающего как выполнение объемов перевозок в заданные сроки, так и минимизации потерь провозной и пропускной способности ее элементов.

Перейдем непосредственно к построению самой модели. В таблице 2 приведена система условных обозначений.

Система условных обозначений

ПРИЗНАКИ		ПОКАЗАТЕЛИ		ПЕРЕМЕННЫЕ	
s	ТС	Q	заданный объем перевозки, т	r	кол-во круговых рейсов, обрабатываемых ТС, ед.
		D _s	грузоподъемность ТС, т		
p	пункт завоза	α	коэффициент использования грузоподъемности, дес. дробь	t ^{ПР}	время простоя ТС, сут.
		t _p	время кругового рейса, обрабатываемого ТС, сут.		
g	номенклатура груза	T ^{ПЕР}	заданный период выполнения перевозки, сут.	n ^{ОТП}	кол-во отправок необрабатываемых ТС, ед.
		R	возможное кол-во рейсов обрабатываемого ТС, ед.		
h	технологии перевозки	N ^{ОТП}	возможное кол-во отправок необрабатываемых ТС, ед.	n	наличие ТС в альтернативной форме привлечения, ед.
f	форма привлечения ТС (f = 1 – арендная; f = 2 – рейсовая)	Φ	стоимость кругового рейса обрабатываемого ТС, руб./рейс		
		Φ ^{ОТП}	стоимость отправки необрабатываемого ТС, руб./отправку		
		Φ ^{ПР}	стоимость суток простоя ТС, руб./сут.		

Математическая модель расстановочной задачи принимает следующий вид (7 – 16):

1) Заданное количество груза, которое должно быть перевезено:

$$\sum_s \sum_f \sum_h D_{sp f g h} \cdot \alpha_{s g h} \cdot r_{sp f g h} + \sum_s \sum_h D_{sp f g h} \cdot \alpha_{s g h} \cdot n_{sp g h}^{ОТП} \geq Q_{pg} \cdot (7)$$

2) Бюджет времени ТС, который необходимо выдержать:

$$\sum_p \sum_f \sum_g \sum_h t_{sp f=1 g h}^P \cdot r_{sp f g h} + t_{s f=1}^{ПР} = T_s^{ПЕР} \cdot n_{s f=1}, \quad (8)$$

$$\sum_p \sum_f \sum_g \sum_h t_{sp f=2 g h}^P \cdot r_{sp f g h} \leq T_s^{ПЕР} \cdot n_{s f=2}. \quad (9)$$

3) Обрабатываемые ТС должны быть привлечены на альтернативной основе:

$$n_{s f=1} + n_{s f=2} \geq 1; \quad (10)$$

$$n_{s f} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}. \quad (11)$$

4) Возможности ТС не должны быть превышены:

$$r_{sp f g h} \leq R_{sp g h}, \quad (12)$$

$$n_{sp g h}^{ОТП} \leq N_{sp g h}^{ОТП}. \quad (13)$$

5) Физический смысл переменных: неотрицательность и целочисленность:

$$r_{sp f g h} \geq 0, n_{sp g h}^{ОТП} \geq 0, t_{s f=1 g h}^{ПР} \geq 0, \quad (14)$$

$$r_{sp f g h} \in Z, n_{sp g h}^{ОТП} \in Z. \quad (15)$$

6) Целевая функция модели минимизирует общие расходы на выполнение перевозки:

$$\sum_s \sum_p \sum_f \sum_g \sum_h \Phi_{sp f g h} \cdot r_{sp f g h} + \sum_s \sum_p \sum_g \sum_h \Phi_{sp g h}^{ОТП} \cdot n_{sp g h}^{ОТП} + \sum_s \Phi_{s f=1}^{ПР} \cdot t_{s f=1}^{ПР} \rightarrow \min \quad (16)$$

Приведенная модель была решена с помощью современной версии MS Excel методами смешанного целочисленного линейного программирования. Полученное значение представляет собой количественные показатели производственного процесса ЛТС.

Для рационального использования специализированного флота с учетом указанных выше задач и эксплуатации его в Арктической зоне РФ разрабатывается ряд устройств (моделей), а именно: универсальные устройства крепления для ПТ и универсальная сборно-разборная платформа для ПТ.

Первая модель относится к области транспортного оборудования, а именно к обеспечению ускоренной погрузки/выгрузки ПТ в ячеистый контейнеровоз или лихтеровоз и для дальнейшей их транспортировки.

Модель представляет собой сборно-разборную конструкцию из трех элементов по габаритным размерам и своему типу напоминающую контейнер «Flat Rack» или его усовершенствованную версию «Special Rack», но отличную от него.

Данная конструкция состоит из ряда элементов, которые могут использоваться как вместе, так и по отдельности, а именно: настила – фитинговой платформы (пол-решетка) и наращиваемых по высоте сборно-разборных стоек двух видов.

Такая сборно-разборная модель легко и быстро собирается и разбирается, а также за счет своей конструкции имеет массу, меньшую, чем контейнер Flat Rack» (а также «Special Rack»), обеспечивая при этом ту же грузоподъемность.

Элемент настила, предназначенный для того, чтобы служить несущей поверхностью на площадке или платформе грузового ТС. Одним из возможных вариантов практического использования настила в соответствии с предлагаемой полезной моделью являются суда, не предназначенные для перевозки автомобилей различного назначения.

Элемент настила, служащий несущей поверхностью для таких грузов, как колесная и гусеничная техника, отличающийся тем, что он образован конструкцией из металлической рамы и встроенного в нее пола-решетки, выполненного в форме «пчелиных сот», т.е. совокупности правильных шестиугольников с внутренними углами в 120 градусов. Такие шестиугольники замощивают

(заполняют) плоскость, поэтому выполнение прямоугольного настила и пола-решетки будет выполняться без пробелов и наложений. Кроме того, данное соединение является довольно прочным и равномерно распределяет нагрузку по всей своей площади.

Фитинговая пол-решетка имеет следующие габаритные размеры: ширина (В) – 2438 мм и длина (L) – 12192 мм и представляет собой прямоугольный металлический каркас, внутреннее пространство которого заполнено металлическими направляющими, жестко соединенными между собой, образующими шестиугольные ячейки каркаса пола-решетки, в которые будут вставляться универсальные устройства для крепления колесной и гусеничной техники (упоры и рымы). По краям данной решетки имеются отверстия под угловые фитинги, в которые вставляются наращиваемые по высоте сборно-разборные стойки и фиксируются ручными замками поворотного типа для крепления контейнеров – твистлоками.

Вторая часть модели – наращиваемые по высоте сборно-разборные стойки. По конструкции данные стойки представляют собой полый параллелепипед с предусмотренными фитинговыми отверстиями по краям и равномерно распределенными по всей длине стоек, для того чтобы их можно было закрепить на фитинговом полу-решетке и между собой.

Сборно-разборные стойки должны наращиваться по высоте. Стойки бывают двух видов, отличающихся между собой площадью сечения параллелепипеда и высотой. Одна из стоек длиной в 2591 мм имеет большую площадь сечения параллелепипеда, а вторая длиной в 1300 мм площадь на порядок меньше. Это предусмотрено для того, чтобы одну стойку вставить в другую и закрепить их между собой через фитинговые отверстия твистлоками.

На рис. 2 представлена разрабатываемая модель, визуализированная в пространственном представлении. Данная модель является универсальной сборно-разборной платформой для ПТ.

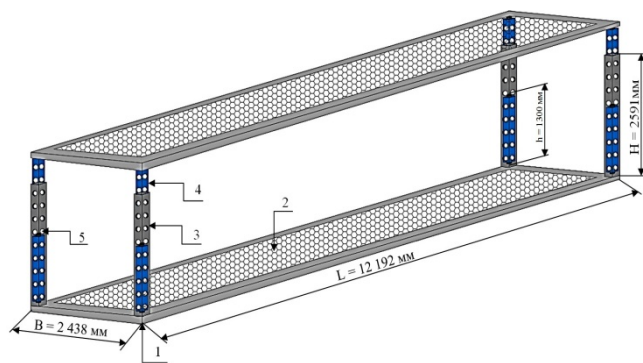


Рис. 2. Универсальная сборно-разборная платформа для ПТ
1 – угловой фитинг, 2 – нижняя рама с полом-решеткой,
3 – сборно-разборная стойка первого типа (с большей площадью сечения, высотой 2591 мм), 4 – сборно-разборная стойка второго типа (с меньшей площадью сечения, высотой 1300 мм), 5 – фитинговые отверстия на стойках для их крепления твистлоками.

На рис. 3 показано, как данная платформа будет располагаться в ячейке контейнеровоза и как на ней можно разместить ПТ.

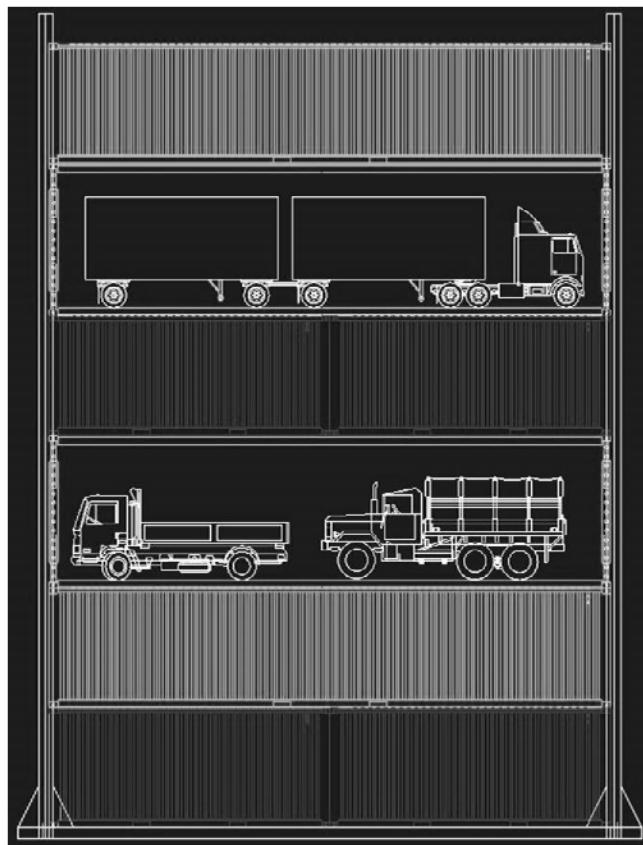


Рис. 3. Пример расположения ПТ на универсальной сборно-разборной платформе в контейнеровозе

Вторая и третья разрабатываемые модели относятся к средствам крепления ПТ (универсальные крепления колесной и гусеничной техники – рым и упоры). В их основании – правильный шестиугольник, который будет крепиться к фитинговому полу-решетке. Данные устройства позволят перевозить ПТ в трюмах специализированных судов, а благодаря своей конструкции погрузочно-разгрузочные работы (ПРР) будут выполняться палубными кранами.

Обсуждение

В статье предложена новая технология рационального планирования перевозок и выгрузки контейнеризованных грузов в Арктической зоне РФ, которая позволит использовать специализированный флот (контейнеровозы) для обеспечения северных районов РФ необходимыми грузами и осуществлять погрузочно-разгрузочные операции с этими грузами на необорудованном побережье.

В рамках этой технологии решаются такие задачи, как «коммивояжера», расстановочная, остановочная, определения размещения распределительных центров; также разработаны новые универсальные средства крепления для ПТ и универсальная сборно-разборная платформа.

Решенные задачи составляют основу для новой технологии комплексного подхода к планированию перевозок и выгрузки колесной и гусеничной техники в Арктической зоне РФ, универсальные средства крепления ПТ и универсальная сборно-разборная платформа для их перевозки является средством реализации этой технологии и использования специализированного флота.

Перевозка накатных грузов таким способом внутри контейнеровоза играет огромную роль как для гражданских, так и для военных перевозок.

Во-первых, перевозка различных видов ПТ без ограничения размеров (т.к. если техника будет превышать габаритные размеры одной универсальной сборно-разборной платформы для ПТ, то ее можно будет разместить поперек, установив на несколько смежных друг с другом платформ, расположенных в соседних бзях (ячейках)).

Во-вторых, расположенная внутри контейнеровоза техника будет защищена от неблагоприятных погодных условий.

В-третьих, значительно сократится время ППР, т.к. такие платформы могут выгружаться установленными на судне кранами.

В-четвертых, в виду того, что данная универсальная платформа является сборно-разборной, можно менять ее высоту под груз, тем самым номенклатура перевозимых грузов расширяется.

И, в-пятых, разрабатываемые модели могут быть использованы, как в оборудованных, так и в необорудованных портах и портопунктах.

Заключение

Оптимизация технологических процессов при рейдовой выгрузке судна позволяет сократить время фрахтователя и ускорить процесс выгрузки судна.

Предложено две возможности для оптимизации – оптимизация рейсовых заданий и оптимизация технологических процессов при рейдовой выгрузке судна, что позволяет сэкономить, в первую очередь, время, т.к. суда, эксплуатируемые для данных целей в районах Арктики, находятся в арендной форме привлечения.

Разработаны новые универсальные средства крепления и универсальная сборно-разборная платформа для перевозки и выгрузки ПТ в Арктической зоне РФ, позволяющие сократить затраты и время на погрузочно-разгрузочные операции в необорудованных портах и портопунктах.

Таким образом, с помощью таких моделей можно будет выгружать ПТ на необорудованное побережье, используя погрузочно-разгрузочные средства судна (geared vessel). Кроме того, данная технология позволит задействовать большее количество судов для обеспечения Крайнего Севера РФ, при том, что на строительство таких платформ требуется намного меньше капиталовложений, чем на строительство таких технических средств, как лихтер.

Литература

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики (Росстат): <http://www.gks.ru>. Дата обращения: 25.02.2020 г.
2. Официальный Интернет-ресурс Министерства транспорта Российской Федерации: <https://www.mintrans.ru>. Дата обращения: 05.03.2020 г.
3. Официальный сайт Министерства обороны РФ: <http://mil.ru>. Дата обращения: 17.02.2020 г.
4. Официальный сайт ФГБУ «Администрация морских портов Западной Арктики»: <http://www.mapm.ru/Administration/SeaPorts>. Дата обращения: 27.02.2020 г.

5. Морские контейнерные перевозки [Текст]: монография / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, О. В. Соляков, А. Д. Семёнов. – М.: МОРКНИГА, 2019. – 413 с.

6. Нечаева Маргарита Николаевна. Организация перевозки легковых автомобилей в контейнерах повышенной вместимости на основе логистических принципов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.08 / Нечаева Маргарита Николаевна; [Место защиты: Московский государственный университет путей сообщения]. – Москва, 2015. – 181с.

7. Кириченко, А.В., Изотов, О.А., Мегалинская, А.Ю. Организация и технология внепортовой обработки судов [Текст]: учеб. пособие / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Кириченко. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. – 208 с.

8. Давыденко А.А., Кириченко А.В., Кузнецов А.Л. Обоснование концепции создания транспортной системы совместного использования в Арктическом регионе Российской Федерации // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. №3 (31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-kontseptsii-sozdaniya-transportnoy-sistemy-sovmestnogo-ispolzovaniya-v-arkticheskom-regione-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 12.02.2020).

9. Jerome Verny, Christophe Grigentin. Container shipping on the Northern Sea Route. International Journal of Production Economics, Volume 122, Issue 1, November 2009, Pages 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.03.018>.

10. Hui Zhao, Hao Hu, Yison Lin. Study on China-EU container shipping network in the context of Northern Sea Route. Journal of Transport Geography, Volume 53, May 2016, Pages 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.01.013>.

11. Yiru Zhang, Qiang Meng, Szu Hui Ng. Shipping efficiency comparison between Northern Sea Route and the conventional Asia-Europe shipping route via Suez Canal. Journal of Transport Geography, Volume 57, December 2016, Pages 241-249. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.09.008>.

12. Dung-Ying Lin, Yu-Ting Chang. Ship routing and freight assignment problem for liner shipping: Application to the Northern Sea Route planning problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 110, February 2018, Pages 47-70. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.12.003>.

13. Hua Wang, Yiru Zhang, Qiang Meng. How will the opening of the Northern Sea Route influence the Suez Canal Route? An empirical analysis with discrete choice models. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 107, January 2018, Pages 75-89. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.11.010>.

14. Taedong Lee, Hyun Jung Kim. Barriers of voyaging on the Northern Sea Route: A perspective from shipping Companies. Marine Policy, Volume 62, December 2015, Pages 264-270. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.09.006>.

15. Щабельский В.Н. Особенности доставки грузов снабжения в районы Арктики и Крайнего Севера // Санкт-Петербургский морской форум – 2019: Материалы 2-ой Международная научно-практическая конференция 18 апреля 2019 г. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2019. – С. 83 – 90.

16. Кравец Ю. Д., Джиоев А. З. Организация погрузочно-разгрузочных работ в условиях Арктики и Крайнего Севера // Санкт-Петербургский морской форум – 2019: Материалы 2-ой Международная научно-практическая конференция 18 апреля 2019 г. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2019. – С. 97 – 100.
17. Кириченко А. В. Перспективы и технологии использования СМП // Санкт-Петербургский морской форум – 2019: Материалы 2-ой Международная научно-практическая конференция 18 апреля 2019 г. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2019. – С. 48 – 70.
18. Кравец Ю. Д., Давыденко А. А. Организация перевозки колесной, гусеничной техники и грузов снабжения по Северному морскому пути (по опыту Министерства обороны Российской Федерации) // Порто-ориентированная логистика – 2018: Материалы 2-й Международной научно-практической конференции. 1–2 ноября 2018 г. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2018. – С. 116 – 122.
19. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Структуры данных и алгоритмы. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2016.
20. Перевозка экспортно-импортных грузов. Организация логистических систем. 2-е изд., доп. и перераб. / Под ред. А. В. Кириченко. – СПб.: Питер, 2004. – 506 с.: ил.

Сведения об авторах:

Горенькова Виктория Сергеевна, аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»,
198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская 5/7.
E-mail: kitti199523@mail.ru.

Кравец Юрий Дмитриевич – доцент, Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Военная орден Кутузова и Ленина академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации,
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова 8.
E-mail: yurakravets1977@mail.ru.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МАЯКА ДЛЯ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Доктор физико-математических наук, профессор **Голев И.М.**

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»),

кандидат физ.-мат. наук **Заенцева Т.И.**

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»),

кандидат физ.-мат. наук **Угрюмов Р.Б.**

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»),

Желонкин М.В.

(Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет). Филиал «Стрела»),

кандидат техн. наук **Попов А.С.**

(Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»)

CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF A BEACON FOR MAGNETIC POSITIONING SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

I.M. Golev, Doctor (Physics & Math.), Professor

(Military Educational and Scientific Center of the Air Force
“N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy”),

T.I. Zaentseva, Ph.D. (Physics & Math.)

(Military Educational and Scientific Center of the Air Force
“N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy”),

R.B. Ugryumov, Ph.D. (Physics & Math.)

(Military Educational and Scientific Center of the Air Force
“N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy”),

M.V. Zhelonkin

(Branch "Arrow", Moscow Aviation Institute),

A.S. Popov, Ph.D. (Tech.)

(Military Educational and Scientific Center of the Air Force
“N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy”)

Навигация по магнитному полю, беспилотный летательный аппарат, компоненты индукции магнитного поля, магнитный момент, ферромагнитные материалы, индукция насыщения.

Magnetic field navigation, unmanned aerial vehicle, magnetic field induction components, magnetic moment, ferro-magnetic materials, saturation induction.

Рассматривается пространственное распределение магнитного поля навигационной системы. Показано, что в ближней зоне излучения распределение магнитного поля близко к сферическому, компоненты вектора магнитной индукции и их начальные фазы однозначно определяют линейные координаты и углы поворота беспилотного летательного аппарата относительно маяка. Экспериментальные исследования макета соленоида подтвердили правильность проведенного анализа параметров магнитной системы, отличие экспериментальных результатов от расчетных не превышает 10 %.

The spatial distribution of the magnetic field of the navigation system is considered. It is shown that in the near radiation zone, the distribution of the magnetic field is close to the spherical one, the components of the magnetic induction vector and their initial phases uniquely determine the linear coordinates and rotation angles of the UAV relative to the beacon. Experimental studies of the solenoid layout confirmed the correctness of the analysis of the parameters of the magnetic system, the difference between the experimental results and the calculated ones does not exceed 10 %.

Введение. Известны магнитометрические системы навигации с использования низкочастотного переменного магнитного поля, несущего навигационную информацию. В силу свойств магнитного поля такие системы не подвержены влиянию со стороны естественной среды (природно-климатических явлений), искусственных слабо проводящих преград. Работоспособность может сохраняться при воздействии природных и искусственно созданных помех [1, 2]. Магнитометрические системы навигации включают в себя источник переменного магнитного поля и трехкоординатный магнитометрический датчик, расположенный на беспилотном летательном аппарате. Параметры такой системы, дальность действия, точность определения линейных и угловых координат, решающим образом определяются техническими характеристиками источника переменного магнитного поля (магнитного маяка (ММ)) и трехкоординатного приемника, измеряющего в требуемой точке пространства компоненты вектора индукции магнитного поля [3].

Актуальность. Определение координат текущего местоположения в настоящее время является актуальной задачей практически для всех подвижных объектов: космических аппаратов, летательных аппаратов, надводных кораблей, подводных лодок и, конечно, беспилотных летательных аппаратов, которые в настоящее время являются технико-технологическим базисом военных и гражданских систем. Происходит непрерывное возрастание требований к навигационным системам – повышение точности решения навигационной задачи, надежности их работы, снижения массогабаритных параметров и потребляемой мощности. Уделяется большое внимание устойчивости навигационных устройств к преднамеренным и естественным помехам, к различным природно-климатическим условиям.

В работе рассматриваются технические характеристики источника сильных переменных магнитных полей и факторы, их определяющие.

Пространственное распределение поля магнитного маяка. Магнитное поле маяка может создаваться разными способами: с помощью одного соленоида, по которому протекает постоянный или переменный ток, с помощью нескольких соленоидов, расположенных под углом друг к другу [4-6]. В зависимости от конструкции маяка, поле может быть постоянным или меняться по заданному закону.

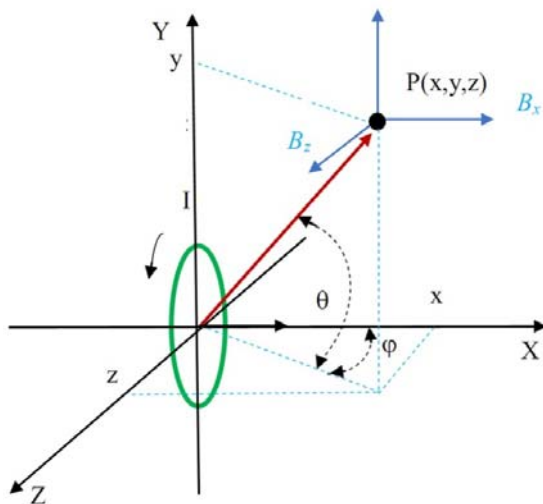


Рис. 1. Проводящая рамка с током I в экваториальной сферической системе координат

Простейшая модель магнитного маяка — это модель диполя - проводящая рамка площадью S по которой течет ток величиной I , размером которой можно пренебречь по сравнению с расстоянием до точки наблюдения (рис. 1).

Компоненты магнитного поля B_x , B_y и B_z , создаваемые проводящей рамкой в точке $P(x, y, z)$, будут равны

$$B_x = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{(2x^2 - y^2 - z^2)}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3 \cos^2 \Theta \cdot \cos^2 \varphi - 1}{r^3}, \quad (1)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3xy}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3 \sin \Theta \cdot \cos \Theta \cdot \cos \varphi}{r^3}, \quad (2)$$

$$B_z = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3xz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3 \cos^2 \Theta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{r^3}, \quad (3)$$

где μ_0 — магнитная постоянная; $\vec{M} = IS\vec{n}$ — магнитный момент рамки с током; $\vec{n}$ — единичный вектор, перпендикулярный плоскости рамки; $x = r \cdot \cos \Theta \cdot \cos \varphi$, $z = r \cdot \cos \Theta \cdot \sin \varphi$, $y = r \cdot \sin \Theta$.

При $\varphi = 0$ ($z = 0$) формулы (1)-(3) примут вид:

$$B_x = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{(2x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^{5/2}} = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3 \cos^2 \Theta - 1}{r^3},$$

$$B_y = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3xy}{(x^2 + y^2)^{5/2}} = \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3 \cos \Theta \cdot \sin \Theta}{r^3},$$

$$B_z = 0.$$

Модуль напряженности магнитной индукции в точке $P(x, y, z)$ в этом случае равен:

$$B_m = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} = \frac{\mu_0 M}{4\pi r^3} \cdot \sqrt{1 + 3 \cos^2 \Theta}. \quad (4)$$

Большое значение для практического использования магнитного поля имеет его распределение в пространстве. Диаграммы распределения проекций вектора индукции магнитного поля $\vec{B}$ на оси X и Y представлены на рис. 2. Видно, что направления этих векторов, отмеченные на диаграмме стрелками, меняются в зависимости от угла Θ .

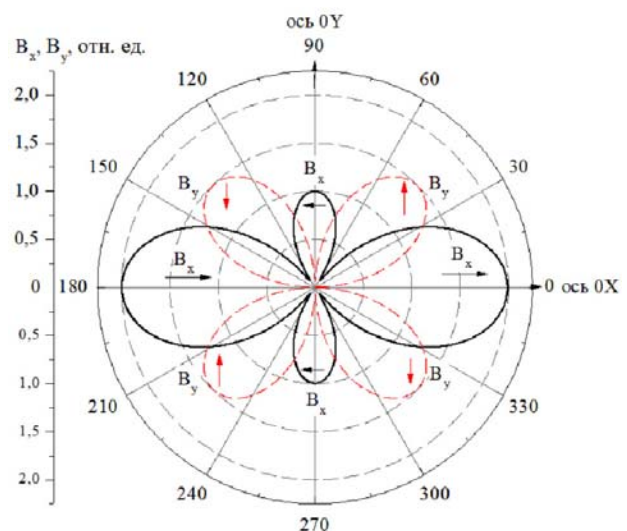


Рис. 2. Пространственное распределение компонент B_x и B_y магнитного поля рамки с током в зависимости от угла θ ($\theta \in [0, 360^\circ]$)

Отметим, что модуль индукции B_m распределен симметрично относительно оси ОУ (рис. 3).

В системах навигации применяется магнитное поле, созданное двумя взаимно ортогональными катушками (рис. 4), по которым протекают переменные токи, имеющие сдвиг фазы 90° : $I_x = I_0 \cos \omega t$ и $I_z = I_0 \sin \omega t$ соответственно. Нормали к виткам 1 и 2 направлены вдоль осей ОХ и ОZ.

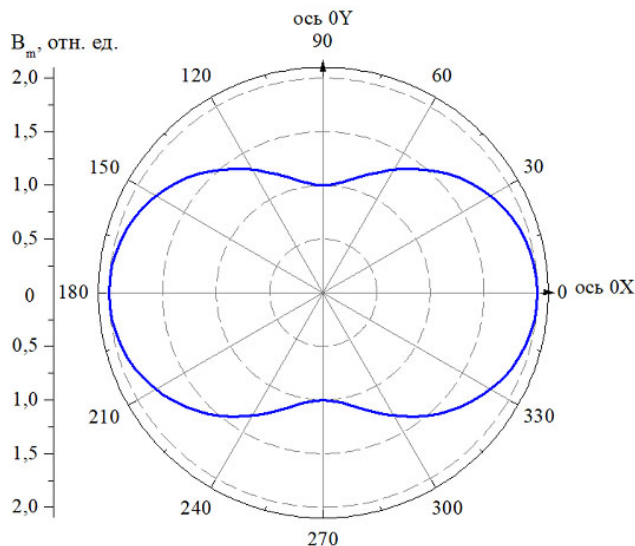


Рис. 3. Распределение в пространстве модуля индукции $B_m(x, y)$ магнитного диполя при $\varphi=0$

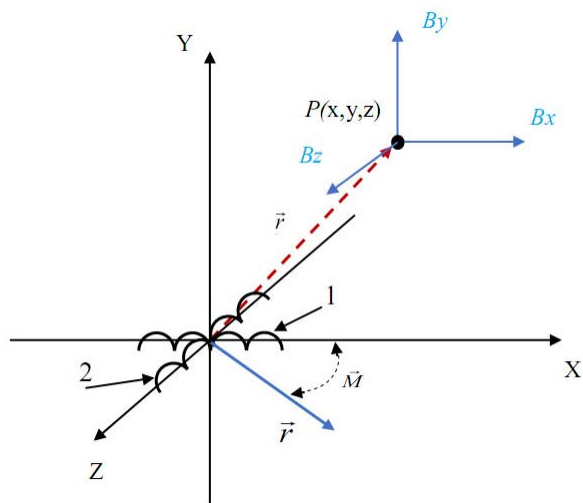


Рис. 4. Две взаимно ортогональные катушки 1 и 2 с токами $I_x = I_0 \cos \omega t$ и $I_z = I_0 \sin \omega t$ соответственно

В пространстве вокруг катушек, назовем их магнитным маяком (ММ), возникает так называемое вращающееся магнитное поле. Оно является квазистационарным магнитным полем, меняющимся во времени в каждой точке пространства по гармоническому закону. В любой точке пространства амплитуды и начальные фазы постоянны во времени и зависят только от координат точки $P(x, y, z)$. По сути, эта физическая ситуация эквивалентна вращению магнитного диполя вокруг своей меньшей оси симметрии с частотой ω .

Важно отметить, что поле ММ обладает осевой симметрией, модуль магнитного момента системы $|\vec{M}|$ не зависит от азимутальной координаты φ . Распределение

поля в пространстве представляет объем, полученный поворотом графика $B_m(x, y)$, представленный на рис. 3, вокруг оси ОУ. Такое магнитное поле является оптимальным для решения навигационных задач.

Магнитная индукция в точке наблюдения определяется выражением [7]:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{3(\vec{M}, \vec{r}) \cdot \vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{M}}{r^3} \right], \quad (5)$$

где $\vec{M} \{M \cos \omega t, 0, M \sin \omega t\}$ - магнитный момент магнитного маяка, вращающийся в плоскости ОХZ с угловой скоростью ω .

Компоненты вектора магнитной индукции в системе координат, связанной с маяком, имеют вид:

$$\begin{aligned} B_x(t) &= \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left(\frac{3(x \cdot \cos \omega t + z \cdot \sin \omega t) \cdot x}{r^5} - \frac{\cos \omega t}{r^3} \right) = \\ &= B_{ox} \cos(\omega t - \varphi_{ox}), \\ B_y(t) &= \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3(x \cdot \cos \omega t + z \cdot \sin \omega t) \cdot y}{r^5} = \\ &= B_{oy} \cos(\omega t - \varphi_{oy}), \\ B_z(t) &= \frac{\mu_0 M}{4\pi} \left(\frac{3(x \cdot \cos \omega t + z \cdot \sin \omega t) \cdot z}{r^5} - \frac{\sin \omega t}{r^3} \right) = \\ &= B_{oz} \cos(\omega t - \varphi_{oz}), \end{aligned} \quad (6)$$

где r - модуль радиуса-вектора, (x, y, z) - линейные координаты точки наблюдения,

B_{ox}, B_{oy}, B_{oz} - амплитуды компонент вектора $\vec{B}$, $\varphi_{ox}, \varphi_{oy}, \varphi_{oz}$ - начальные фазы.

Амплитуды этих компонент могут быть определены как

$$\begin{aligned} B_{ox} &= \frac{\mu_0 M}{4\pi} \frac{\sqrt{(2x^2 - y^2 - z^2)^2 + 9x^2 z^2}}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}}, \\ B_{oy} &= \frac{\mu_0 M}{4\pi} \cdot \frac{3\sqrt{x^2 y^2 + z^2 y^2}}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}}, \\ B_{oz} &= \frac{\mu_0 M}{4\pi} \frac{\sqrt{(2z^2 - x^2 - y^2)^2 + 9x^2 z^2}}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Начальные фазы компонент относительно тока $I_x = I_0 \cos \omega t$ в соленоиде 1 (рис. 4) определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\varphi_{ox}) &= \frac{3xz}{2x^2 - y^2 - z^2}, \\ \operatorname{tg}(\varphi_{oy}) &= \frac{z}{x}, \\ \operatorname{tg}(\varphi_{oz}) &= \frac{2z^2 - x^2 - y^2}{3xz}. \end{aligned} \quad (8)$$

Из формул следует, что каждая из трех компонент поля имеет различные амплитуды (B_{ox}, B_{oy}, B_{oz}) и фазы ($\varphi_{ox}, \varphi_{oy}, \varphi_{oz}$) в зависимости от координат x, y и z , измерение которых позволяет определить линейные коор-

динаты (x, y, z) и углы поворота датчика относительно маяка.

Приведенные выше рассуждения справедливы для ближней зоны излучения магнитного маяка, когда амплитуда магнитного поля пропорциональна $\frac{1}{r^3}$. Критерием ближней зоны, как известно [8], является соотношение

$$r \leq \frac{\lambda}{2\pi}, \quad (9)$$

где λ – длина волны излучения. В нашем случае, при использовании частот $10^2 - 10^4$ Гц, размер ближней зоны $3 \cdot 10^3 - 30$ км, т.е. на таких расстояниях применима данная модель.

Индукция внешнего магнитного поля магнитного маяка. Дальность действия навигационной системы с использованием магнитного маяка в основном определяется:

- максимальным значением индукции магнитного поля, создаваемой магнитной системой $B_{\max}$;
- чувствительностью датчиков магнитного поля;
- уровнем магнитных шумов в точке определения координат.

В настоящее время сильные переменные магнитные поля с частотами $10^2 - 10^5$ Гц могут быть созданы многослойными соленоидными с использованием магнитопроводов из аморфных и нанокристаллических материалов (таблица 1) [9].

Таблица 1.

Характеристики ферромагнитных материалов

Материал	Электротехническая сталь	Аморфный (на основе Fe)	Нанокристаллический (на основе Fe)
Свойства			
Индукция насыщения, B_s (Тл)	2,0	1,56	1,16
Начальная проницаемость, μ_n	1500	40000	5000
Максимальная проницаемость, μ_m	$2 \cdot 10^4$	10^6	$5 \cdot 10^4$
Удельное сопротивление, (мкОм/см)	50	120	130
Оптимальная область рабочих частот, (кГц)	0...1	10...10000	10...100000

Рассмотрим факторы, определяющие максимально возможную индукцию магнитного поля, создаваемого магнитной системой в точке пространства, где решается навигационная задача.

Ее значение в рамках модели магнитного диполя, в точке $P(x,y,z)$ определяется по формуле (5). Для упрощения анализа частный случай, когда вектор магнитного момента $\vec{M}$ сонаправлен радиусу-вектору $\vec{r}$. Тогда формула (5) примет вид:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2M}{r^3}, \quad (10)$$

где r - расстояние от магнитного центра маяка до точки измерения.

Магнитная индукция в веществе определяется выражением:

$$\vec{B} = \mu_n \mu_0 \vec{H} = \frac{\mu_n \mu_0 \vec{J}}{\chi}, \quad (11)$$

где χ и μ_n - магнитная восприимчивость и начальная проницаемость материала сердечника, $\vec{H}$ - напряженность магнитного поля, создаваемого обмоткой соленоида.

Магнитный момент маяка при равномерной намагниченности магнитопровода по объему сердечника определяется соотношением:

$$\vec{M} = \vec{J} \cdot V = \frac{V \cdot (\mu_n - 1) \vec{B}}{\mu_n \mu_0}, \quad (12)$$

где $\vec{J}$, V - намагниченность и объем сердечника, μ_n - начальная магнитная проницаемость материала магнитопровода.

Известно, что магнитная индукция в ферромагнетике с ростом напряженности внешнего поля увеличивается до определенного значения B_s , называемого индукцией насыщения (таблица 1), а дальше изменяется очень слабо. Поэтому максимально возможный магнитный момент, создаваемый соленоидом будет зависеть от индукции насыщения материала магнитопровода.

Для реального соленоида магнитные свойства характеризуются эффективным значением магнитной проницаемости $\mu_{эф}$, связанной с геометрическими размерами сердечника, конфигурацией намотки и т.д. Инженерная формула для ее расчета [10, 11] учитывает длину магнитопровода L_c диаметр поперечного сечения D , его начальную проницаемость μ_n :

$$\mu_{эф} = \frac{\mu_n}{1 + \left(\frac{0.74}{\frac{L_c}{D} + 0.9} \right)^{1.6} (\mu_n - 1)}. \quad (13)$$

Таким образом, максимальный магнитный момент соленоида определяется выражением:

$$\vec{M}_{\max} = \frac{V \cdot (\mu_{эф} - 1) \cdot \vec{B}_s}{\mu_{эф} \mu_0}. \quad (14)$$

Для переменного магнитного поля $M(t) = M_{\max} \cos(\omega t)$ принято говорить или об амплитуде магнитного момента соленоида $M_{\max}$ или об эффективном значении $M_{эф} = \frac{M_{\max}}{\sqrt{2}}$.

Видно, что магнитный момент сердечника определяется объемом и индукцией насыщения магнитопровода. Магнитное поле соленоида можно оценить и так

$$B = \mu_0 \mu_{эф} H = \mu_0 \mu_{эф} \frac{NI}{L_c},$$

где H - напряженность магнитного поля, N , I - число витков и ток соленоида.

При достаточно больших значениях эффективной магнитной проницаемости магнитный момент практически перестает зависеть от магнитной проницаемости, однако последняя будет определять напряженность поля, создаваемого катушками, при которой материал магнитопровода входит в насыщение, а, следовательно, и необходимый для питания катушек ток.

В настоящее время созданы аморфные и нанокристаллические сплавы – новый особый класс материалов для магнитопроводов, отличающийся от кристаллических сплавов структурой, способом изготовления, областью существования на температурно-временной диаграмме и уникальными магнитными свойствами. Большое значение магнитной проницаемости этих материалов на частотах до 10^5 Гц позволяет существенно уменьшить мощность потребления источников переменного магнитного поля, улучшить их массогабаритные параметры.

Таким образом, в соответствии с (14), в точке пространства, характеризуемой радиусом-вектором $\vec{r}$, может быть создано поле с максимальной индукцией

$$B_{\max} = \frac{V \cdot (\mu_{эф} - 1) \cdot B_s}{4\pi \cdot r^3 \cdot \mu_{эф}}. \quad (15)$$

При решении навигационных задач интерес представляет расстояние r от соленоида на котором может быть решена навигационная задача. Современные магнитометрические приборы могут обеспечить регистрацию магнитного поля при отношении сигнал/шум 20 дБ, при предельно минимальном значении индукции МП $B_{\text{рез}} = 10^{-10}$ Тл, тогда в соответствии с (14)

$$r(M) = \left[\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2M}{B_{\text{рез}}} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (16)$$

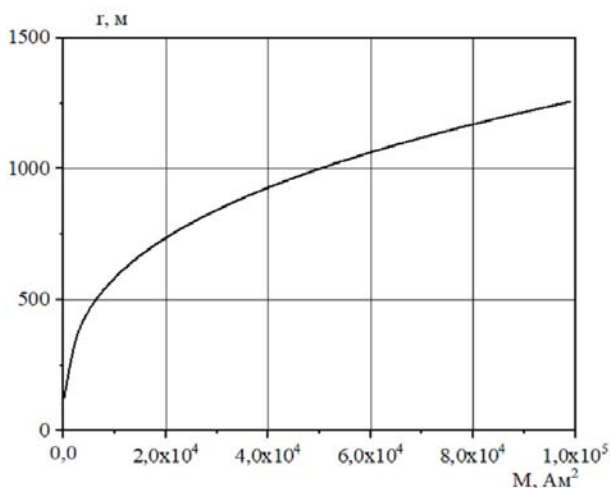


Рис. 5. График зависимости дальности решения навигационной задачи от магнитного момента маяка

График зависимости $r(M)$ представлен на рис. 5. Например, для соленоида, имеющего магнитный момент $M = 10^4$ А·м², измерение магнитного поля возможно на расстоянии до 600 м. Характерные размеры магнитопровода при этом могут быть $l = 0.6$ м и $D = 0.15$ м. При использовании магнитопровода из аморфного сплава с плотностью 7400 кг/м³ его масса будет равна 78 кг.

В настоящее время характерные значения индукции насыщения магнитных материалов не превышает 1,5 Тл, поэтому увеличения магнитного момента соленоида можно обеспечить за счет увеличения объема магнитопровода. Это приводит к росту массы и габаритов ММ.

Проведем оценку поля соленоида с многослойной обмоткой и ферромагнитным сердечником с эффективной магнитной проницаемостью $\mu_{эф}$. Для соленоида с числом витков N [5]

$$B_0 = \frac{\mu_0 \mu_{эф} N I_0}{2b} \cdot \frac{1}{\beta(\alpha - 1)} \cdot F(\alpha, \beta), \quad (17)$$

где I_0 - амплитуда тока в соленоиде; a_1 и a_2 - наименьший и наибольший радиус витков обмотки; $\beta = b/a_1$;

b - половина длины обмотки; $\alpha = a_2/a_1$ и

$$F(\alpha, \beta) = 0, 4\pi\beta \left(\operatorname{arsh} \frac{a}{\beta} - \operatorname{arsh} \frac{1}{\beta} \right). \quad (18)$$

Для создания в магнитопроводе индукции насыщения B_s требуется число витков, определяемое по формуле

$$N = \frac{B_s a_1 2\beta(\alpha - 1)}{\mu_0 \mu_{эф} I_0 \cdot F(\alpha, \beta)}, \quad (19)$$

где $L_{\text{вит}}$ - длина витка; $R_{\text{ноз}}$ - погонное сопротивление провода обмотки (Ом/м).

Для проверки проведенного выше анализа, был изготовлен соленоид с магнитопроводом из аморфного сплава, представляющего собой многокомпонентную систему $Fe_{73,5}CuNb_3Si_{13,5}B_9$ с индукцией насыщения $B_s = 1,17$ Тл, размерами $130 \times 25 \times 25$ мм³. Катушка соленоида содержала 1000 витков провода ПЭВ-2 1,0 и имела следующие размеры: внутренне сечение 26×26 мм², внешнее 55×55 мм². Сопротивление постоянному току 2,95 Ом, индуктивность 102,4 мГн. Для оценки параметров соленоида с магнитопроводом квадратного сечения рассчитаем эффективный радиус $R_{\text{эв}}$ аналогичного соленоида с круглым сечением

$$R_{\text{эв}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{b \cdot h}{\pi}},$$

где b и h - соответственно ширина и высота сердечника. В нашем случае эффективный радиус магнитопровода равен $R_{\text{эвМ}} = 10$ мм (соответственно, диаметр $D = 2 \cdot R_{\text{эвМ}} = 20$ мм), внешний радиус обмотки $R_{\text{эвО}} = 26$ мм, длина $L_c = 110$ мм. Начальная магнитная проницаемость аморфного сплава 40000, в соответствии с формулой (13), эффективная проницаемость будет равна $\mu_{эф} = 31$. Тогда при токе, протекающем через соленоид, $I = 1$ А расчётное значение индукции будет

равно 0,094 Тл, а магнитный момент магнитной системы в соответствии с (12) – 39 А·м².

В экспериментах для измерения магнитной индукции использовались феррозондовые датчики DRV425, обладающие высокой линейностью в диапазоне ± 2 мТл с погрешностью всего $\pm 0,1\%$ и имеющие низкий шум на уровне 1,5 нТл/√Гц. Магнитная индукция на торце магнитопровода $B=0,091$ Тл. Экспериментальное определение магнитного момента производилось в соответствии с формулой (10), вдоль главной оси соленоида и составило 42 А·м².

Для данного соленоида максимально возможный при длительной работе ток $I = 10$ А, при этом магнитный момент системы $M = 418$ А·м².

Также исследовалась работа соленоида на переменном токе в диапазоне частот 200 - 1000 Гц. Соленоид был включен в последовательный колебательный контур. Измерялись амплитудные значения магнитного момента и индукции на торце соленоида. Полученные результаты совпали с результатами измерений на постоянном токе.

Выводы. В заключение отметим, что результаты теоретического анализа соленоида отличаются не более, чем на 10 % от экспериментальных. Это свидетельствует о том, что предложенный в работе подход может использоваться для расчета соленоидов навигационных систем. Применение современных магнитных материалов позволяет создавать магнитные маяки с магнитным моментом более 10^4 А·м², с дальностью действия более 600 м, работающие в диапазоне частот до 10^5 Гц.

Кроме того, в ближней зоне излучения распределение магнитного поля близко к сферическому, компоненты вектора магнитной индукции и их начальные фазы однозначно определяют линейные координаты и углы поворота подвижного объекта относительно маяка. Это позволяет решать навигационные задачи для всех объектов, находящихся в зоне действия маяка.

Литература

1. Программно-управляемые системы генерирования вращающихся магнитных полей/Миловзоров Г.В. и др. // Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. Уфа: УГАТУ, 2010. Т. 14, № 1 (36). С. 56–61.
2. Монтгомери Д. Получение сильных магнитных полей. М.: Мир, 1971. 362 с.
3. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1986. 488 с.
4. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений: пер. с англ. / В.Д. Новиков. М.: Мир, 1990. 535 с.
5. Theil S., Offterdinger P., Matthews O. Assessment of Parasitic Torques From Magnetotorsers // American Astronautical Society 26th, Annual Rocky Mountain guidance and control conference. 2003, Breckenridge, Vol. 113, p. 315-324.
6. Голев И.М., Сергеев А.В. Локальная система навигации с использованием магнитного поля // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15, №5. С.88-96.
7. Паркинсон Д., Малхолл Б. Получение сильных магнитных полей. М.: Атомиздат, 1971, С. 325.
8. Пудовкин А.П., Панасюк Ю.Н., Иванков А.А. Основы теории антенн: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 92 с.

9. Стародубцев Ю.Н., Белозеров В.Я. Магнитные свойства аморфных и нанокристаллических сплавов. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002. 384 с.

10. Бабичев Ю.Е. Электротехника и электроника: учебник для вузов: В 2 т. М.: Мир горной книги, Издательство Московского государственного горного университета, Горная книга, 2007, 615 с.

Сведения об авторах:

Голев Игорь Михайлович, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия,

394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Тел. 8-903-858-24-74.

E-mail: imgolev@gmail.com.

Заснецова Татьяна Игоревна, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия,

394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Тел. 8-951-567-22-04.

E-mail: st-nfyz@yandex.ru.

Угрюмов Роман Борисович, научный сотрудник Научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия,

394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Тел. 8-905-650-80-39.

E-mail: urb31075@mail.ru.

Желонкин Михаил Владимирович, Филиал «Стрела» Московский авиационный институт (Национальный исследовательский центр). Филиал «Стрела». Россия, 140181, Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, 8.

Тел. 8-905-342-45-52.

E-mail: zhelonkinmishail@mail.ru.

Попов Александр Сергеевич, научный сотрудник Научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия,

394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Тел. 8-980-554-59-46.

E-mail: saga30@yandex.ru.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАКОПИТЕЛЬНЫХ РОЛИКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ С МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОДДОНОВ С ГРУЗОМ

Кандидат техн. наук, доцент **Сафронов Е.В.**,

доктор техн. наук, профессор **Носко А.Л.**,

аспирант **Шарифуллин И.А.**

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),

инженер **Носко Е.А.**

(ЗАО «Инженерно-технический центр «КРОС»),

кандидат техн. наук, доцент **Одиноква И.В.**

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. МАДИ)

METHOD OF CALCULATION OF ACCUMULATING ROLLER CONVEYORS WITH MECHANICAL CONTROL SYSTEM FOR LOADED PALLETS

E.V. Safronov, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,

A.L. Nosko, Doctor (Tech.), Professor,

I.A. Sharifullin, Post-Graduate

(Bauman Moscow State Technical University),

E.A. Nosko, Engineer

(CJSC “Engineering Center “КРОС”),

I.V. Odinkova, Ph.D. (Tech.), Associate Professor

(Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. MADI)

Поддоны, накопительный роликовый конвейер (НРК), механическая система управления, муфта сцепная, режим работы, методика расчета, мощность привода.

Pallet, accumulating roller conveyor (ARC), mechanical control system, coupler, operating mode, calculation procedure, drive power.

Более 70% проектов складских комплексов для поддонов с грузом составляют типовые решения, которые формируются из подъемно-транспортных модулей. Одним из основных модулей являются накопительные роликовые конвейеры (НРК) с механической системой управления, которые на отечественном рынке представлены исключительно зарубежными производителями. Это обусловлено отсутствием отечественных конструкций НРК и методик их расчета. Разработана отечественная конструкция НРК с механической системой управления и определены режимы ее работы: транспортирования, накопительный и разгрузочный, проведен расчет сопротивлений, возникающих при работе НРК. Разработана методика расчета НРК с механической системой управления.

The analysis of projects in the field of pallet mechanization and automation of warehouse complexes showed that more than 70% of them are typical solutions that formed from pallet lifting and transport modules. One of the main modules is accumulating roller conveyors (ARC) with a mechanical control system, which represented on the domestic market exclusively by foreign manufacturers. This is due to the lack of domestic ARC designs and methods for their calculation. The domestic design of the ARC with a mechanical control system has been developed and the modes of its operation have been determined: transportation, cumulative and unloading, the calculation of the resistances arising during the operation of the ARC was carried out. A methodology for calculating ARC with a mechanical control system is developed.

Введение

Одним из основных вопросов оптимального функционирования складских комплексов (далее – СК) является правильный выбор и использование подъемно-транспортного оборудования для поддонов с грузом (далее – поддонов) [1].

Анализ проектов в области механизации и автоматизации технологических процессов СК для поддонов показал, что более 70% из них составляют типовые решения [2, 3], которые формируются из подъемно-транспортных модулей для поддонов. Один из примеров такого типового решения, предназначенного для транспортирования поддонов в вертикальном и горизонтальном направлениях и позволяющего производить их накопление, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Типовое решение для передачи поддонов на другой этаж и позволяющее производить их накопление до и после подъемника

Одним из основных модулей являются *накопительные роликовые конвейеры* (далее – НРК), которые на отечественном рынке оборудования этого типа представлены исключительно зарубежными производителями. Отечественных аналогов авторам найти не удалось. Такое положение в первую очередь обусловлено отсутствием отечественных конструкций и методики их расчета.

Целью работы является разработка методики расчета накопительных роликовых конвейеров с механической системой управления для поддонов.

Методы накопления поддонов на роликовом конвейере

В настоящее время наиболее широко применяются две системы управления транспортированием и *накоплением* поддонов: модульная и с механической системой управления накоплением.

Модульная система накопления поддонов предполагает наличие нескольких конвейерных модулей, каждый из которых имеет свой привод и оснащен различными датчиками. Каждый модуль предназначен для накопления от одного поддона до нескольких, как правило, не более 4-х поддонов. Число модулей в НРК определяется необходимым количеством мест накопления.

Механическая система управления накоплением поддонов (рис. 2) состоит из двух приводных конвейеров: К1 – с одинарной электрически управляемой накопительной позицией А и приводом Д1; К2 – накопительного с механической системой управления накоплением позиций Б, В, Г и приводом Д2.

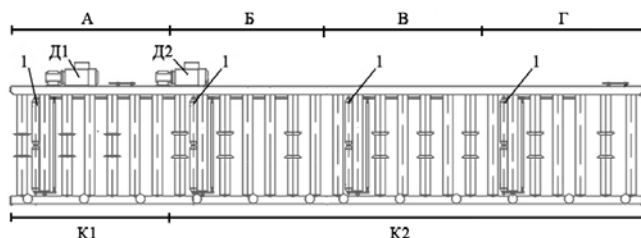


Рис. 2. Механическая система управления накоплением поддонов: К1 – конвейер с накопительной позицией А; К2 – конвейер с накопительными позициями Б, В, Г; Д1 – привод позиции А; Д2 – привод позиций Б, В, Г; 1 – нажимные ролики

Конвейер К1 с одинарной накопительной позицией А предназначен для автоматического (по электрическому сигналу на реле приводного двигателя Д1) принудительного освобождения позиции А от поддона.

Конвейер К2 с накопительными позициями Б, В, Г предназначен для механического управления накоплением при постоянно работающем приводе Д2. Максимальная длина конвейера К2 может достигать 22,4 м и состоять из нескольких накопительных участков, каждый из которых предназначен для размещения одного поддона и имеет длину 1400 мм.

Принцип накопления поддонов основан на транспортировании только одной части (нескольких) поддонов, находящихся на конвейере и предполагает неподвижность другой части поддонов (или всех поддонов в случае полного заполнения накопительной роликовой системы) при постоянном вращении приводной цепи. Это

достигается путем использования двух приводов и механической системы управления накоплением поддонов, основным элементом которой является специальное сцепное устройство – муфта. Пример конструкции отечественной муфты показан на рис. 3 [4].

Однако на российском рынке складских технологий представлены только зарубежные конструктивные решения НРК для поддонов [5, 6, 7].

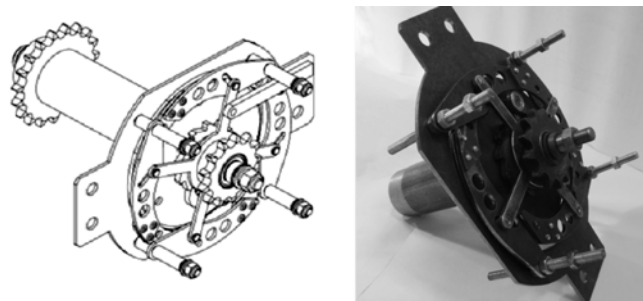


Рис. 3. Общий вид сцепной муфты в сборе

Описание работы НРК

На рис. 4 в качестве примера изображена схема НРК со сцепными муфтами (далее – муфта) на четыре места накопления.

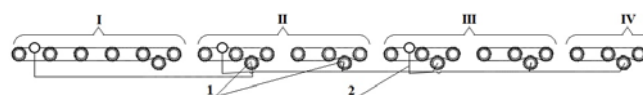


Рис. 4. Схема НРК: I, II, III, IV – места накопления; 1 – муфта; 2 – рычажная система механизма размыкания муфт

В НРК используют два привода: Д1 отвечает за передачу момента на ролики с местом накопления I, и Д2 – на ролики мест накопления II, III и IV. Оба двигателя работают независимо. Привод Д1 управляется общей системой управления, отвечает за транспортирование первого поддона с места накопления I и формирования выходного грузового потока с НРК, а Д2 – за транспортирование поддонов по местам накопления II, III и IV.

При режиме накопления НРК привод Д1 не работает, т.к. позиция накопления I занята поддоном. Привод Д2 работает все время при эксплуатации НРК, и к нему через рычажную систему подключаются муфты мест накопления II, III, IV.

На рис.5 приведена схема управляемых приводом Д2 мест накопления II и III.

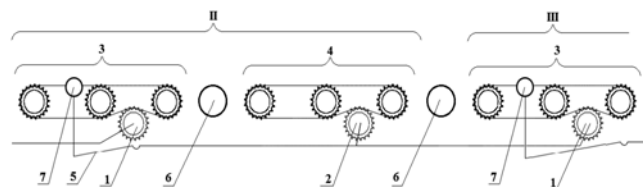


Рис. 5. Схема управляемых приводом Д2 мест накопления II и III. 1 – первая муфта места накопления II; 2 – вторая муфта места накопления II; 3 – ролики первой муфты; 4 – ролики второй муфты; 5 – рычажная система механизма размыкания муфт; 6 – ролик свободного вращения (поддерживающий ролик); 7 – ролик нажимной (управляющего рычага механизма размыкания муфты).

Рассмотрим работу НРК на примере работы места накопления II.

Место накопления II (рис. 5) состоит из двух муфт 1 и 2, которые приводят во вращение ролики 3 и 4 мест накопления II и III. При большой массе поддона в качестве поддерживающего ролика может использоваться промежуточный ролик 6 свободного вращения. Рычажная система механизма размыкания муфты 5 обеспечивает одновременное размыкание двух муфт смежных мест накопления – второй муфты 2 места накопления II и первой муфты 1 места накопления III.

Режимы работы накопительного роликового конвейера

В работе НРК с механической системой управления накоплением поддонов можно выделить 3 (три) наиболее часто встречающихся режима: режим транспортирования, накопительный и разгрузочный режимы. Рассмотрим в качестве примера накопительный режим.

Накопительный режим работы НРК представлен на рис. 6.

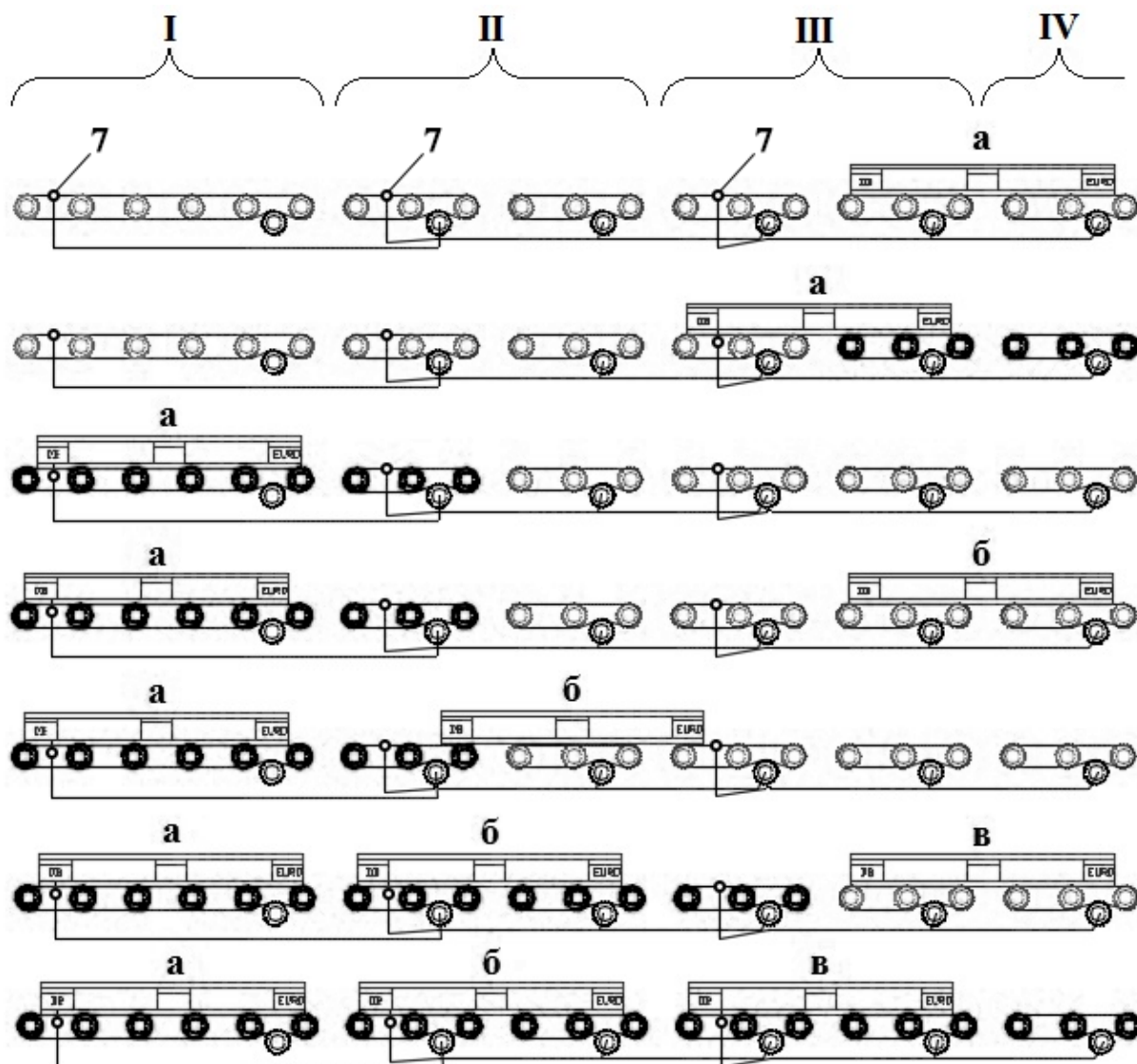


Рис. 6. Схема накопительного режима

В накопительном режиме НРК работает следующим образом. При наезде поддона **а** на ролик 7 управляющего рычага механизма размыкания муфты места накопления III отключается вторая муфта места накопления III и первая муфта места накопления IV. Движущийся поддон **а** за счет передачи момента от привода Д2 на ролики первой муфты места накопления III продолжает движение. Как только поддон **а** доезжает до ролика 7 управляющего рычага механизма размыкания муфты места накопления I, отключается первая муфта места накопления II.

Далее, при наличии поддона **а** на секции места накопления I и отсутствии сигнала от системы управления, поддон **б** последовательно воздействует на ролики 7 управляющих рычагов механизмов размыкания муфт

мест накопления III и II. При этом, при съезде поддона **б** с ролика 7 управляющего рычага механизма размыкания муфт места накопления III, поддон **б** перемещается преимущественно при помощи роликов второй муфты места накопления II, в то время как ролики первой муфты места накопления II не передают момент от основного привода, но при этом вращаются в направлении движения поддона. При последующем наезде поддона **б** на ролик 7 управляющего рычага механизма срабатывания муфты места накопления II при отключенных роликах первой муфты места накопления II, поддон **б** останавливается по инерции, так как на ролики первой и второй муфты места накопления II не передается момент от привода Д1.

Аналогично происходит накопление поддона в и следующих за ним.

Методика расчета НРК со сцепными муфтами

Расчет НРК необходимо проводить отдельно для конвейеров К1 и К2.

В данной работе приводится пример расчета конвейера К2 НРК, так как расчет конвейера К1 является классическим и подробно изложен в [8].

Определение и расчет сопротивлений. При расчете привода Д2 конвейера К2 НРК необходимо учитывать следующие виды сопротивлений:

- вращения приводных роликов, не нагруженных массой поддона $W_{РОЛ}$;
- вращения сцепных муфт W_M ;
- движущихся одновременно поддонов $W_{ПД}$;
- трогаящихся с места поддонов $W_{ПС}$;
- от наезда движущихся поддонов на ролики управляющих рычагов механизмов размыкания муфт $W_{РС}$.

В этом случае расчет привода Д2 определяется общим сопротивлением $W_{НРК}$, возникающим при различных режимах работы и равным:

$$W_{НРК} = W_{РОЛ} + W_M + W_{ПД} + W_{ПС} + W_{РС}. \quad (1)$$

Рассмотрим в качестве примера НРК максимальной длиной $L_{НРК}=22400$ мм с минимальной длиной вспомогательной секции $L_{ВС}=1400$ мм и длиной мест накопления $L_{МН}=1400$ мм.

Общее количество мест накопления конвейера К2 составит:

$$i_{МН} = \frac{L_{НРК} - L_{ВС}}{L_{МН}} = \frac{22400 - 1400}{1400} = 15.$$

С учетом конструкции места накопления (рис. 5) общее количество сцепных муфт конвейера К2:

$$z_M = 2 \cdot i_{МН} = 30.$$

Общее количество приводных роликов системы накопления поддонов:

$$z_{РОЛ} = i_{МН} \cdot z_{РОЛ}^{МН} = 90,$$

где $z_{РОЛ}^{МН} = 6$ – количество приводных роликов места накопления.

Общее сопротивление $W_{НРК}$ при работе НРК, приходящееся на привод Д2, определяется максимально нагруженным режимом транспортирования $W_{ТР}$ или разгрузочным режимом $W_{РР}$, то есть:

$$W_{НРК} = \max(W_{ТР}, W_{РР}).$$

Режим транспортирования. Для определения сопротивления движению поддонов в режиме транспортирования необходимо определить количество движущихся $i_{ДП}$ поддонов по формуле:

$$i_{ДП} = \frac{L_{НРК} - L_{ВС}}{L_{МН} + L_{МП}},$$

где $L_{МП}$ – расстояние между поддонами.

При условии, что в режиме транспортирования сцепные муфты не должны срабатывать, расстояние

между поддонами $L_{МП}$ должно быть не меньше длины места накопления $L_{МН}$, или $L_{МП} \leq L_{МН}$.

Тогда максимально нагруженный режим транспортирования предусматривает максимальное количество одновременно движущихся поддонов $i_{ДП}^{MAX}$, определенное по формуле:

$$i_{ДП}^{MAX} = \left\lfloor \frac{L_{НРК} - L_{ВС}}{2 \cdot L_{МН}} \right\rfloor.$$

Рассмотрим каждое из сопротивлений в формуле (1).

Сопротивление $W_{РОЛ}$ от вращения приводных роликов определяется по формуле [8]:

$$W_{РОЛ} = (z_{РОЛ} - i_{ДП}^{MAX} \cdot z_{РОЛ}^{МН}) \cdot \frac{G_{РОЛ} \cdot d_{Ц}}{D_p} \cdot f_0,$$

где $G_{РОЛ}$ – сила тяжести подвижных частей приводного ролика; $d_{Ц}$ – диаметр цапфы; $f_0 = 0,015$ – коэффициент трения в подшипниках.

Сопротивление от вращения сцепных муфт W_M не зависит от режима работы НРК и определяется по формуле:

$$W_M = \frac{G_M \cdot d_{ЦМ}}{D_3} \cdot f_0 \cdot z_M, \quad (2)$$

где G_M – сила тяжести подвижных частей муфты; $d_{ЦМ}$ – диаметр цапфы муфты; D_3 – делительный диаметр звездочки муфты.

Сопротивление от движущихся одновременно поддонов $W_{ПД}$ определяется по формуле:

$$W_{ПД} = i_{ДП}^{MAX} \cdot G_{П} \cdot \omega_{ОВ},$$

где $\omega_{ОВ} = 0,015$ – коэффициент сопротивления передвижению поддона по роликам [9].

Сопротивление от трогаящихся с места поддонов $W_{ПС}$ в данном режиме работы НРК отсутствует, то есть $W_{ПС} = 0$.

Сопротивление от наезда движущихся поддонов на ролики управляющих рычагов механизмов размыкания муфт $W_{РС}$ теоретически определить достаточно сложно, так как данный вид сопротивления зависит от параметров рычажной системы, используемых в ней типов шарниров и т.п. Используя общие подходы, изложенные в [10] к определению сопротивлений, $W_{РС}$ можно оценить, как:

$$W_{РС} = i_{ДП}^{MAX} \cdot G_{П} \cdot \omega_{РС},$$

где $\omega_{РС}$ – коэффициент сопротивления рычажной системы НРК.

На базе разработанной авторами в программном комплексе SOLIDWORKS имитационной модели муфты было проведено исследование ее работы в модулях SOLIDWORKSMotion [11], которое показало, что коэффициент сопротивления $\omega_{РС}^M$ рычажной системы НРК при наличии передаваемого момента составляет $\omega_{РС}^M = 0,006$, а при его отсутствии – примерно в 3 раза меньше $\omega_{РС} = 0,002$.

С учетом того, что одновременно движущиеся поддоны наезжают на управляющие рычаги одновременно,

сопротивление необходимо учитывать столько раз, сколько поддонов участвует в одновременном движении.

Разгрузочный режим. Разгрузочный режим является одним из самых нагруженных, так как необходимо учитывать сопротивления от одного движущегося поддона с места накопления II (рис. 5) и одновременно трогаящегося с него поддона на следующем месте накопления III.

Рассмотрим все составляющие сопротивлений формулы (1) для этого режима.

Сопротивление $W_{рол}$ от вращения приводных роликов определяется для режима, при котором занято 2 (два) смежных места накопления. В противном случае все занятые места накопления не имеют вращающихся приводных роликов, а, следовательно, их сопротивления отсутствуют.

Исходя из вышеуказанного, сопротивление $W_{рол}$ от вращения приводных роликов в разгрузочном режиме равно:

$$W_{рол} = (z_{рол} - 2 \cdot z_{рол}^{МН}) \cdot \frac{G_{рол} \cdot d_{ц}}{D_p} \cdot f_0.$$

Сопротивление от вращения цепных муфт W_M не зависит от режима и определяется по формуле (2).

Сопротивление от движущихся одновременно поддонов $W_{пд}$ определяется для одного движущегося поддона и равно:

$$W_{пд} = G_{п} \cdot \omega_{ов},$$

где $\omega_{ов}$ – коэффициент сопротивления передвижению поддона [9].

Сопротивление от трогаящихся с места поддонов $W_{пс}$ определяется как:

$$W_{пс} = G_{п} \cdot \omega_{пс},$$

где $\omega_{пс}$ – коэффициент сопротивления поддона, трогаящегося с места на роликовом конвейере [9].

Сопротивление от наезда движущихся поддонов на ролики управляющих рычагов механизмов размыкания муфт $W_{рс}$ с учетом режима должен учитываться один раз для размыкания муфты при наличии передаваемого ею момента:

$$W_{рс} = G_{п} \cdot \omega_{рс}^M.$$

С учетом полученных данных можно сделать вывод, что сопротивления передвижению поддонов по НРК для разных наиболее нагруженных режимов работы НРК достаточно близки по значениям.

Расчет мощности привода. Сопротивление $W_{НРК}$ приведено к приводным роликам, тогда момент на приводной звездочке $M_{дв}^{ОСН}$ основного привода с учетом наличия звездочки цепных муфт и приводной звездочки с одинаковым количеством зубьев, равным 13:

$$M_{дв}^{ОСН} = \frac{W_{НРК} \cdot D_p \cdot z_{нр}}{2 \cdot z_p \cdot \eta} = \frac{\max(W_{тр}, W_{пп}) \cdot D_p \cdot z_{нр}}{2 \cdot z_p \cdot \eta},$$

где η – общий КПД роликового конвейера. Для конструкции роликового конвейера с одинарной цепью η принимается равным 0,97 [9].

Частота вращения $n_p^{ОСН}$ приводной звездочки основного привода определяется как:

$$n_p^{ОСН} = \frac{60 \cdot v_H}{\pi \cdot D_p} \cdot \frac{z_p}{z_{нр}},$$

где v_H – скорость механизма накопления.

Для оценки мощности P привода основной секции можно использовать формулу:

$$P = \frac{M_{дв}^{ОСН} \cdot n_p^{ОСН}}{9550}.$$

Заключение

1. Рассмотрены два способа накопления поддонов – модульный и механическая система управления накоплением поддонов (с муфтами сцепными).
2. Приведена конструкция НРК с механической системой управления накоплением поддонов (с муфтами сцепными).
3. Определены наиболее часто встречающиеся режимы работы НРК с механической системой управления накоплением поддонов (с муфтами сцепными): режим транспортирования, накопительный и разгрузочный режимы.
4. Приведено, в качестве примера, описание работы НРК с механической системой управления накоплением поддонов (с муфтами сцепными) в накопительном режиме.
5. Определены основные виды сопротивлений, возникающих при работе НРК с механической системой управления накоплением поддонов (с муфтами сцепными).
6. Разработана методика расчета НРК с механической системой управления накоплением поддонов (с муфтами сцепными).
7. Проведен расчет и выбран привод НРК с механической системой управления накоплением поддонов (с муфтами сцепными).

Литература

1. Тиверовский В. И. Зарубежный опыт развития логистики на современном этапе // Трансп.: Наука, техн., упр./ ВИНТИ РАН.— 2016 № 6.— С. 36-40.
2. Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А. Система паллетных модулей для складской интралогистики. Вестник машиностроения. 2016. № 08. С. 10 - 11.
3. Носко А.Л., Сафронов Е.В. Преимущества использования типовых паллетных интралогистических решений при проектировании и эксплуатации складов. Логистика.- 2016, № 5 (114). С. 16 - 21.
4. Пат. 187457 Российская Федерация, МПК F16D 41/12. Муфта разъемная управляемая для роликовых приводных накопительных конвейеров / Носко А.Л., Сафронов Е.В., Потапов В.А., Козлов К.Г., Носко Е.А., Одиноква И.В.; заявитель и патентообладатель: Закрытое акционерное общество «Инженерно-технический центр «КРОС». – № 2018141792; заявл. 27.11.2018; опубл. 06.03.2019, Бюл. № 7-2019.
5. Patent EP0 157 518. Accumulation roller conveyor / DEXION-COMINO INTERNATIONAL LTD/, 07.09.1988.

6. Пат. 4212385 USA, B65G 13/06. Article accumulation conveyor /John M. Leach.; опубл. 15.07.1980.

7. Пат. 4121709 USA, B65G 13/02. Stow roller train arrangement /Richard Gebhardt, Н.; опубл. 24.10.1978.

8. Машины непрерывного транспорта Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Н. Е. Ромакин. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 432 с.

9. ГОСТ 29320-92. Механическое оборудование грузораспределительных систем. Основы расчета. Москва, ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 2004, 7 с.

10. Детали машин /Андрienко Л.А., Байков Б.А., Захаров М.Н., Поляков С.А., Ряховский О.А., Тибанов В.П., Фомин М.В. – М., Издательство: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 469 с.

11. SOLIDWORKS Motion // URL: <https://www.solidworks.com/ru/category/simulation-solutions> (дата обращения 12.05.2020).

Сведения об авторах:

Сафронов Евгений Викторович, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел. (499) 263–65–92.

E-mail: gen-s@mail.ru.

Носко Андрей Леонидович, профессор кафедры «Подъемно-транспортные системы» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел. (499) 263–65–92.

E-mail: nosko@bmstu.ru.

Шарифуллин Ильдар Азатович, аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел. (499) 263–65–92.

E-mail: formyjob94@mail.ru.

Носко Евгений Андреевич, инженер отдела «Складские технологии» ЗАО «Инженерно-технического центра «КРОС».

141281, Московская область, г. Ивантеевка, Санаторный проезд, д. 1, Литера Н, офис 415.

Тел. (495) 645–34–40.

E-mail: nosko2@yandex.ru.

Одиноква Ирина Вячеславовна, доцент кафедры «Детали машин и теории механизмов» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

125319, г. Москва, Ленинградский пр., д. 64.

Тел. (499) 155-03-74.

E-mail: odinokova_iv@mail.ru.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» включен в новый **ПЕРЕЧЕНЬ** рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидатов наук, на соискание ученой степени докторов наук (распоряжением Минобрнауки России № 21-р. от 12 февраля 2019 г.)

(Из Перечня ВАК по состоянию на 03.04.2019 года)

(Раздел «Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК) mgsu.ru»).

URL: http://mgsu.ru/science/publikatsionnaya-aktivnost/Perechen_VAK_03042019_specialnosti.pdf

№ п/п	Наименование издания	ISSN	Группы научных специальностей/научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым присуждаются ученые степени	Дата включения издания в Перечень
1458.	Научный информационный сборник "Транспорт: наука, техника, управление"	0236-1914	05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки), 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки), 05.22.08 – Управление процессами перевозки (технические науки), 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки), 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта (технические науки), 05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта, судовождение (технические науки), 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (экономические науки)	с 28.12.2018

В рецензируемом научном информационном сборнике «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» редакция традиционно публиковала статьи по группам научных специальностей. Тематика статей включает информационные технологии на транспорте, общие вопросы транспорта, логистику, железнодорожный, автомобильный, внутренний водный, морской, воздушный, трубопроводный, промышленный и городской транспорт, взаимодействие видов транспорта, смешанные перевозки грузов.

При этом следует иметь в виду, что согласно новым правилам в журналах, включенных в Перечень ВАК, для защиты диссертаций будут учитываться только статьи по уточненным научным специальностям, а не по группам специальностей. Поэтому авторам при подготовке статей с целью их последующего учета при защите диссертаций следует особое внимание уделять шифру научного направления и обязательно сверяться с новым Перечнем ВАК.

Соискателю ученой степени важно знать: Публикации по другим специальностям, не соответствующим специальности защищаемой диссертации, ВАК засчитывать НЕ будет.

Если статья была опубликована до 28 декабря 2018г. (т.е. до публикации обновленного перечня ВАК), статья будет засчитана.

Разъяснения по новым правилам имеются в сети Интернет. Раздел «Новые правила публикации статей в журналах из перечня ВАК». Например, URL: originaldissertations.com/newjournals2019.php

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

ПРАВИЛА

направления, опубликования и рецензирования научных статей

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к тематике журнала, соответствовать его научному уровню, обладать определенной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к публикации не принимаются.

3. Редакционная коллегия, а также рецензенты принимают на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи.

4. Рукопись должна содержать постановку задачи, исследование, библиографические ссылки и выводы.

5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом не более одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, включая пробелы). Статьи принимаются в распечатанном виде и по электронной почте.

6. **Рукопись статьи должна быть представлена в следующем составе и последовательности:**

- перед названием статьи должно быть указан индекс УДК;
- название статьи на русском языке, под ним – фамилия автора (авторов) с указанием учёной степени, звания, места работы или учёбы;

- название статьи на английском языке, под ним – в латинской транслитерации фамилия автора (авторов) и на английском языке указание учёной степени (например, Doctor (Tech.), Ph. D.(Econ.)), звания (например, Professor, Associate Professor), места работы или учёбы;

- ключевые слова на русском языке, под ними - ключевые слова на английском языке (не менее пяти слов) (курсивом);

- аннотация (краткий реферат) не более 10 строк на русском языке, под ней - аннотация на английском языке (курсивом);

- текст, напечатанный шрифтом Times New Roman, кегль 14, через полтора интервала, в одну колонку, с полями не менее 20 мм, с пронумерованными страницами, с указанием номеров рисунков, рисунками, подрисовочными подписями и необходимыми к ним пояснениями. **Все рисунки должны быть черно-белыми, без оттенков, четко выполненными.** Рукопись не должна содержать более 10 рисунков и 5 таблиц;

- список использованной литературы (библиография) - не менее десяти источников, желательно использование также зарубежных источников;

- сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы и (или) учебы (полностью), адрес учреждения (с почтовым индексом) (домашний адрес не указывается), контактные телефоны (в том числе мобильный), e-mail;

- подписи авторов с указанием даты отправки рукописи.

7. **Рукопись должна быть представлена также на электронном носителе** (в программе Microsoft Word, шрифт Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5, расположение в одну колонку).

Текст и каждый рисунок должны быть представлены отдельными файлами:

- текста статьи – в формате DOC или RTF, имя файла текста статьи должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации (например, Karpuhin.doc)

- рисунки – в одном из форматов: TIFF, JPEG, GIF, EPS. Имя файла каждого рисунка должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации, дополненного знаком «подчеркивание» и номером рисунка в статье (например, Karpuhin_1.tif; Karpuhin_2.tif и т.д.).

8. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение размеров шрифтов менее № 8 (за исключением индексов). Таблицы, рисунки и формулы являются частью текста и должны допускать электронное редактирование. Сложные математические формулы должны быть представлены как встроенные в Word объекты Microsoft Equation (Math Type).

9. Ссылки на литературу даются в порядке упоминания; в тексте номер ссылки ставится в квадратные скобки. Список использованных источников приводится в конце рукописи под заглавием «Литература». Библиографические описания в этом списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

10. **К рукописи статьи прилагается экспертное заключение** о возможности публикации статьи в открытой печати, заверенное подписью и печатью.

11. Издание осуществляет рецензирование и проверку на антиплагиат всех поступающих в редакцию материалов с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. К рецензированию могут привлекаться члены Редакционной коллегии.

12. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию сборника соответствующего запроса.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, редакцией не рассматриваются.

13. Все публикации в сборнике бесплатные. Авторские экземпляры научных сборников заказываются за плату.

14. Полные тексты статей сборника публикуются с отставанием на 12 мес. с момента выхода из печати и находятся в свободном доступе на сайте ВИНТИ РАН (Раздел «Издания и продукты»). – URL: <http://www.viniti.ru/products/publications/pub-12187#issues>.

15. Полное содержание журнала и метаданные статей (по мере выхода) находятся в свободном доступе на сайте НЭБ. – URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1367223>