

**научно-технический
информационно-
аналитический
журнал**

ISSN 2222-9396

Современные проблемы транспортного комплекса России

**инфраструктура • логистика • технология • организация
управление • экономика • техника • методология**

- логистическая концепция системного управления процессом материалодвижения на металлургических предприятиях
- АСУ логистического центра припортовой железной дороги часть 2
- прогнозирование моментов времени прибытия автобусов на остановочные пункты



www.transcience.ru

**2018
T.8 № 2**

**Modern Problems
of Russian Transport Complex**

International Scientific Journal

2018 Vol.8 No.2

Современные проблемы транспортного комплекса России

2018. Т. 8, №2

Журнал индексируется: RIIH, Crossref, BASE, ERIH PLUS, EZB, Google Scholar, OAI, OpenAIRE, PKP Index, ResearchBib, ROARMAP, Scilit, WorldCat, ВИНТИ РАН, Киберленинка

Электронная версия журнала размещается:

- Научная Электронная Библиотека (НЭБ) – elibrary.ru
- сайт журнала – transcience.ru
- сайт научной электронной библиотеки «Киберленинка» – cyberleninka.ru

Издается с 2011 года

Редакционный совет

А.И. Адилходжаев – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Узбекистан

Э. Бабулак – Национальный научный фонд, Александрия, Виргиния, США

В.В. Багинова – Российский университет транспорта, Москва, Россия

Т.П. Воскресенская – Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Е.П. Дудкин – Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра-I, Россия

С.Н. Корнилов – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

П. Митра – Индийский технологический институт в Харагпуре, Индия

А.Т. Попов – Липецкий государственный технический университет, Россия

В.М. Сай – Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

А.В. Сладковский – Силезский технический университет, Катовице, Республика Польша

Ж. Стевич – Восточно-Сараевский университет, Лукавица, Босния и Герцеговина

Ш. Фенг – Даляньский университет информатики Neusoft, КНР

К.Ш. Шункеев – Актыбинский региональный государственный университет им.К.Жубанова, Казахстан

Х. Ху – Шанхайский университет транспорта, КНР

Главный редактор

А.Н. Рахмангулов – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Зам. главного редактора

Н.А. Осинцев – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Редакционная коллегия

О.В. Фридрихсон

О.А. Копылова

П.Н. Мишкоров

Д.С. Муравьев

© ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2018

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38).

16+, в соответствии с Федеральным Законом от 29.12.10. №436-ФЗ.

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-85-16

URL: <https://www.transcience.ru>

E-mail: editor@transcience.ru

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова

Выход в свет 28.12.2018.

Заказ 456. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Modern Problems of Russian Transport Complex

2018. Vol. 8, no. 2

Indexing: Russian Science Citation Index, Crossref, BASE, ERIH PLUS, EZB, Google Scholar, OAI, OpenAIRE, PKP Index, ResearchBib, ROARMAP, Scilit, WorldCat, Russian VINITI RAS, CyberLeninka

Online versions of the journal can be found in the:

- Scientific Electronic Library – <http://elibrary.ru>
- Journal web-site – <http://www.transience.org>
- Scientific Electronic Library "CyberLeninka" – cyberleninka.ru

PUBLISHED SINCE 2011

Editorial Board Members

A.I. Adilhodzaev – Tashkent Railway Engineering Institute, Uzbekistan

E. Babulak – National Science Foundation, Alexandria, Virginia, United States

V.V. Baginova – Russian University of Transport, Moscow, Russia

T.P. Voskresenskaya – Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

E.P. Dudkin – Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

S.N. Kornilov – Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

A.T. Popov – Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

P. Mitra – Indian Institute of Technology Kharagpur, India

V.M. Say – Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia

A.V. Stadkowski – Silesian University of Technology, Katowice, Poland

Z. Stević – University of East Sarajevo, Lukavica, Bosnia and Herzegovina

S. Feng – Dalian Neusoft University of Information, China

K.S. Shunkeyev – K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Kazakhstan

H. Hu – Shanghai Jiao Tong University, China

Editor-in-chief

A.N. Rakhmangulov – Nosov Magnitogorsk State Technical University.

First deputy chief editor

N.A. Osintsev – Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Executive editors

O.V. Fridrikhson

O.A. Kopylova

P.N. Mishkurov

D.S. Muravev

© Federal state budgetary institution of higher education
«Nosov Magnitogorsk State Technical University», 2018

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University
(455000, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin prospect, 38)

16+ in accordance with the Federal Law 29.12.10. №436-FL

Editorship address:

455000, Russia, Magnitogorsk, Lenin prospect, 38

Phone number: +7(3519) 29-85-16.

URL: <http://www.transience.org>

E-mail: editor@transience.ru

Printed in the Printing NMSTU Area

Signed for press 2018.12.28.

Order 456. Circulation – 500 items. Free of charge.

СОДЕРЖАНИЕ

Логистика

Парунакян В.Э. Формирование логистической концепции (технологии) системного управления процессом материалоудвижения на металлургических предприятиях 4

Тимченко В.С. К вопросу об актуальности разработки и внедрения АСУ логистического центра припортовой железной дороги. Часть 2..... 22

Методология транспортной науки

Тьянь Ю., Рахмангулов А.Н., Муравьев Д.С., Ван С. Алгоритм прогнозирования моментов времени прибытия городских пассажирских автобусов на основе Марковских цепей 29

CONTENTS

Logistics

Parunakyan V.E. Forming the logistics concept (technology) of systemic management of material movement process at the metallurgical enterprise 4

Timchenko V.S. A study on the relevant development and implementation of automatic control system of the logistics center serving port railway. Part 2 22

A Methodology of Transport Science

Tian Y., Rakhmangulov A.N., Muravev D.S., Wang S. Bus arrival time prediction algorithm based on Markov chain..... 29

ФОРМИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ (ТЕХНОЛОГИИ) СИСТЕМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МАТЕРИАЛОДВИЖЕНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Парунакян В.Э.¹

¹ Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина

Аннотация

Традиционные формы и способы взаимодействия производства и железнодорожного транспорта в процессе материалодвижения металлургических предприятий, при изменившейся производственной среде, показывают свою неэффективность, а управление производственно-транспортной системой (ПТС), акцентированное на перевозки, при котором транспорт лишь подстраивается под нужды производства, уже не отвечает современным требованиям и приводит к значительным простоям, издержками и потерям, что в условиях рыночной конкуренции недопустимо. На данном этапе важнейшим вопросом становится создание действенного механизма управления, обеспечивающего на всех этапах процесса материалодвижения высокую эффективность взаимодействия производства и транспорта, перенос акцента на активизацию ресурсов производства и ликвидацию производственных потерь. Для решения проблемы необходим переход от управления железнодорожными перевозками к логистическому управлению процессом материалодвижения предприятий, объединяющей основой которого должно стать процессное представление оборотного капитала. В процессе исследований определены технологические схемы и идентифицированы показатели взаимодействия производства и транспорта, разработан метод оптимизации продолжительности процесса грузопереработки и затрат ресурсов, предложена модель синхронизации работы грузового и транспортного модулей. Установлено, что интегрирующую роль по формированию непрерывного процесса материалодвижения, связывающему в каждом потоке всех его участников, а потоки – между собой, выполняют логистические циклы: системные и функциональные (технологические). При этом ключевыми показателями логистических циклов являются: продолжительность (производительность) структуры и расход ресурсов производства и транспорта. Предложена модель решения оптимизационной задачи выполнения системного цикла. Показано, что сквозное логистическое управление процессом материалодвижения в системном цикле переработки вагонов внешнего парка должно основываться на технологии ЛТ – точно в срок, весьма эффективно используемой за рубежом и обеспечивающей доставку сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в нужное место, в нужном количестве и точно к назначенному сроку. Для грузопереработки массовых грузов разработаны два типа логистических комплексов: транспортно-грузовой (ТГК) для переработки вагонов внешнего парка (ВП) и транспортно-технологический (ТТК) для работы с вагонами заводского парка (ЗП). Разработанная методология была применена при исследовании вопросов повышения эффективности работы ТГК по выгрузке массового железосодержащего сырья (до 800 вагонов в сутки) для аглофабрики крупного металлургического комбината. При этом продолжительность приема и выгрузки вагонов ВП сокращена с 20-22 до 10-12 часов, а внедрение технических решений производится преимущественно за счет ресурсов аглофабрики. Разработка и внедрение логистической технологии ЛТ по управлению системными циклами, формирующими процесс материалодвижения, позволяет значительно повысить эффективность организации процессов грузопереработки и работу транспортной инфраструктуры предприятия, снизить объемы транспортной работы и значительно сократить транспортные издержки и потери производства.

Ключевые слова: процесс материалодвижения, железнодорожный транспорт, взаимодействие производства и транспорта, грузопереработка, транспортная инфраструктура, системные и функциональные циклы, логистическая концепция (технология) ЛТ – «точно в срок», транспортно-грузовые комплексы.

1. Введение*

Крупные металлургические предприятия отличаются сложными технологиями и структурой производства, большими объемами и номенклатурой выпуска готовой и промежуточной продукции, достигающими 5-6 млн т в год, а при их высокой материалоемкости (до 10-14 млн т) – значительной потребностью в материальных ресурсах.

Характерной особенностью этих предприятий является то, что материальный поток по всей своей

траектории от поступления сырья до отгрузки продукции обязательно проходит через транспортные звенья, которые обеспечивают перевозку и участвуют в грузопереработке. По аналогии с цепью поставок в макрологистике, назовем эту цепь процессом материалодвижения предприятий [1, 2].

Ведущая роль в этом процессе и, следовательно, в транспортном обслуживании предприятий, принадлежит железнодорожному транспорту. Он взаимодействует с магистральными железными дорогами на приеме сырья и отгрузке продукции, а также обеспечивает технологические перевозки в производственном процессе.

Таким образом, в процессе материалодвижения

© Парунакян В.Э., 2018.

имеет место многоточечное, разнохарактерное функциональное взаимодействие производства и железнодорожного транспорта, что требует эффективного и надежного системного управления на всех этапах.

На этой основе формируется и функционирует производственно-транспортная система (ПТС) предприятия.

Функциональная схема процесса материалодвижения металлургического комбината в общем виде представлена на схеме (рис. 1). Она характеризует основные функции, выполняемые ПТС по всей траектории процесса материалодвижения, а также ее структуру, включающую две подсистемы: ведущую (актив) и обслуживающую.

Ведущая подсистема ПТС непосредственно обеспечивает ход производственного процесса, а ее важнейшими функциями являются выгрузка массового сырья, прибывающего в вагонах внешнего парка (ВП), поэтапное, в заданных объемах, последовательности и технологическом регламенте продвижение и грузопереработка вагонов заводского парка (ЗП) с промежуточной продукцией и, в завершение процесса, погрузка в вагоны ВП для отправки потребителю готовой и побочной продукции, а также полуфабрикатов.

Обращает на себя внимание значительное расширение в последние годы объемов и номенклатуры отгрузки потребителям промпродуктов (агломерата, литых заготовок и передельного чугуна в чушках).

Главной задачей ведущей подсистемы является обеспечение функционирования производственного процесса предприятия в рамках установленных объемных, технологических, организационных и экономических показателей.

Обслуживающая подсистема ПТС осуществляет прием, переработку и подготовку вагонов ВП для повторного использования, а также возвращение излишков порожняка на внешнюю сеть. Она выполняет весь комплекс операций по транспортному обслуживанию вагоноопрокидывателей, очистку и подбор вагонов в соответствии с техническими и коммерческими требованиями и их подачу производственным цехам в установленный срок под погрузку заявленного объема металлопродукции. Излишки порожних вагонов эта подсистема формирует в поезда по операторам-перевозчикам и возвращает на внешнюю сеть. Транспортные функции завершаются отправкой груженых вагонов с металлопродукцией потребителям.

Для обеспечения производственного процесса крупного предприятия, ПТС должна принять, переработать и отправить до 1500 и более вагонов ВП в сутки.

На основе ранее выполненных исследований [1, 2] установлено, что рыночные отношения радикально изменили производственную среду на металлургических предприятиях и, как следствие, условия и характер взаимодействия производства и транспорта. Значительные колебания объема выпуска металлопродукции ряда цехов (от 30-50 до 200-250 тыс. т в месяц), существенные изменения и расширение сортамента прокатной продукции, а также ее поставка в страны дальнего зарубежья приводят к аритмии

производственного процесса.

С другой стороны, существенно увеличилась неравномерность подвода сырья и особенно динамика входящего поездопотока с массовым сырьем, когда интервалы прибытия маршрутов, вместо плановых 3-3.5 часов, в 65-70% случаев составляют 0.5-1.5 часа. Возросло число и усложнились требования операторов-перевозчиков по условиям использования вагонов ВП.

Совместное влияние этих факторов привело к рассогласованию ритмов работы производственных цехов и транспорта в пунктах их взаимодействия. В связи с указанным, грузовые комплексы цехов, а также железнодорожные станции, обслуживающие этот процесс по всей цепи материалодвижения, стали объектами волнообразного изменения (аритмии) объемов транспортной работы. Это приводит к значительному росту продолжительности межоперационных ожиданий и простоя вагонов.

Таким образом, стало очевидным, что в создавшихся условиях традиционные формы и способы взаимодействия производства и транспорта в процессе материалодвижения показывают свою неэффективность, а управление ПТС, акцентированное на перевозке, при котором транспорт лишь подстраивается под нужды производства, уже не отвечает современным требованиям и приводит к значительным транспортным издержкам и производственным потерям. Такое положение в условиях рыночной конкуренции недопустимо. В то же время, традиционно не учитывается общность производственных интересов и тот факт, что участники процесса материалодвижения работают на единый экономический результат [1, 2].

Необходимо отметить, что в отличие от макрологистики и управления цепями поставок, вопросы внутрипроизводственной транспортной логистики в рамках поставленных задач не получили до настоящего времени должного развития. В то же время, все настоятельнее требуется разработка аналитических методов и моделей внутрипроизводственной транспортной логистики, которые позволят выполнять конкретные многовариантные расчеты, связанные с анализом и синтезом логистических систем управления именно процессом материалодвижения предприятий. Одним из таких важных вопросов является разработка методов и моделей, объединяющих несколько логистических функций и требующих оптимизации издержек в логистических цепях, например, в процессе взаимодействия производства и транспорта в цепи материалодвижения.

Следовательно, в создавшихся условиях важнейшей проблемой становится создание действенного механизма управления, обеспечивающего на всех этапах процесса материалодвижения металлургических предприятий высокую эффективность взаимодействия производства и транспорта, а также перенос акцента на активизацию ресурсов производства. Только такой подход позволит существенно сократить имеющие место производственные потери.

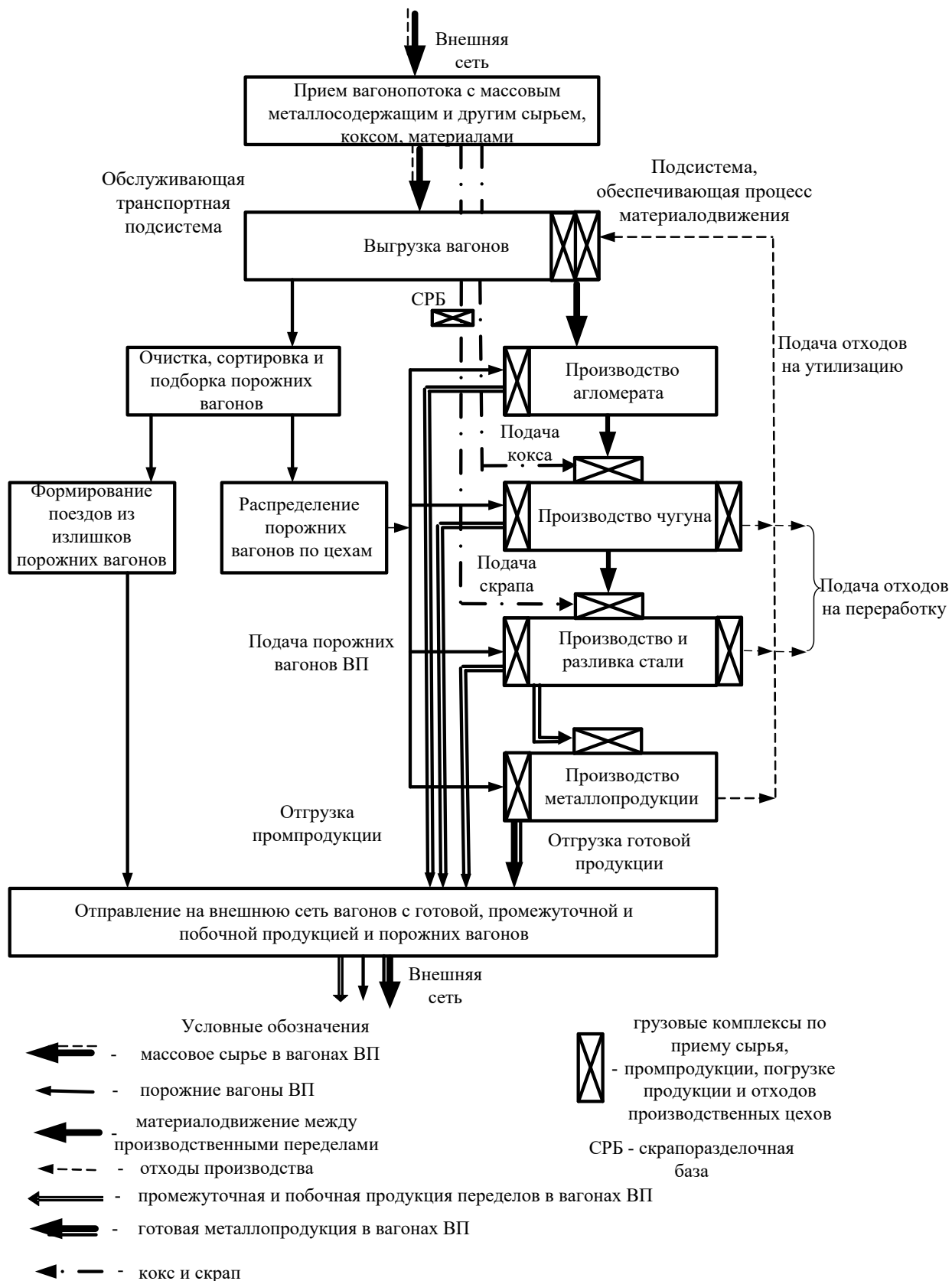


Рис. 1. Функциональная схема процесса материалодвижения, формирующая производственно-транспортную систему металлургического комбината

Решение поставленной проблемы связано с необходимостью перехода от управления железнодорожными перевозками на логистическое управление процессом материалодвижения предприятий. При этом базовыми вопросами становятся интеграция функций производства и транспорта в единый цикл на основе технического, технологического и информационного сопряжения их работы, а также развития перерабатывающих мощностей транспортной инфраструктуры, обеспечивающих оптимизацию процесса материалодвижения и сокращение общей продолжительности переработки вагонопотока и производственных потерь. Эти решения в комплексе создают основу для их интеграции в единую логистическую систему управления процессом материалодвижения предприятий как синтез-поток, включающим материальный и информационный потоки (поскольку финансовый поток здесь отсутствует), а объединяющей основой становится процессное представление оборотного капитала [1, 2].

Таким образом, целью работы является формирование логистической концепции (технологии) управления процессом материалодвижения металлургических предприятий. В первую очередь, это касается вопросов управления переработкой вагонов внешнего парка (ВП).

2. Теория, методы исследований, модели и технологические разработки

Проведенный анализ показал, что логистическое управление процессом материалодвижения металлургических предприятий, как объект исследования, следует отнести к системотехническим комплексам, а проблему ее решения – к слабо структурированным. Поэтому в качестве общей методической основы исследования выбраны принципы системного анализа.

Исследованиями [3] установлено, что на макроуровне логистический подход к процессу материалодвижения сложно-технологических производств (в частности, металлургических предприятий) требует описания его как иерархически сложной системы, в которой каждый технологический этап производства представляет собой подсистему, которая, в свою очередь, состоит из объектов более низкого уровня.

Вместе с этим, процесс материалодвижения рассматриваемых предприятий характеризуется сложной структурой, включающей несколько этапов, имеющих собственную структуру, отличающуюся как видом выпускаемой продукции, технологическими процессами, применяемым оборудованием и др., так и характером взаимодействия.

В связи с указанным, для описания процесса материалодвижения как системы, принята единообразная форма объектного представления моделей каждого этапа этого процесса по схеме «склад – агрегат – склад». При этом в каждом технологическом этапе выделяются:

- агрегаты, осуществляющие целенаправленное изменение состояния продукции, ее формы и др.;
- склады, в которых происходит изменение про-

странственного положения продукции и контроль ее состояния, определяющий дальнейшую траекторию движения.

Не затрагивая производственного процесса, такая модель позволяет, для имеющей место постоянной повторяемости функциональных циклов, определить принципы взаимодействия производства и транспорта между переделами, обозначить соответствующие им структуру операций, а также идентифицировать характеристики этих операций.

Принципиальная структурно-объектная модель процесса материалодвижения металлургических предприятий на макроуровне формируется на основе интегрирования иерархической структуры и объектного представления этапов производства (рис. 2). Принятые в основу модели технические данные, определяющие технологическую траекторию материалодвижения металлургического комбината с объемом производства до 4.5 млн т продукции в год, приведены в табл. 1 [1].

Для структуризации и исследования процесса материалодвижения на микроуровне, в работе произведена декомпозиция общей задачи на взаимосвязанные подзадачи, отражающие реальный процесс транспортного обслуживания предприятия. Декомпозиция позволила провести функциональный анализ, установить и дифференцировать узлы взаимодействия производства и транспорта, а также идентифицировать их технико-эксплуатационную характеристику по переделам предприятия и ПТС в целом, как основы для их углубленного исследования с целью последующего перехода на логистическое управление.

Проведенный анализ позволил установить, что процесс материалодвижения металлургических предприятий представляет собой логистическую цепь и характеризуется целым рядом специфических особенностей, которые были отмечены еще в работах проф. Смехова А.А. [4, 5].

Итоги анализа позволяют сделать следующие выводы.

1. Процесс материалодвижения представляет собой по всей траектории многоэтапную, параллельную (поточную) технологию продвижения предметов труда, включающую этапы функционального взаимодействия производства и транспорта, то есть фазовую трансформацию или грузопереработку.

2. Грузопереработка предметов труда производится по схемам «вагонопоток – грузопоток – вагонопоток» и характеризуется различными объемами и видами груза, эксплуатационными условиями, применением различных технических средств и подвижного состава. Однако до настоящего времени продолжительность грузопереработки по различным схемам не идентифицирована, а сами схемы не формализованы, что препятствует их интерпретации и моделированию.

3. На отдельных этапах транспортного обслуживания предприятий, в соответствии с видом и адресованием грузов и типом используемых вагонов ВП и ЗП парков, производится селективное разделение вагонопотоков на группы вагонов, а после их переработки в производственных цехах – селективное объединение в новые группы. Эта транспортная

работа выполняется в значительных объемах, однако, ее неравномерность учитывается не всегда и недостаточно, что существенно снижает перерабатывающую способность транспортной инфраструктуры (путевых емкостей, горловин, сортировочных устройств станций).

4. По всей траектории материалодвижения от приема сырья до отгрузки продукции постоянно приходится иметь дело с повторяющимися во времени и последовательно выполняемыми комплексами

операций с вагонами в определенном количестве и различного назначения. Эти комплексы операций образуют логистический цикл.

5. Наблюдается недостаточная синхронность материального и информационного потоков, в частности, существующие на промышленных предприятиях постсоветского пространства системы экспедирования при отгрузке продукции характеризуются низкой надежностью и эффективностью.

Таблица 1

Идентификация потоков, формирующих процесс материалодвижения металлургических предприятий

№ п/п	Признаки	Функциональная характеристика потоков				отправка готовой продукции на внешнюю сеть
		прибытие массового сырья с внешней сети	технологические перевозки грузов в процессе производства			
			продукты плавки	компоненты шихты	вторичное сырьё	
1	Вид груза	Металлосодержащее сырьё, флюсы, кокс, металлолом и др.	Расплавленные чугун, сталь в изложницах, доменный и сталеплавильный шлаки	Агломерат, скрап, известь и др.	Переработанный шлак, колошниковая пыль, отсев кокса, отходы металла и др.	Прокатная продукция, литая заготовка, чушковый чугун, гранулированный шлак
2	Тип и принадлежность подвижного состава	Полувагоны, платформы, крытые вагоны. Подвижной состав внешнего парка и операторов-перевозчиков	Технологический подвижной состав (чугуновозы, шлаковозы и др.). Подвижной состав заводского парка	Специализированные вагоны (агловозы, полувагоны, платформы и др.). Подвижной состав заводского парка		Полувагоны, платформы, крытые вагоны. Подвижной состав внешнего парка и операторов-перевозчиков
3	Производственный регламент организации перевозок	Переработка и выгрузка вагонов производится по мере прибытия с внешней сети	Организация перевозочного процесса определяется графиком выпуска продуктов плавки производственных агрегатов в пунктах погрузки. Дополнительное требование – снижение потерь температуры при перевозке металла	Организация перевозочного процесса определяется графиком работы производственных агрегатов в пунктах погрузки и выгрузки		При прямой отгрузке – организация подачи и погрузки вагонов производится по графику выхода прокатной продукции. При складской отгрузке - по плану отгрузки цеха
4	Структура транспортной технологии	Коммерческий и технический приём и расформирование маршрутов, выгрузка, очистка и распределение вагонов для использования под погрузку	Полный цикл операций транспортной технологии: погрузка груза; перевозка к пунктам приёма; выгрузка груза; подача порожнего подвижного состава на пункты погрузки. Расстановка вагонов по фронтам погрузки-разгрузки и их уборка			Подача порожних вагонов цеху, постановка вагонов в цех, погрузка металлопродукции, оформление перевозочных документов, отправка гружёных вагонов для сдачи на внешнюю сеть
5	Связь материального потока с информационным потоком	Информационный поток непосредственно сопровождает материальный поток, связан с ним и реализуется на бумажных носителях	Информационный поток движется по производственным каналам связи (передачи информации) и непосредственно с материальным потоком не связан			Информационный поток непосредственно сопровождает материальный поток, связан с ним и реализуется на бумажных носителях
6	Управление и организация перевозок	Диспетчерское управление	Нормативные контактные графики	Контактные графики		Диспетчерское управление

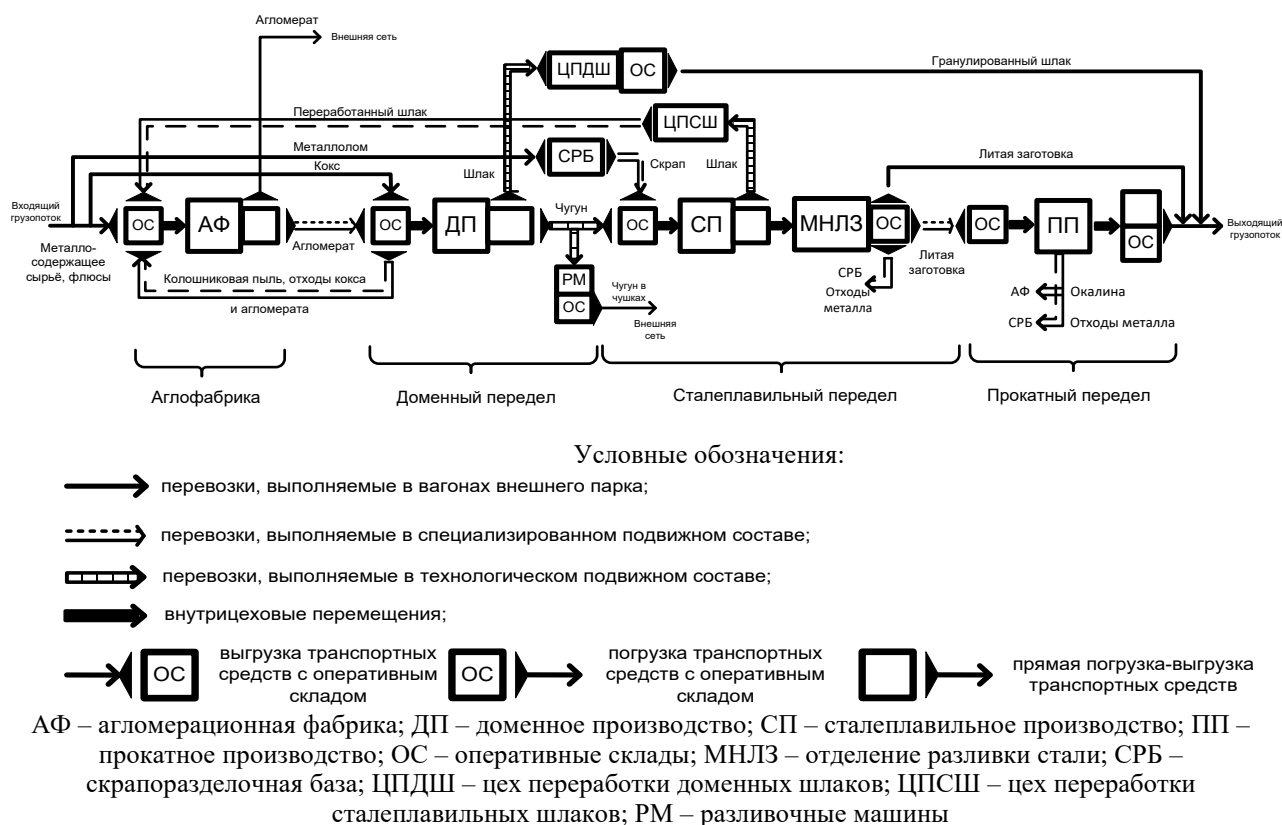


Рис. 2. Объектно-структурная модель процесса материалодвижения производственно-транспортного комплекса металлургического комбината

В то же время, достаточно очевидно, что процесс материалодвижения как сложноорганизованная техническая система, должен быть способен удерживать свои основные параметры в допустимых пределах при изменении условий, в которых он осуществляется. Однако в настоящее время, при управлении рассматриваемым процессом, данное требование не обеспечивается.

Результаты системного анализа проблемы дают основание считать, что металлургический процесс представляет собой крупносерийное промышленное производство, а в решении проблем материалодвижения огромную роль играет организация производства (Industrial Engineering). В рассматриваемых условиях организация ПТС предприятия отражает уровень внутренней упорядоченности и согласованности взаимодействия её звеньев в процессе материалодвижения. При этом считается, что определяющая роль в повышении эффективности производства принадлежит менеджменту, – то есть «организация производства делает деньги» [14].

Результаты системного анализа позволили также установить, что формирование логистической концепции (технологии) системного управления процессом материалодвижения металлургических предприятий должно основываться на принципах производственного менеджмента и связано с необходимостью решения следующих задач:

1. разработки метода эффективного логистического-

го взаимодействия производства и транспорта на всех этапах процесса грузопереработки;

2. формирования структуры и идентификации параметров функциональных циклов логистической системы, разработки метода и модели их оптимизации;

3. формирования логистической концепции (технологии) процесса материалодвижения;

4. определения оптимального порядка согласованного функционирования логистической системы, ее подсистем, звеньев и модулей, а также управления процессом материалодвижения.

Основываясь на указанных далее в работе положениях, рассматриваются проблемы формирования концепции (технологии) логистического управления процессом материалодвижения металлургических предприятий – определяются функции, структура и идентифицируются технологические показатели (в первую очередь, временные) на этапах грузопереработки, транспортного обслуживания, а на завершающем этапе – результирующие показатели системных циклов.

Одной из важнейших функциональной особенностью процесса материалодвижения рассматриваемых предприятий, учитывая их сложно-технологический характер, является многократное взаимодействие производства и транспорта непосредственно в пределах на этапах фазового преобразования материального потока по схеме «вагонопоток – грузопоток

(производственный поток) – вагонопоток» или грузопереработка [1]. Такая трансформация определяется родом груза, количеством вагонов в цикле, технологическими требованиями и регламентом производства, а также эксплуатационными условия-

ми. В связи с указанным, в узлах грузопереработки возникает необходимость применения различных структурных схем переработки груза. Основные структурные схемы грузопереработки материального потока приведены на рис. 3.

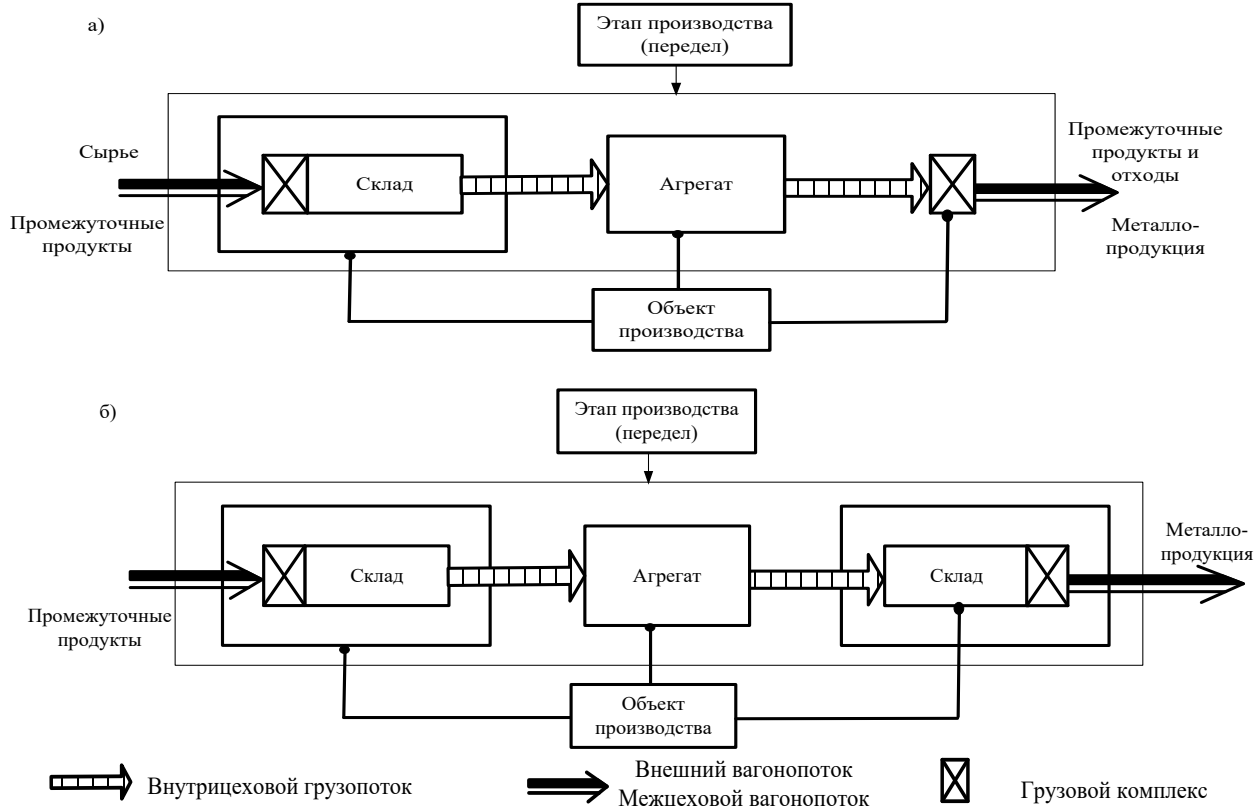


Рис. 3. Структурные схемы грузопереработки (фазового преобразования) процесса материалодвижения в металлургических переделах: а – выгрузка через склад и прямая погрузка вагонов; б – выгрузка и погрузка вагонов через склад

Они предусматривают:

а) прием отдельных струй вагонопотока с компонентами сырья и промпродуктов на склад, а после их переработки в металлургическом агрегате, выдачу и погрузку продукции непосредственно в вагоны;

б) прием промпродуктов на склад, а после их переработки в металлургическом агрегате, выдачу и погрузку продукции в вагоны также через склад.

Для переделов металлургических предприятий основной, в процессе материалодвижения, является первая схема, определяемая общими технологическими признаками агломерационного, доменного и сталеплавильного производств. Они предусматривают: на входе (сырьевая сторона) – прием на оперативный склад значительного объема компонентов сырья и подготовку заданного состава шихты; после ее переработки в металлургических агрегатах, на выходе (продуктивная сторона), – погрузку продукции (высокотемпературного агломерата, расплавленного чугуна, стали и шлаков) непосредственно в транспортные средства.

Роль оперативных складов на входе выполняют: на аглофабриках – усреднительные склады; в доменном производстве – бункерная эстакада и рудный двор; в сталеплавильных цехах – стационарный

миксер и отделение подготовки скрапа. На выходе этих переделов технологический и организационный регламент погрузки продукции в транспортные средства определяется производственными требованиями и осуществляется через специальные грузовые комплексы. Промежуточные накопительные емкости на погрузке продукции отсутствуют.

В прокатных цехах применяются обе технологические схемы, определяемые видом металлопродукции. При этом здесь возрастает доля прямой погрузки. На переработке и утилизации отходов производства используются и другие упрощенные технологические схемы.

Проведенные исследования [1, 2] показывают, что узлы грузопереработки производственных переделов характеризуются: родом груза, типом и количеством перерабатываемых вагонов, технологией и организацией работ, числом и вместимостью грузовых фронтов, регламентом грузовых работ, а также видом и перерабатывающей способностью выгрузочно-погрузочного оборудования.

Вместе с этим, при радикальном изменении производственной среды, увеличении аритмии производства и динамики подвода массового сырья, определяющими факторами для узлов грузопереработки стали

признаки производственного (грузового) и транспортного потоков, взаимодействующих в процессе материалодвижения и характеризующих их свойства непрерывности и регулярности. Анализ схем грузопереработки на базовом металлургическом комбинате (рис. 3) позволил идентифицировать эти признаки и установить следующее. На внешних узлах грузопереработки, где используются вагоны ВП, взаимодействуют: при выгрузке сырья – вероятностный транспортный и детерминированный грузовой потоки; на погрузке металлопродукции – вероятностный грузовой и детерминированный транспортный потоки. В обоих случаях потоки являются дискретными. В узлах грузопереработки металлургических переделов, где используется специализированный подвижной состав ЗП, на входе и выходе взаимодействуют непрерывный производственный и дискретный транспортный потоки, которые характеризуются свойством детерминированности.

Стало также очевидным, что эффективное взаимодействие производства и транспорта будет обеспечено только в том случае, когда в основу технологии грузопереработки будут положены указанные признаки сопряжения потоков.

У действующих металлургических агрегатов это требование выполнено только на входе. Применяемая здесь технология грузопереработки эффективна и постоянно совершенствуется в процессе развития и перевооружения основного производства. Например, с увеличением полезного объема доменных печей. На выходе металлургических агрегатов (в первую очередь агломерационных и доменных) грузопереработка, основанная на непрерывной прямой погрузке промпродукции в транспортные средства, остается проблемной и требует применения принципиально новой эффективной технологии, новых технологических решений на самих металлургических агрегатах. Например, у доменных печей большого объема применение придоменной грануляции шлаков позволило полностью исключить их перевозку на шлакопериеработку.

На внешних узлах грузопереработки, в усложнившихся эксплуатационных условиях, транспортный поток на выгрузке сырья и грузовой поток на подготовке и погрузке металлопродукции трансформировались в вероятностные потоки. В связи с указанным, применяемые здесь технологии уже не обеспечивают заданных объемов грузопереработки, что вносит серьезные осложнения в процесс материалодвижения и приводит к значительному росту затрат, в частности, платы за пользование вагонами ВП. Однако, как показывают исследования [22], эти проблемы могут быть решены за счет совершенствования организации процесса грузопереработки путем регулирования ее технологических параметров и ввода ресурсов производства.

Таким образом, вышеизложенное дает основание считать, что весьма актуальной, важной и самостоятельной задачей для процесса материалодвижения в целом является решение вопросов повышения эффективности работы узлов грузопереработки на его входе и выходе, что обеспечит значительное снижение прямых производственных потерь предприятий.

Взаимодействие производства и транспорта, как поточный процесс, в условиях действия фактора неравномерности происходит вдоль цепи материалодвижения. Поэтому для его исследований принимается методология производственного менеджмента, которая развивается применительно к рассматриваемому вопросу [3, 6, 7].

Параллельный (поточный) способ производства характерен одновременным выполнением всех операций, то есть, когда число предметов труда в работе равно числу операций. В этом случае длительность производственного цикла перемещения предмета труда определяется по формуле

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^m t_i + t_{\text{max}(n-1)}, \quad (1)$$

где t_i – продолжительность выполнения i -ой операции, $i=1,2,\dots,m$; m – число операций в производственном цикле; n – число единиц предметов труда в перечне; t_{max} – продолжительность наиболее длительной операции.

Непрерывность процесса при параллельном движении предметов труда, то есть обеспечение равенства продолжительности определенного количества операции грузопереработки, должна достигаться путем применения предложенного метода выравнивания, в результате применения которого достигается снижение неравномерности производственного и транспортного процессов.

Данный метод основывается на формировании нормативного технологического цикла грузопереработки маршрутного поезда или заданной группы вагонов ($T_{\text{мц}}^r$), продолжительность которого определяется объемом и требованиями производства или перерабатывающей способностью грузового комплекса. Продолжительность нормативного технологического цикла определяется как сумма продолжительности тактов работы грузового и транспортного модулей (его базовых структурных составляющих), и принимается за критерий управления процессом.

Например, продолжительность нормативного технологического цикла грузопереработки, при выгрузке маршрутного поезда с железосодержащим сырьем на грузовой станции, записывается в виде

$$T_{\text{мц}}^r = \sum t_{\text{м}}^r + \sum t_{\text{м}}^r. \quad (2)$$

где $\sum t_{\text{м}}^r$ – продолжительность такта работы транспортного модуля, включающий затраты времени на прием маршрутного поезда на пути технологической линии грузовой станции, коммерческий и технический осмотр поезда, на ожидание выгрузки, на расформирование поезда и подачу груженых вагонов группами на пути надвига вагоноопрокидывателей; $\sum t_{\text{м}}^r$ – продолжительность такта работы грузового модуля (с учетом количества вагонов в группе).

Продолжительность фактического технологического цикла грузопереработки $T_{\text{мц}}^{\text{ф}}$ определяется путем синхронизации тактов работы модулей конкретно по каждому производственному цеху для операций выгрузки сырья и погрузки продукции, в соответствии с технологическим и организационным регламентами, условиями работы, применяемым

типом грузоподъемного оборудования и числом вагонов.

По результатам анализа фактического цикла ($T_{\text{ф}}^{\text{т}}$) устанавливается операция с наибольшими продолжительностью (t_i) и неравномерностью, существенно влияющая на простой вагонов. Эта операция принимается за управляемую переменную. Выявляется производственный фактор (P_i), являющийся причиной неравномерности. Такими факторами могут быть, например, неравномерность прибытия с внешней сети маршрутных поездов с железосодержащим сырьем, сверхнормативные затраты времени на экспедирование и подготовку сопроводительной документации при отгрузке продукции в вагоны ВП и др. Зависимости $t_i = f(P_i)$ определяются с использованием имитационных моделей [8, 9]. Полученные значения продолжительности операций – управляющих переменных используются для расчёта продолжительности циклов ($T_{\text{ф}}^{\text{т}}$) для различных эксплуатационных условий взаимодействия производства и транспорта, оценки величины простоя заданной группы вагонов.

Логистическое управление грузопереработкой, обеспечивающее синхронизацию работы модулей, производится путем соответствующего воздействия на фактор (P_i) по условию

$$T_{\text{ф}}^{\text{т}} \leq T_{\text{т}}^{\text{т}}. \quad (3)$$

Применяя описанный метод, представляется возможным устанавливать величину и причины межоперационных ожиданий и простоев вагонов, определять пути повышения эффективности взаимодействия производства и транспорта. Это производится на основе рассмотрения и оценки вариантов воздействия на производственные факторы P_i , а также выбора адаптационных решений, обеспечивающих минимизацию общих затрат и дополнительное использование ресурсов производства.

Одним из основных понятий, которые необходимы для интегрированного анализа комплекса операций процесса материалодвижения, является логистический цикл (или функциональный цикл), представляющий собой комплекс определенным образом взаимосвязанных и организованных во времени, систематически повторяющихся производственных и транспортных операций, обеспечивающих производственные цехи в установленные сроки заданным количеством вагонов определённого типа. Данный цикл определяет интервал времени между началом выполнения очередной и последующей технологически законченной группами операций [10, 11]. Логистический цикл складывается из продолжительности грузопереработки сырья, промежуточной или готовой продукции, как его функциональной основы, а также продолжительности выполнения необходимых операций транспортного обслуживания. Следовательно, функциональный цикл обслуживания производственного объекта выполняет важнейшую интегрирующую роль по формированию непрерывного процесса материалодвижения, связывая в каждом потоке всех его участников, а потоки между собой.

Для процесса материалодвижения металлургических предприятий характерны системные (полный и

локальный) и технологические (функциональные) циклы.

Полными системными циклами ($T_{\text{ис}}$), характеризующими функционирование ПТС предприятия в целом, являются основные потоки (струи) переработки вагонов ВП с массовым сырьем (рудный концентрат, руда, флюсы и др.). Они определяют общую продолжительность их выгрузки, переработки, погрузки продукции и передачи на внешнюю сеть груженых вагонов и неиспользуемого порожняка. Итоговым показателем этих циклов является плата за пользование вагонами или время пребывания ВП в ПТС. К системным циклам также относятся локальные транспортные потоки при обслуживании металлургического передела с использованием подвижного состава ЗП. Итоговым показателем данных циклов является продолжительность цикла транспортного обслуживания производственного объекта.

В рамках системных циклов выполняются технологические (функциональные) циклы грузопереработки ($T_{\text{т}}^{\text{т}}$), которые были рассмотрены выше, а также транспортного обслуживания производственных, грузовых и складских объектов по селективному разделению и объединению групп вагонов при их переработке. Продолжительность транспортного цикла $T_{\text{т}}^{\text{т}}$ определяется технологическими процессами переработки вагонопотоков на станциях, а также временем передачи групп вагонов между ними.

Транспортный цикл включает обычно несколько транспортных модулей ($t_{\text{м}}^{\text{т}}$), которые представляют собой законченную группу специализированных технологических операций, формирующих цикл. Продолжительность их выполнения и является определяющим фактором процесса переработки вагонопотока. Следовательно, продолжительность выполнения транспортного цикла можно записать как

$$T_{\text{т}}^{\text{т}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{м}}^{\text{т}}. \quad (4)$$

Продолжительность выполнения отдельных операций, а, следовательно, и модулей в целом, представляют собой случайные величины и подчиняются определенным законам распределения.

В общем виде структура продолжительности системного полного цикла приема, переработки и отгрузки продукции в вагонах внешнего парка представлена на **рис. 4**. Таким образом, продолжительность полного системного цикла составляет

$$T_{\text{ис}} = \sum T_{\text{т}}^{\text{т}} + \sum T_{\text{ц}}^{\text{т}}. \quad (5)$$

Локальные системные циклы ($T_{\text{ис}}$) характеризуют по каждому производству (агломерационному, доменному, сталеплавильному и прокатному) комплекс операций, определяющий продолжительность циклов поструйной грузопереработки технологических грузов, а также транспортного обслуживания этих производств. Грузопотоки технологических грузов на входе в металлургический передел – это компоненты сырья и топлива, на выходе – готовая и промежуточная металлопродукция и отходы. Специфической особенностью локальных системных циклов является необходимость обеспечения техноло-

гического регламента при транспортном обслуживании металлургических производств. Общий методический подход к расчету рассматриваемых системных циклов аналогичен приведенному выше. Однако он

учитывает ряд дополнительных технологических показателей и требует отдельного рассмотрения.

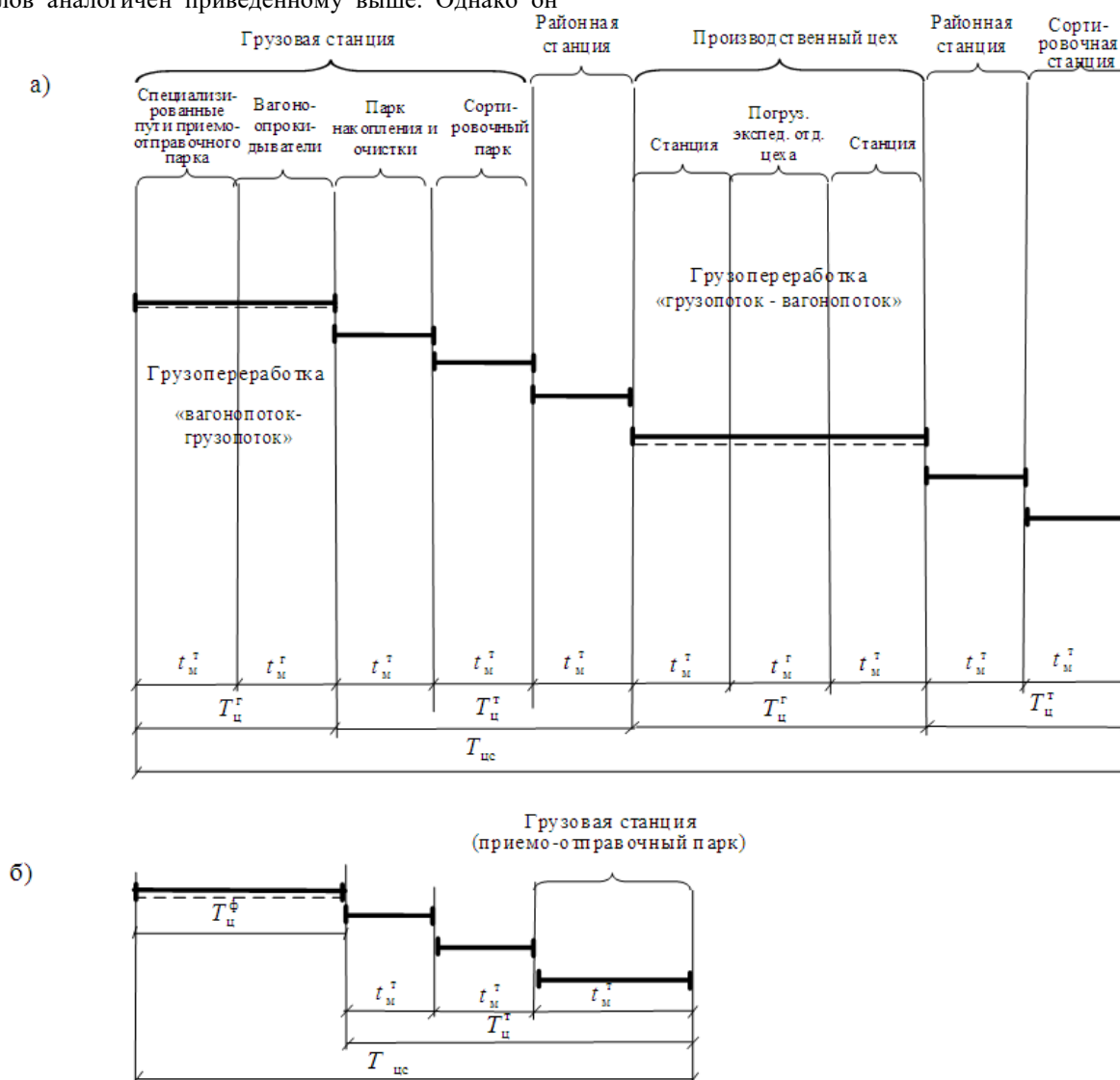


Рис. 4. Структура полного системного цикла приема и переработки вагонов внешнего парка ($T_{ис}$): а) при повторном использовании порожних вагонов для отгрузки продукции; б) при формировании поездов из излишков порожняка по операторам-перевозчикам и сдачи их на внешнюю сеть

В условиях постоянного рассогласования ритмов работы производственных цехов и транспорта по всей цепи процесса материалодвижения объекты транспортной инфраструктуры испытывают волнообразное изменение (аритмию) объемов транспортной работы, что приводит к увеличению продолжительности межоперационных ожиданий и дополнительным простоям вагонов внешнего парка. Наиболее негативно создавшееся положение отражается на работе железнодорожных станций предприятия: грузовой, сортировочной, районных и технологических.

В связи с вышеизложенным, в полном системном цикле должна обеспечиваться постоянная технологическая и организационная взаимосвязь циклов грузопереработки и транспортных циклов. Динамику этим

функциональным циклам придает необходимость согласования потребности в ресурсах на «входе» и «выходе». «Входом» в системный цикл является величина перерабатываемого вагонопотока, определяемая производственными требованиями. Логистический системный цикл, включающий комбинацию различных функциональных циклов, должен обеспечить выполнение этого объема транспортной работы. «Выход» системы – ожидаемая продолжительность выполнения логистических операций [11].

Степень, с которой функциональные циклы удовлетворяют операционным потребностям – то есть продолжительность их выполнения, отражает производительность структуры системного цикла. Эффективность же системного цикла в целом определяется

затратами ресурсов производства и транспортной инфраструктуры. Производительность и эффективность системных циклов – ключевые показатели в логистическом менеджменте процесса материалодвижения. Таким образом, системные циклы формируют цепь материалодвижения, связывают между собой ее участников показателями производительности и затрат ресурсов, определяют единый экономический результат ее функционирования, являются основными объектами проектирования и оперативного управления в логистической системе. Оптимизированная структура системных циклов является базой для построения интегрированной логистики [11].

Весьма важно отметить также, что работа на единый экономический результат в процессе материалодвижения требует синтеза материального и информационного потоков, а также постоянного контроля за их движением в рамках системного цикла. При этом синтез-поток, помимо материального, включает ещё две составляющие: информацию, представленную товаросопроводительной документацией; информацию, обеспечивающую управление процессом материалодвижения. Следовательно, при любой сложности ПТС предприятия в целом, необходимо по каждому потоку (струе) переработки заданного количества вагонов исследовать траекторию их продвижения в рамках системного логистического цикла, идентифицировать и оптимизировать параметры цикла грузопереработки, а также транспортных циклов, в совокупности образующих операционную систему.

На основе проведенных нами исследований представляется возможным сформировать целевую функцию оптимизационной задачи выполнения логистического цикла. Одной из основных проблем логистического управления является уменьшение неопределенности логистического цикла [10]. Для условий металлургических предприятий источниками неопределенности в процессе материалодвижения являются:

- случайные величины $\bar{T}_u^\phi$, которые определяют продолжительность выполнения операций грузопереработки, то есть цикла фазовой трансформации в целом, с увязкой параметров входящего и выходящего грузопотоков с учетом степени их непрерывности и регулярности и, что особенно важно, определяют сопутствующие производственные и транспортные издержки;
- случайные величины $\bar{T}_u^\tau$, характеризующие пооперационную продолжительность выполнения отдельных транспортных модулей, которые описываются различными законами распределения и определяют величину транспортных издержек, обусловленных перерабатывающей способностью транспортной инфраструктуры, то есть определить потребности в ресурсах на «входе» и «выходе».

Следовательно, экономико-математическая оптимизационная модель выполнения системного логистического цикла для струи вагонопотока в процессе материалодвижения может быть представлена в общем виде следующим образом

$$\sum_{i=1}^n \{C_i^\phi + C_i^\tau\} (t) \phi(\bar{T}_{ui}^\phi, \sigma_i) + \sum_{j=1}^m C_j^\tau (t) \phi(\bar{T}_{uj}^\tau, \sigma_j) \rightarrow \min, \quad (6)$$

где C_i^ϕ и C_i^τ – издержки, соответственно, производства и транспорта при выполнении i -го цикла грузопереработки; ϕ – закон распределения случайной величины; $\bar{T}_{ui}^\phi$ – среднее значение продолжительности i -го цикла грузопереработки; σ_i – средне-квадратическое отклонение продолжительности i -го цикла грузопереработки; C_j^τ – издержки транспорта при выполнении j -го транспортного модуля; t – продолжительность цикла грузопереработки или затраты времени на выполнение транспортного модуля, определяющая величину издержек на выполнение данного цикла или модуля; $\bar{T}_{uj}^\tau$ – среднее значение продолжительности j -го транспортного модуля; σ_j – средне-квадратическое отклонение продолжительности j -го транспортного модуля.

Таким образом, разработанная на основе логистических принципов оптимальная структура системных и функциональных циклов, а также их продолжительность и соответствующие издержки производства и транспорта, могут быть приняты в качестве базовых показателей для формирования единой математической модели интеллектуальной системы управления процессом материалодвижения предприятий.

Выбор логистической концепции управления процессом материалодвижения промышленных предприятий

Одним из основополагающих вопросов проводимых нами исследований является обоснование, выбор и формирование логистической концепции (технологии) системного управления процессом материалодвижения предприятий. Его целесообразно начать с краткого анализа и определения особенностей развития логистики в странах с развитой рыночной экономикой [10, 11].

Начальный этап применения логистики (условно 1950-1970 годы) характеризуется обособленными локальными действиями по снижению составляющих затрат в сферах закупок, складирования, транспортирования и производства. Рынок не был насыщен, а спрос превышал предложение. В этот период основу концепции управления предприятиями составляли традиционные методы менеджмента, непосредственное реагирование на ежедневные колебания спроса на продукцию. Логистическая деятельность выборочно охватывала сферу снабжения, управления запасами и производственную деятельность.

В последующий период осознание роли потребителя, постепенное насыщение рынка товарами и усиление конкуренции привело к изменению принципов формирования запасов, сокращению их в производстве и увеличению в дистрибуции.

С постепенным увеличением спроса на продукцию (1970-1980 годы) основной концепцией управления предприятий стала стратегия маркетинга. Логистика поддерживала маркетинговую деятельность, обеспечивая доставку товаров в необходимом количе-

стве в нужное место и сроки, и обеспечивала их конкурентную стоимость. Важнейшую роль в этом процессе сыграл значительный прогресс в развитии информационных технологий и широкое внедрение компьютеров в бизнес. Это привело к повсеместному использованию экономико-математических методов и моделей в составе информационных систем и система автоматизированного управления технологическими процессами. Развитие концепции маркетинга, таким образом, создало основу для интеграции производства и распределения.

Текущий период (1990-2020 годы) характеризуется выходом логистики за пределы предприятия и управлением процессами продвижения материальных потоков в масштабе стран, регионов и мире в целом, то есть интеграцией функциональных областей логистики для достижения целей бизнеса. Кроме того, он характерен возникновением самостоятельных структур, главным предметом деятельности которых является оказание полноценного комплекса логистических услуг, то есть компаний – провайдеров. С другой стороны, все острее становится необходимость сквозного управления основными и сопутствующими логистическими потоками в интегрируемой структуре бизнеса самих предприятий. То есть логистика превращается в инструмент управления бизнесом.

Таким образом, развитие логистики непосредственно связано с эволюцией бизнеса и определяется ее фундаментальными концепциями. Следует отметить, что в логистике понятие «концепция» имеет два значения: концепция как определяющий замысел; концепция как методология, технология – стандартная последовательность выполнения технологического процесса, реализующая этот замысел.

Таковыми фундаментальными концепциями в логистике являются: информационная, маркетинговая и интегральная. Кратко рассмотрим сущность данных концепций.

Возникновение информационной концепции непосредственно связано с интенсивным развитием информационно-компьютерных технологий, которые выполняли поддерживающую роль при управлении отдельными видами логистической деятельности. Широкое применение на практике информационные технологии получили за счет использования информационно-программных модулей и технологий: MRPI, MRPII, DRP и др.

MRPI основана на производственных графиках, увязывающих потребительский спрос и комплексную информацию о материальных ресурсах и запасах, в результате чего определяется объем возможных заказов, а также их содержание и сроки доставки. На основе этих данных решение о производственной программе принимает логистический менеджмент. При этом в системе MRPI логистические операции, непосредственно связанные с транспортно-экспедиционными операциями, не рассматриваются вообще.

Дальнейшим совершенствованием информационной концепции явилось создание системы планирования ресурсов MRPII, которая представляет собой информационно-управляющую систему для промышленных предприятий. Она базируется на ряде взаимо-

связанных функций: бизнес-планировании, планировании производства и потребностях в материалах (MRPI), определении производственных мощностей и формирования оптимальных потоков материалов (сырья) полуфабрикатов и готовых изделий. Выходы этих подсистем взаимодействуют с имеющимся бюджетом и планируемыми инвестициями, на основе чего и принимается бизнес-решение. Несмотря на то, что используемые в настоящее время на практике корпоративные системы MRPII интегрируют основные функции внутри предприятия, они не содержат законченного контура или модуля «Логистика», системно охватывающего весь производственный процесс. Продолжают оставаться неохваченными такие функции производства как грузопереработка, экспедирование и транспортирование.

DRP и DRP II – это современные системы планирования поставок и запасов готовой продукции в дистрибутивных каналах, в том числе, у логистических посредников. Данные системы характеризуются использованием современных моделей и алгоритмов принятия решений.

Для построения логистической системы, обеспечивающей конкурентоспособность за счет оптимизации решений в распределении продукции, нашла применение и продолжает интенсивно развиваться маркетинговая логистическая концепция. Наиболее широкое распространение среди маркетинговых технологий получила система DDT или логистика, ориентированная на спрос, а также несколько вариантов реализации этой технологии. Среди них: технология быстрого реагирования – QR, суть которой состоит в оценке спроса в реальном масштабе времени и максимально полном и своевременном его удовлетворении с использованием современных информационных технологий; технология «непрерывного пополнения запасов» – CR, основанная на получении от розничных продавцов данных о продажах и определении потребностей в поставках им товарной продукции.

В последние годы усложнение рыночных отношений и, особенно, усиление конкуренции, сделало необходимым интенсификацию бизнес-процессов снабжения, производства и распределения. В этой связи корпорации начали формировать систему интегрированного логистического менеджмента на общей информационно-компьютерной платформе, объединившей функциональные области логистики (снабжение, поддержку производства и дистрибуцию) с технологически неотъемлемыми логистическими функциями – транспортировкой, грузопереработкой, экспедированием и отгрузкой, складированием, управлением запасами и др.

Современная интегрированная логистика предполагает сквозное управление потоками логистической системы, проходящими через все ее звенья. Однако это вполне согласуется с ее структурным делением на функциональные области (логистику снабжения, производства и распределения), деятельность которых подчиняется общей (корпоративной) цели всей системы в целом. Такое деление позволяет более точно определять и решать локальные задачи организации и контроля внутри звеньев и элементов логи-

стической системы, поскольку объектами практической логистики могут быть не только потоки, но и единичные транзакции. Последнее особенно важно и необходимо для развития пунктов грузопереработки продукции, а также транспортной инфраструктуры, определяющих процесс материалодвижения.

Обозначим основные концепции современной интегрированной логистики. К их числу следует отнести: TQM (Total Quality Management) – концепция всеобщего управления качеством; JIT (Just-in-time) – концепция (технология) построения логистической системы или организации логистического процесса в отдельной функциональной области, обеспечивающая доставку материальных ресурсов, промежуточной продукции, готовой продукции в заданном количестве, в нужное место и точно к назначенному сроку [10, 11]; LP (Lean Production) – стройное/плоское или бережливое производство, в основу которого положено исключение излишних операций (например, складирования и ожидания). Базируется на концепции JIT. VMI (Vendor-Managed Inventory) – усовершенствованная версия системы управления запасами поставщиков, основанная на использовании информационных технологий; SCM (Supply Chain Management) – «управление цепями поставок», служащее для связи и координации между поставщиками, потребителями – организациями (предприятиями) и их клиентурой; TBL (Time-based Logistics) – концепция, оптимизирующая фазы жизненного цикла продукции, начиная от научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок до послепродажного сервиса; ERP (Enterprise Resource Planning) – система планирования ресурсов предприятия, основанная на использовании информационных технологий; CSRP (Customer Synchronized Resource Planning) – расширяет функции ERP, планируя ресурсы с учётом требований заказчиков.

Основные логистические концепции (технологии), охватывающие разные области и функции логистики металлургического предприятия, а также взаимоотношение предприятий с поставщиками и потребителями обобщены и представлены на **рис. 5** [10].

Таким образом, имеются все основания считать, что в соответствии с функциональными особенностями, характерными для транспортного обслуживания металлургических предприятий, логистическое управление процессом материалодвижения в системном цикле переработки вагонов ВП должно основываться на концепции (технологии) JIT, которая широко распространена в практике корпораций [11]. С логистических позиций JIT – простая бинарная логика управления запасами без какого-либо ограничения к требованию минимума запасов, согласно которой процесс материалодвижения тщательно синхронизирован с потребностью, задаваемой производственным графиком выпуска продукции (полуфабрикатов, готовой и побочной продукции). Такая синхронизация представляет собой координацию (интеграцию) двух функциональных сфер логистики: транспортной поддержки производства и снабжения. Основная идея концепции JIT – гарантия того, что все элементы логистической цепи точно сбалансированы

на основе графиков организации производственной системы, определены моменты поставок, пополнения запасов, отгрузки производственных полуфабрикатов и готовой продукции.

Логистические системы, в которой используют технологию JIT, являются тянущими системами, в которых заказ на пополнение запасов производится тогда, когда их количество достигает критического уровня. Запасы «вытягиваются» по каналам физического распределения от предыдущего участника логистической цепи или посредника. Логистические циклы в таких системах характеризуются небольшой продолжительностью, а также участием посредников, которые занимаются консолидацией поставок, их отправкой, выполняют определенные логистические операции, повышающие добавленную стоимость товара, например, контроль качества, комплектацию, экспедирование, упаковку и др. Логистическая технология JIT, связанная с синхронизацией всех процессов, требует точной информации, достоверного прогнозирования и надежной телекоммуникационной системы и информационно-компьютерной поддержки.

Зарубежные исследователи [12, 13] отмечают, что технология JIT направлена на синхронизацию работы всех элементов логистической цепи, раннюю идентификацию требований по отгрузке продукции, а также обеспечение строгой дисциплины выполнения транспортно-грузовых операций. В итоге достигается значительное снижение производственных потерь корпораций.

Особый интерес представляет опыт производственной системы Toyota, которая, благодаря созданию и применению системы JIT «Канбан», снижает запасы практически до нуля [14, 15]. Система работает бесперебойно за счет того, что следующий процесс сам обращается на предыдущую стадию для вытягивания нужного ему количества деталей и материалов и делает это только тогда, когда он сам в них нуждается. Аналогично должен поступать и предыдущий процесс. Информация в системе Канбан передается по цепочке всем предшествующим операциям, и каждый процесс автоматически узнает, когда и сколько деталей он должен произвести. Большое число крупных зарубежных предприятий, реализовавших японский опыт, уже подтвердили, что применение технологии JIT позволяет добиваться весьма высокой эффективности с минимальными затратами [16].

Таким образом, при переработке вагонов ВП, логистическая технология JIT может формировать системный цикл (T_c), который основывается на синхронизации процессов грузопереработки и оптимизации продолжительности транспортных циклов. Такая интеграция способна обеспечивать выгрузку и перевозку компонентов сырья, полуфабрикатов и отгрузку готовой продукции в установленном объеме, заданные сроки, требуемого качества и, что особенно важно, оптимизацию общих логистических затрат.

В процессе наших исследований стала очевидной также необходимость применения новых методических подходов к расчету ряда эксплуатационных показателей транспортного обслуживания предприятий.

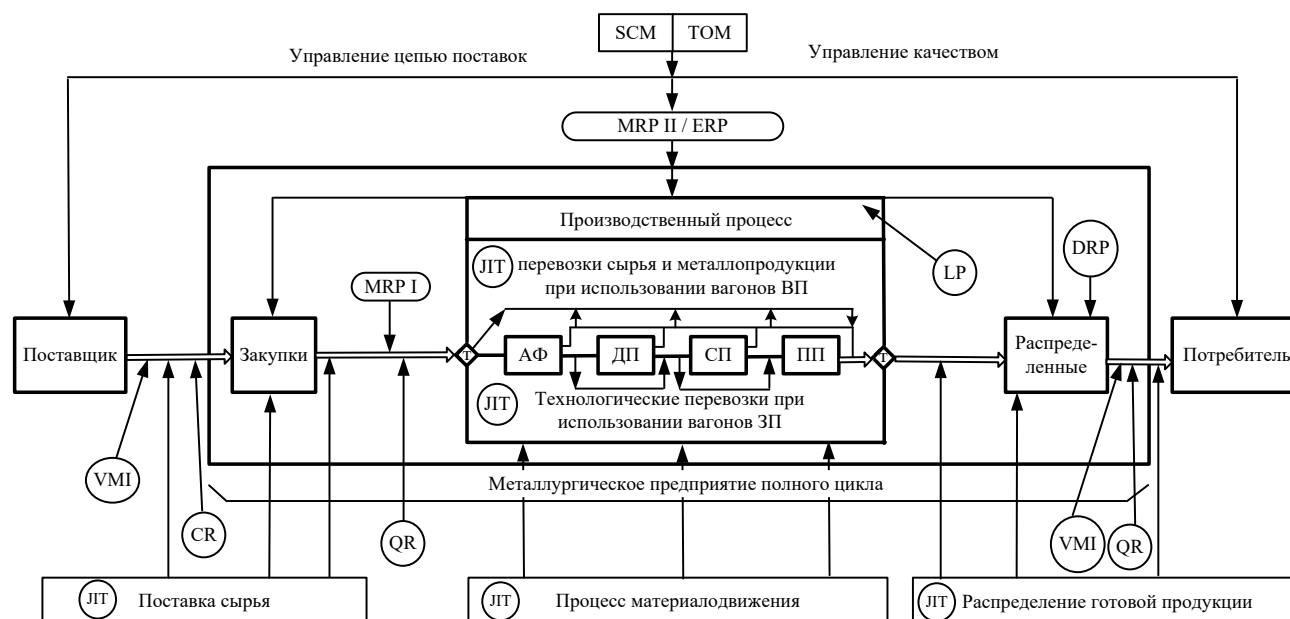


Рис. 5. Основные логистические концепции (технологии), охватывающие различные области и функции металлургических предприятий

Прежде всего, расчётная продолжительность операций каждого транспортного модуля (t_m^r) должна включать не только продолжительность нормируемых технологических операций ($t_{техн}$), но и случайные, в настоящее время не учитываемые, затраты времени (1-2 часа и более) на ожидание выполнения последующих операций ($t_{ож}$) [17]

$$t_m^r = \sum t_{техн} + \sum t_{ож}, \quad (7)$$

Следовательно, при обосновании транспортных решений процесса переработки вагонопотоков необходим переход от средних показателей времени к оценкам фактической продолжительности операций в каждом модуле. Необходимо также, чтобы методы принятия технологических решений позволяли определять не только изменения средней продолжительности переработки вагонопотока в данном цикле. Они должны оценивать и вероятность того, что указанное время не превысит нормативной величины и в следующем цикле. То есть, чтобы количество вагонов к началу операций грузопереработки было бы не меньше установленного для производственного плана экспедиционно-погрузочной службы [18].

Традиционный метод расчета наливной пропускной способности технических устройств станций (в особенности, горловин) лишь фиксирует сумму затрат времени на переработку вагонопотока. Однако, как показывает анализ баланса перерабатывающей мощности станций, этот метод не учитывает динамику вагонопотока и других случайных факторов, вызывающих дополнительный объем транспортной работы [19].

В связи с указанным, необходим переход к методу расчета требуемой (необходимой) пропускной способности. С этой целью в расчеты должен вводиться коэффициент резерва пропускной способности ($k_{рез}$), а суточная занятость технического устройства прини-

маться по выражению

$$t_{зан(треб)} = \frac{1440 \cdot t_{mo}}{k_{рез}}, \quad (8)$$

где t_{mo} – коэффициент, учитывающий время на техническое обслуживание.

Величина $k_{рез}$ принимается по отношению максимальной величины суточного вагонопотока к его величине в штатном (плановом) режиме работы.

Требуемая пропускная способность принимается на основе сопоставления с наливной

$$\frac{1440 \cdot t_{mo}}{k_{рез}} \geq \sum n_i \cdot t_i, \quad (9)$$

где n_i – число передвижений через элемент путевой схемы при различных видах транспортной работы; t_i – продолжительность соответствующего передвижения.

В связи с изменившейся производственной средой, увеличением неравномерности перевозок, а также проведением реконструктивных мероприятий по совершенствованию технологии основного производства, увеличилось число функций, выполняемых внутривозовскими станциями, особенно грузовыми и районными. Это приводит к значительному осложнению и увеличению объемов станционной работы и, в итоге, к увеличению простоя вагонов ВП.

Поэтому важное значение для перехода на логистическое управление приобретает также вопрос совершенствования компоновочно-конструктивных схем таких станций для обеспечения эффективной реализации каждой функции, сохраняя при этом системность их общего конструктивного решения [19]. Одним из таких решений является создание обособленной технологической линии грузопереработки, располагаемой параллельно основным паркам грузовой станции. Такая линия должна включать в себя: парк технологического отстоя и подготовки

маршрутных поездов к выгрузке; пути надвига вагоноопрокидывателей; парки накопления и очистки порожних вагонов. С основными парками грузовой станции эта линия связывается через горловины станции. Данная схема позволяет выполнять в приёмно-отправочном парке только операции коммерческого и технического осмотра прибывающих маршрутных поездов с сырьем, а отстой и операции по выгрузке составов этих поездов перенести на технологическую линию, что значительно увеличивает перерабатывающую способность станции [20]. Другим вариантом является резервирование специализированных путевых емкостей станции.

Одним из важнейших и первоочередных вопросов повышения эффективности взаимодействия производства и транспорта в процессе материалодвижения является формирование специализированных грузовых комплексов и решение экономико-оптимизационной задачи обоснования продолжительности функционального цикла $T_{\text{тн}}^r$ для каждого такого комплекса. Эти комплексы характеризуются родом груза, условиями функционирования, технологическими процессами, наличием информации, сопровождающей груз, а также типом применяемого подвижного состава. По совокупности указанных признаков следует применять два типа грузовых комплексов, которые переводятся на логистическое управление по принципу ЛТ [21, 22]. К ним относятся:

1. Транспортно-грузовые комплексы (ТГК), обеспечивающие выполнение грузовых операций с вагонами ВП:

- прием и выгрузку компонентов массового сырья, прибывающего в маршрутных поездах с внешней сети для подачи непосредственно в производство;
- погрузку полуфабрикатов и готовой металлопродукции для отправки потребителям;
- формирование поездов и возвращение операторам перевозчикам излишков порожняка.

2. Транспортно-технологические комплексы (ТТК), обеспечивающие транспортное обслуживание металлургических переделов с использованием технологического и специализированного подвижного состава ЗП:

- погрузку, перевозку между переделами и выгрузку промежуточной продукции, а также отходов производства на переработку;
- погрузку, перевозку и выгрузку железосодержащих отходов на утилизацию.

Логистические преимущества и экономический выигрыш в ТГК и ТТК достигается за счет синхронизации работы и системной интеграции всех участников цепи материалодвижения.

Результаты исследований

Полученные результаты исследований положены в основу методики расчета и проектирования логистического управления процессом материалодвижения металлургических предприятий, обеспечивающей системное повышение эффективности взаимодей-

ствия производства и транспорта. На первом этапе на основе этой методики проведены исследования по формированию, функционированию и оптимизации работы ТГК.

Предлагаемый общий метод исследований ТГК и обслуживающей транспортной подсистемы представляет собой последовательность формирования, расчета, моделирования и оптимизации по каждой струе вагонопотоков ВП следующих показателей:

- продолжительности грузопереработки потоков ($T_{\text{ч}}^r$), а также простоя вагонов, затрат ресурсов и их распределения;
- продолжительности транспортных циклов ($T_{\text{ч}}^r$), простоя вагонов, а также затрат ресурсов на транспортную инфраструктуру для обеспечения требуемой перерабатывающей способности, в первую очередь, элементов станций;
- продолжительности системных функциональных циклов ($T_{\text{сч}}^r$);
- разработку адаптационных мероприятий для ТГК и транспортной инфраструктуры;
- интеграцию системных циклов в операционную систему логистического управления ПТС.

Предложенная методология была применена при исследовании вопросов повышения эффективности работы транспортно-грузового комплекса по выгрузке массового железосодержащего сырья (до 800 вагонов в сутки) на аглофабрике крупного металлургического комбината. ТГК включает детерминированный по перерабатывающей способности выгрузочный модуль (группу вагоноопрокидывателей) и грузовую станцию [22].

Методический подход, имитационно-аналитическое моделирование и алгоритмы выполнения расчетов заслуживают отдельного рассмотрения. Здесь отметим лишь их основные практические результаты. Для повышения эффективности работы ТГК проведен весь комплекс исследований и разработан адаптационный цикл. Он включает: параметрическую адаптацию по оперативному управлению перерабатывающей способностью выгрузочного комплекса с вводом дополнительных мощностей в периоды сгущения интервалов прибытия маршрутов, а также структурную адаптацию, которая предусматривает совершенствование технологического процесса выгрузки маршрутов.

В рамках системной адаптации предложена принципиально новая конструктивно-компоновочная схема и параметры грузовой станции, разделяющие функции грузопереработки и транспортной работы, обеспечивающая увеличение ее перерабатывающей способности на 40%. Новые технологические и конструктивные решения по грузовой станции запатентованы. Общий экономический эффект превышает 35 тыс. \$ США в год. При этом он достигается преимущественно за счет ресурсов аглофабрики.

В настоящее время продолжаются исследования и по вопросам логистического управления процессом материалодвижения, связанным с работой ТТК.

Заключение

1. Процесс материалодвижения металлургических предприятий характеризуется параллельной (поточной) технологией поэтапного движения предмета труда, его фазовой трансформацией в процессе грузопереработки и наличием функциональных циклов, то есть комплекса определенным образом взаимосвязанных и организованных во времени производственных и транспортных процессов, обеспечивающих выпуск продукции в заданном объеме и установленные сроки. Это позволяет рассматривать процесс материалодвижения металлургических предприятий как крупносерийное промышленное производство и проводить исследования с позиций производственного менеджмента.

2. Важнейшей функциональной особенностью процесса материалодвижения рассматриваемых предприятий является многократное взаимодействие производства и транспорта непосредственно в металлургических переделах с грузопереработкой материального потока по схеме «вагонопоток – производственный (грузовой) поток – вагонопоток». Повышение эффективности взаимодействия производства и транспорта при заданном вагонопотоке, снижение продолжительности цикла грузопереработки и обеспечение непрерывности работы грузового и транспортного модулей с различным тактом выполнения комплекса операций достигаются путем синхронизации их работы. Предложены метод и модель синхронизации, обеспечивающие логистическое управление процессом грузопереработки, а также принципы оценки состояния и определения путей повышения эффективности этого процесса.

3. Интегрирующую роль в формировании единого непрерывного процесса материалодвижения выполняют системные и функциональные циклы. Они связывают в каждом вагонопотоке всех его участников, а потоки – между собой.

Для металлургических предприятий характерны системные (полные и локальные) и технологические (функциональные) циклы. Системными циклами, отражающими функционирование производственно-транспортной системы в целом, являются: оборот вагонов внешнего парка (полные циклы), а также продолжительность транспортного обслуживания аглодоменного, сталеплавильного и прокатного переделов (локальные циклы).

В рамках системных циклов выполняются взаимосвязанные функциональные (технологические) циклы грузопереработки, а также транспортные циклы, включающие продолжительность комплекса операций, выполняемых транспортными модулями. При этом динамика каждого транспортного цикла требует согласования потребности в ресурсах на «входе» (перерабатывающая способность транспортной инфраструктуры, определяемая производственными условиями) и на «выходе» (ожидаемая продолжительность выполнения операций системного цикла в целом).

Ключевыми показателями системных циклов при заданном вагонопотоке являются производительность и эффективность структуры. Следовательно, систем-

ные циклы, формируя цепь материалодвижения, определяют единый экономический результат ее функционирования. На этой основе сформирована экономико-математическая оптимизационная задача выполнения логистического цикла для струи вагонопотока.

Представленные теоретические положения могут быть использованы для формирования единой математической модели интеллектуальной системы управления процессом материалодвижения металлургических предприятий.

4. Современные логистические концепции совершенствовались на основе применения информационно-компьютерных технологий. Осложнение рыночных отношений и, особенно, усиление конкуренции, привело к необходимости интенсификации бизнес-процессов снабжения, производства и распределения. Это потребовало формирования интегрированного логистического менеджмента на общей информационно-компьютерной основе. Современная интегрированная логистическая концепция предполагает сквозное управление потоками логистической системы, проходящими через все ее звенья. Это позволяет более точно определять и решать локальные задачи организации и контроля внутри звеньев и элементов логистической системы. Здесь объектами практической логистики могут быть не только потоки, но и единичные транзакции.

Одной из основных концепций современной интегрированной логистики является технология JIT, получившая мировое признание и применение на промышленных предприятиях, в частности, в фирме «Toyota». На металлургических предприятиях она должна основываться на оптимизированных системных циклах продвижения вагонопотоков и обеспечивать выгрузку и доставку компонентов сырья, перевозку промежуточной и отгрузку готовой металлопродукции в необходимом количестве, нужного качества и в сроки, установленные требованиями производства.

5. Первоочередным вопросом повышения эффективности взаимодействия производства и транспорта при грузопереработке является обоснование параметров функционального цикла $T_{\text{ц}}^{\text{г}}$ для каждого грузового комплекса. С учетом особенностей фазовой трансформации предложено два типа комплексов, которые переводятся на логистическое управление: транспортно-грузовой, обеспечивающий выполнение грузовых операций с вагонами внешнего парка; транспортно-технологический, осуществляющий транспортное обслуживание производственных переделов с использованием вагонов заводского парка.

Список литературы

1. Парунакян В.Э. Состояние и пути повышения эффективности системы управления процессом материалодвижения металлургических предприятий // Научные труды SWorld. 2016. Т. 1. № 45. С. 4-15.
2. Парунакян В.Э., Сизова Е.И. Идентификация процессов материалодвижения и разработка принципов формирования логистических цепей в производственно-транспортной системе предприятия // Логистика и управление цепями поставок. 2012. Т. 50. № 3. С. 64-73.
3. Миrotин Л.Б., Корчагин В.А., Ляпин С.С., Некрасов А.Г. Логистические цепи сложно-технологических производств: Учеб. пособие. М.:

- Экзамен, 2005. 288 с.
4. Сметов А.А. Введение в логистику. М.: Транспорт, 1993. 112 с.
 5. Сметов А.А. Основы транспортной логистики: Учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1995. 197 с.
 6. Балашев А.И. Производственный менеджмент (организация производства) на предприятии. СПб.: Питер, 2009. 160 с.
 7. Казанцев А.К. Серова Л.С. Основы производственного менеджмента: Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2002. 352 с.
 8. Parunakjan V., Sizova E. Designing Of Logistical Chains Inside Production And Transport System Of Metallurgical Enterprise // Transport Problems. 2013. Т. 9. № 1. С. 35-45.
 9. Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Кольга А.Д. Обеспечение своевременности грузовых перевозок в транспортно-технологических системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. Т. 45. № 1. С. 115-121.
 10. Модели и методы теории логистики / Под ред. Лукинского В.С. 2-е изд. СПб.: Питер, 2007. 448 с.
 11. Корпоративная логистика: 300 ответов на вопросы профессионалов / Под ред. В.И. Сергеева. М.: ИНФРА-М, 2004. 929 с.
 12. Бауэрс Д. Д., Клоос Д. Д. Логистика: Интегрированная цепь поставок. 2-е изд. М.: Олимп-Бизнес, 2008. 635 с.
 13. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок: Как сократить затраты и улучшить обслуживание потребителей. СПб.: Питер, 2004. 315 с.
 14. Лу Д.Дж. Канбан и "точно вовремя" на Toyota: Менеджмент начинается на рабочем месте. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 218 с.
 15. Синго С. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2006. 312 с.
 16. Монден Я. «Тоёта». Методы эффективного управления. М.: Экономика, 1989. 287 с.
 17. Апатцев В.И., Лёвин С.Б., Николашин В.М. Логистические транспортно-грузовые системы. М.: Академия, 2003. 304 с.
 18. Бородин А.Ф. Эффективно использовать станционные мощности // Железнодорожный транспорт. 2006. № 6. С. 37-43.
 19. Бойко В.А. Повышение эффективности работы грузовой станции металлургического комбината, принимающей массовое сырье: дис. ... канд. техн. наук. Мариуполь. 2013. 178 с.
 20. Пат. 107627 UA. МПКВ61В 1/00. Вантажна станція промислового підприємства, що приймає масову сировину / В.Е. Парунакян, В.О. Бойко, К.І. Сізова (Україна). №201312549; заявл. 28.10.2013; опубл. 26.01.2015, Бюл. №2.
 21. Шмудевич М.И. Промышленный транспорт и логистика // Промышленный транспорт XXI век. 2006. № 4. С. 3-6.
 22. Сізова Е.І. Повышение эффективности работы транспортно-грузового комплекса аглофабрики металлургического комбината по выгрузке массового сырья: дис. ... канд. техн. наук. Киев. 2015. 168 с.

Материал поступил в редакцию 10.05.2018

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FORMING THE LOGISTICS CONCEPT (TECHNOLOGY) OF SYSTEMIC MANAGEMENT OF MATERIAL MOVEMENT PROCESS AT THE METALLURGICAL ENTERPRISE

Parunakyan Vaagn Emil'evich – D.Sc. (Eng.), Professor
Pryazovskyi State Technical University, Ukraine. E-mail: kafttp@gmail.com

Abstract

Traditional forms and ways of interaction between manufacturing and rail transport in the process of materials movement at the metallurgical enterprise with the changed production environment show its inefficiency. Moreover, the management of production and transport system focused on transportation where the transport only adapts to the needs of production does not meet modern requirements. Furthermore, this way of management leads to significant delays, costs and losses, which is unacceptable in a competitive market. At this stage, one of the most important question is creation of the effective management mechanism. This mechanism provides high efficiency of interaction between production and transport, shift of emphasis to the activation of production resources and elimination of production losses at all stages of the material movement processes. In order to solve this problem, it is necessary to make the transition between the management of rail transportation and logistics management process of material movement of enterprises. The logistics management process is based on a process view of working capital. Authors identified the technological scheme and indicators of interaction between production and transport. Moreover, they developed method to optimize the duration of process of cargo handling and resource costs and proposed the model of synchronization of cargo and transport modules. It was established that integrating role in the formation of a continuous process of material movement, linking in each flow all its participants. The flows between them perform logistic cycles: systemic and functional (technological). Consequently, the key indicators of logistics cycles are duration (productivity) of the structure and consumption of production and transport resources. Furthermore, authors propose the model to solve the optimization problem of the systemic cycle. It was indicated that end-to-end logistics management of the material movement process in the system cycle of handling the railcars of the external fleet should be based on technology of logistics system also called just in time. This technology is widely used in foreign countries and ensuring the delivery of raw materials semi-finished and finished products to the right place, in the right amount and exactly on time. In order to handle bulky cargoes, authors developed two types of logistics facilities: transport-cargo (TGC) for processing the external railcars park (VP) and transport and technology (TTK) to work with the railcars industrial park (ZP). The developed methodology was applied in the study to improve the efficiency of TGC for unloading of mass iron-containing raw materials (up to 800 railcars per day) at sinter plant of a large metallurgical industry. Furthermore, the developed methodology reduced the duration of acceptance and unloading of railcars of the external park from 20-22 to 10-12 hours. Moreover, the introduction

of technical solutions is mainly implemented because of the resources of the sinter plant. The development and implementation of JIT logistics technology to manage the systemic cycles that form the process of material movement can significantly improve the efficiency of the organization of cargo handling processes and the operation of the transport infrastructure at the enterprise. Finally, it can reduce the volume of transport work and significantly reduce transport costs and production losses.

Keywords: process of material movement, rail transport, interaction of production and transport, cargo handling, transport infrastructure, systemic and functional cycles, logistic concept (technology) JIT – "just in time", transport and cargo facilities.

References

1. Parunakyan V.E. Sostoyaniye i puti povysheniya effektivnosti sistemy upravleniya processom materialodvizheniya metallurgicheskikh predpriyatiy [The state and ways to improve the efficiency of the process control system for the material movement of metallurgical enterprises] // Scientific Papers SWorld. 2016, vol. 1, no. 45, pp. 4-15. (In Russ.).
2. Parunakyan V.E., Sizova E.I. Identifikatsiya processov materialodvizheniya i razrabotka principov formirovaniya logisticheskikh cepey v proizvodstvenno-transportnoy sisteme predpriyatiya [Identification of processes of material movement and development of principles for the formation of logistic chains in the production and transport system of the enterprise] // Logistics and supply chain management. 2012, vol. 50, no. 3, pp. 64-73. (In Russ.).
3. Mirotn L.B., Korchagin V.A., Lyapin S.S., Nekrasov A.G. Logisticheskie ceپی slozhno-tekhnologicheskikh proizvodstv [Logistics chains of complex technological enterprises: Tutorial]. Moscow: Ekzamen. 2005. 288 p. (In Russ.).
4. Smekhov A.A. Vvedeniye v logistiku [Introduction to Logistics]. Moscow: Transport. 1993. 112 p. (In Russ.).
5. Smekhov A.A. Osnovy transportnoy logistiki [Basics of transport logistics: Textbook]. Moscow: Transport. 1995. 197 p. (In Russ.).
6. Balashev A.I. Proizvodstvennyy menedzhment (organizatsiya proizvodstva) na predpriyatii [Production management (organization of production) at the enterprise]. Saint Petersburg: Piter. 2009. 160 p. (In Russ.).
7. Kazancev A.K., Serova L.S. Osnovy proizvodstvennogo menedzhmenta [Fundamentals of production management: Tutorial]. Moscow: INFRA-M. 2002. 352 p. (In Russ.).
8. Parunakjan V., Sizova E. Designing Of Logistical Chains Inside Production And Transport System Of Metallurgical Enterprise // Transport Problems. 2013, vol. 9, no. 1, pp. 35-45.
9. Rahmangulov A.N., Kornilov S.N., Kolga A.D. Obespecheniye svoevremennosti грузовых перевозок в транспортно-технологических

- sistemah [Timeliness of freight traffic in transport technological systems] // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2014, vol. 45, no. 1, pp. 115–121. (In Russ.).
10. Modeli i metody teorii logistiki [Models and methods of logistics theory] / Edited by Lukinskij V.S. Saint Petersburg: Piter. 2007. 448 p.
 11. Sergeev V. I., Dybskaya V. V., Belov L. B. Korporativnaya logistika: 300 otvetov na voprosy professionalov [Corporate logistics: 300 answers to the questions of professionals]. Moscow: INFRA-M. 2004. 929 p. (In Russ.).
 12. Bowersox D.J., Closs D.J. Logistical Managament: The Integrated Supply Chain Process. Moscow: Olymp-Business. 2008. 635 p. (In Russ.).
 13. Kristofer M. Logistika i upravlenie tseppochkami postavok [Logistics and Supply Chain Management]. Saint Petersburg: Piter. 2004. 315 p. (In Russ.).
 14. Lu D. J. Kanban: Just-in-time at Toyota : management begins at the workplace. Cambridge, Mass.: Productivity Press. 1989.
 15. Shingō S., Dillon A. P. A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint. Norwalk, Conn.: Productivity Press. 1989.
 16. Monden Ia. «Toeta». Metody effektivnogo upravleniia ["Toyota". Effective management methods]. Moscow: Ekonomika [Economy]. 1989. 287 p. (In Russ.).
 17. Apattcev V.I., Levin S.B., Nikolashin V.M. Logisticheskie transportno-gruzovye sistemy [Logistic freight and cargo systems]. Moscow: Akademiia [Academy]. 2003. 304 p. (In Russ.).
 18. Borodin A.F. Effektivno ispolzovat stantsionnye moshchnosti [Efficiently use the capacity of the railway station] // Railway transport. 2006, no. 6, pp. 37–43. (In Russ.).
 19. Boiko V.A. Povyshenie effektivnosti raboty gruzovoi stantsii metallurgicheskogo kombinata, primaiushchei massovoe syre [Improving the efficiency of the cargo railway station of the metallurgical plant, receiving mass raw materials: PhD thesis]. Mariupol: Pryazovskiy State Technical University. 2013. 178 p. (In Russ.).
 20. Parunakyan V.E., Bojko V.O., Sizova K.I. Vantazhna stanciya promislavogo pidpriemstva, shcho priймає masovu sirovinu [Cargo railway station of an industrial enterprise for raw material unloading]. Patent UA, no. 107627 UA, 2015.
 21. Shmulevich M.I. Promyshlennyi transport i logistika [Industrial transport and logistics] // Promyshlennyi transport XXI vek [Industrial transport XXI century]. 2006, no. 4, pp. 3–6. (In Russ.).
 22. Sizova E.I. Povyshenie effektivnosti raboty transportno-gruzovogo kompleksa aglofabriki metallurgicheskogo kombinata po vygruzke massovogo syria [Improving the efficiency of the transport and cargo complex of the sinter plant at the metallurgical plant for unloading mass raw materials: PhD thesis]. Kiev: State Economics and Technology Transport University. 2015. 168 p. (In Russ.).

Received 10/05/2018

Парунакян В.Э. Формирование логистической концепции (технологии) системного управления процессом материалодвижения на металлургических предприятиях // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2018. Т.8. №2. С. 4-21

Parunakyan V.E. Forming the logistics concept (technology) of systemic management of material movement process at the metallurgical enterprise // *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2018, vol.8, no.2, pp. 4-21

К ВОПРОСУ ОБ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ АСУ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПРИПОРТОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ. ЧАСТЬ 2

Тимченко В.С.¹

¹ Санкт-Петербургский союз учёных, Национальное общество имитационного моделирования, ООО «РТС», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Железнодорожный транспорт участвует в обслуживании большей части экспортного грузопотока России. На сегодняшний момент на железнодорожном транспорте возникла системная проблема, связанная с отставанием в пути следования поездов, следующих в адрес припортовых железных дорог. Одним из путей решения данной проблемы является создание логистических центров на припортовых железных дорогах. В первой части статьи представлен анализ причин «бросания» поездов назначением на припортовые станции и основные задачи логистического центра припортовой железной дороги. Сложность функционирования таких центров связана с тем, что специалистам логистических центров приходится получать информацию в ручном режиме из нескольких независимых информационных систем, что является ограничивающим фактором в обеспечении эффективности их работы. Во второй части статьи представлены функциональные возможности предлагаемой АСУ логистического центра, которая позволит повысить эффективность работы логистов путём перехода от ручного управления грузопотоками к управлению с использованием информационной системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: припортовая железная дорога, морские порты, экспортные перевозки, грузопотоки, логистический центр, информационная система, система поддержки принятия решений.

1. Введение*

Отечественные порты, в отличие от зарубежных [1-9], изначально создавались для приёма импортных грузов, что, в основном, определило следующие недостатки их оснащения:

- вблизи портов изначально не предусматривалось строительство припортовых железнодорожных станций;
- припортовые транспортные узлы долгое время не развивались, в частности, в узлах не строились современные грузовые терминалы;
- не проводились системные маркетинговые исследования образования грузопотоков;
- в припортовых транспортных узлах отсутствует единая информационная среда, позволяющая заблаговременно планировать взаимодействие смежных видов транспорта и других участников транспортировки грузов.

В результате на подходах к морским портам нередко в большом количестве скапливаются «брошенные» поезда, а введение конвенционных запретов и частичного ограничения погрузки в адрес портов временно лимитирует грузопотоки, однако, не устраняет появление «брошенных» поездов. Одновременно на рейдах морских портов наблюдается простой судов, а на территории портов – автомобилей, ожи-

дающих грузы, находящиеся на подходах к транспортным узлам. Зачастую это происходит по причине невозможности произвести выгрузку этих грузов в припортовых узлах, так как железнодорожные станции примыкания и складские мощности портов используются для хранения грузов, невостребованных в данный момент на рынке.

Отмеченные недостатки в работе припортовых транспортных узлов приводят к значительным финансово-экономическим потерям практически у всех участников цепи продвижения товаров и оказания транспортных услуг, тогда как сами транспортные узлы становятся «узким местом» на пути продвижения грузопотоков от производителя до потребителя.

В условиях ограниченных пропускных способностей системы «железная дорога – морские порты», остро встаёт задача повышения эффективности его единого технологического процесса. При решении данной задачи необходимо учитывать следующие особенности работы системы взаимодействия железной дороги с морскими портами:

- трудность получения полной и достоверной информации о подходе поездов;
- дефицит времени для принятия управленческих решений;
- сбои, отказы и выход из строя технических средств;
- форс-мажорные обстоятельства.

Одним из сдерживающих факторов развития транспортного комплекса РФ является отсутствие

© Тимченко В.С., 2018.

инструмента, обеспечивающего оптимальное взаимодействие грузовладельцев, железной дороги, смежных видов транспорта, экспедиторов и других участников цепи поставок, каждый из которых может влиять на технологический процесс перевозки экспортного грузопотока только на своём участке.

Технологический процесс продвижения груза по железной дороге можно условно разбить на несколько этапов. На первом этапе – этапе планирования перевозки, происходит согласование объёма экспортного грузопотока с параметрами системы «железная дорога – морской порт», анализируются перерабатывающие способности морских терминалов, пропускные способности железнодорожных участков, оперативная обстановка и наличие необходимых ресурсов на припортовой железной дороге и припортовых железнодорожных станциях.

После отправления груза, на втором этапе, происходит продвижение вагонопотока по сети железных дорог. Здесь важнейшей задачей является равномерный, без задержек в пути следования, подвод груза сначала к границам припортовой железной дороги, а затем к фронтам выгрузки морских терминалов.

На третьем этапе осуществляется процесс выгрузки силами морских терминалов.

Для реализации перечисленных этапов инженер логистического центра ежедневно формирует таблицу с данными о фактической погрузке и сравнивает их с планом погрузки на месяц, утверждённым Центром фирменного транспортного обслуживания ОАО «РЖД» (ЦФТО). Эти данные диспетчер получает по запросу из системы ЭТРАН (электронная транспортная накладная). Целью этого сравнения является выявление случаев недопустимого превышения установленной нормы погрузки и определение необходимости принятия мер по изменению нормы с целью исключения «бросания» поездов. Пример увеличения нормы погрузки в случае превышения планового объёма погрузки представлен на рис. 1.

Для принятия решения об уменьшении объёмов погрузки конкретного рода груза необходимо анализировать фактическое наличие гружёных вагонов на сети дорог, на дороге выгрузки и на железнодорожной станции назначения, а также нахождение вагонов в «брошенных» поездах (рис. 2).

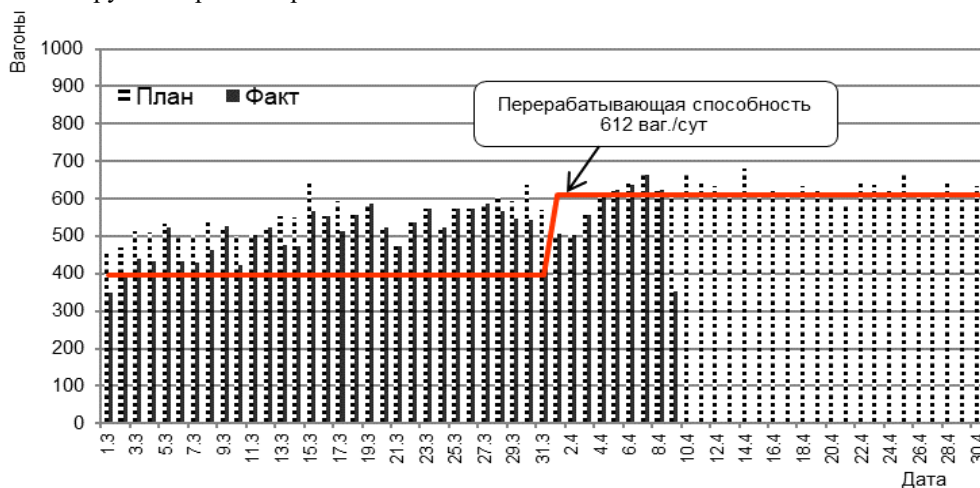


Рис. 1. Пример изменения нормы погрузки вагонов в адрес припортовой железнодорожной станции в зависимости от соотношения фактических и плановых объёмов погрузки

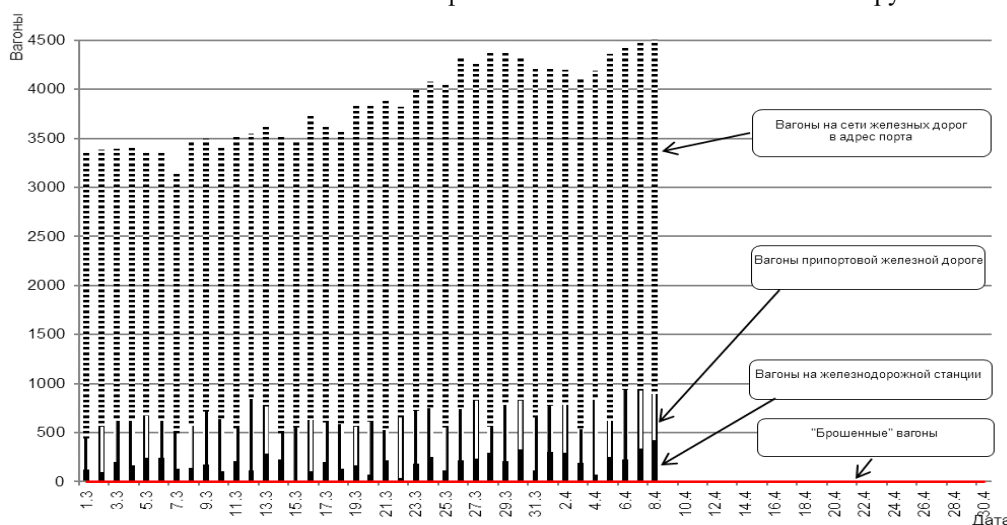


Рис. 2. Пример представления данных для анализа фактического числа вагонов в системе «железная дорога – морские порты»

Прогноз «бросания» вагонов на припортовой железной дороге выполняется следующим образом (рис. 3). Из фактического числа вагонов, находящихся на припортовой железной дороге, вычитается число вагонов, находящихся под выгрузкой, и полученная разность сравнивается с нормой наличия вагонов на

припортовой железной дороге. Прогнозные значения наличия вагонов по родам груза на припортовой железной дороге рассчитываются на основе данных о дате и времени их отправления и оценки длительности их движения до станции назначения.

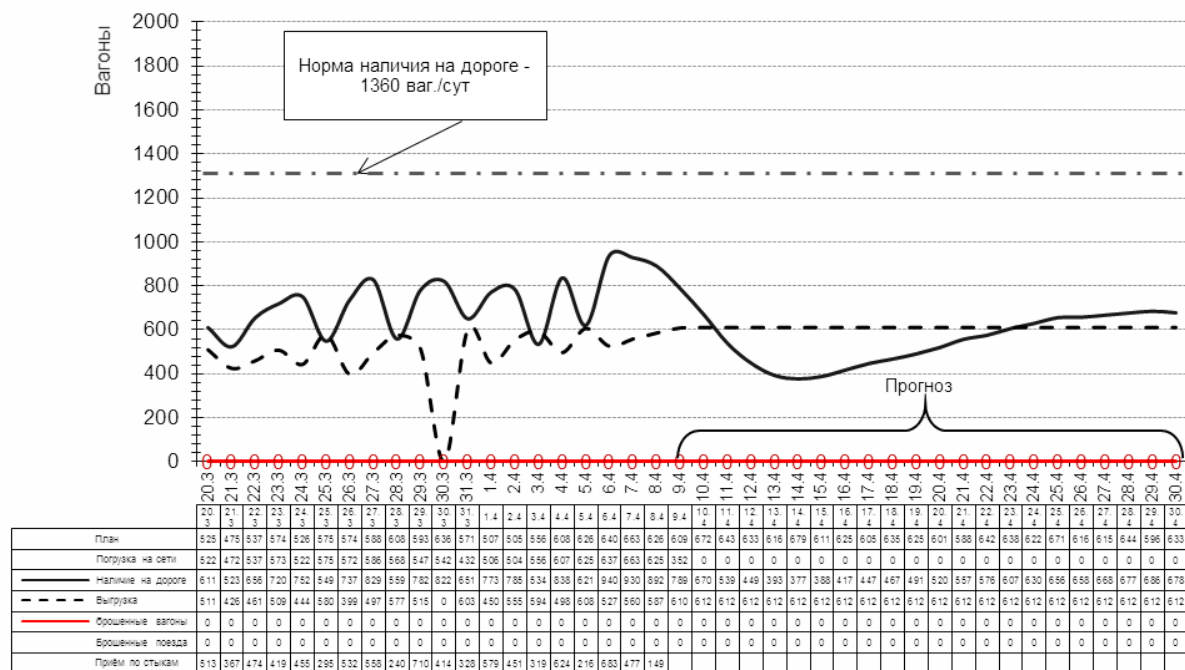


Рис. 3. Пример прогнозирования числа «брошенных» вагонов в адрес припортовой железной дороги

Особенности работы логистического центра припортовой железной дороги

Важной функцией логистического центра является оперативное планирование подвода поездов на припортовые станции (рис. 4), корректировка оперативных планов и своевременная передача принятых решений исполнителям: диспетчерам районов управления и поездным диспетчерам.

Эта функция составляет основу содержания работы сменного инженера логистического центра железной дороги, осуществляющего транспортное обслуживание морских торговых портов.

Корректировка плана транспортного обслуживания морского порта по результатам работы ночной смены производится ежесуточно с 7-00 до 7-30 на совещаниях (планёрках), которые проводят начальники припортовых станций с участием приёмосдатчиков со всех железнодорожных станций, районов и терминалов портов. Приёмосдатчики сообщают начальникам станций положение на путях, состояние и перспективы выполнения работ на терминалах. Начальники станций, используя данные информационных систем: АРМ «Терминал», АСОУП-2 (система оперативного управления перевозками), АРМ ЦД (автоматизированное рабочее место

центрального диспетчера), ГИД «Урал-ВНИИЖТ» (автоматизированная система ведения и анализа графика исполненного движения), составляют прогноз подхода поездов с различными грузами в адрес терминалов портов.

ПЛАН ВВОДА ПОЕЗДОВ НА СТ.									
№ п/п	№ п-да	Индекс поезда	Груз:	Станция:	Время подвода			Примечания	
					план	факт	+/-		
1		7800-278-0764	рту	Гатчина	21:00	22:05	1:05		
2		0452-752-0764	налив	кириши	22:00	22:57	0:57		
3		0330-146-0763	разборка	Шушары	0:00	1:00	1:00		
4		2231-11-0764	налив	Гатчина	0:30	0:16	0:14		
5		7800-276-0764	рту	Мга	1:00	1:15	0:15		
6		0452-753-0764	налив	кириши	3:12	1:37	1:35		
7		8400-579-0764	рту	Мга	4:00	4:10	0:10		
8		7800-277-0764	рту	Мга	5:00	4:25	0:35		
9		0330-147-0763	разборка	Шушары	6:00	5:58	0:02		
10		6482-35-0764	налив	Волховстрой				с подх	
11		0452-754-0764	с подх	и по образ	кириши	6:50	4:07	2:43	
12		1945-845-0764	РНБ	Веймарн	7:00	6:45	0:15		
13		8656-534-0764	рту	Гатчина	9:51	11:05	1:14		
14		0452-755-0764	налив	Новолисино	11:00	11:40	0:40		
15		7800-271-0764	рту	Гатчина	12:00	12:25	0:25		
16		0452-756-0764	налив	кириши	13:34	12:49	0:45		
17		0330-148-0763	разборка	Шушары	14:00				
18		7800-279-0764	рту	Мга	15:00				
19		0452-757-0764	РНБ	кириши	17:12	13:37	3:35		
20		8614-98-0764	рту	Новолисино	подх	14:20			
21		6482-35-0764	РНБ	Фрезерная	подх				
22		1945-842-0764	РНБ	Бережки	подх				
23		2231-12-0764	налив	Псков	подх				

Рис. 4. Пример плана подвода поездов на припортовую железнодорожную станцию

Требуемую последовательность поступления грузов в течение дневной смены с 8-00 до 20-00 определяют приёмосдатчики. Начальники станций с помощью информационных систем определяют индексы и местоположения поездов с требуемыми грузами на припортовой железной дороге. По известным оценкам времени хода грузовых поездов между техническими станциями, моментов времени освобождения терминалов порта и станционных путей они определяют моменты времени прибытия заказываемых поездов на припортовые станции.

Нефтяные и контейнерные поезда, в значительной своей части, движутся по расписанию. Поэтому при составлении плана подвода этих поездов предполагается, что все они проследуют по графику.

В 7-30 откорректированные начальниками станций планы подвода поездов пересылаются сменному инженеру логистического центра по факсу или передаются по телефону. По каждому поезду предоставляется информация об ожидаемом моменте времени прибытия на припортовую станцию, индексе и роде груза, получателе груза.

Сменный инженер логистического центра обсуждает с диспетчерами направлений план подвода поездов. При этом для каждого заказанного грузового поезда определяется возможность его подвода к требуемому моменту времени, с учётом дополнительных факторов, влияющих на пропуск поездов по железнодорожным участкам (поездное положение, состояние технических систем, наличие локомотивов, локомотивных бригад, ремонтных «окон» и т.д.). При отсутствии возможности подвода требуемых поездов к указанному моменту времени, план корректируется (подводятся другие поезда, меняется время или/и порядок их подвода).

После согласования с начальниками припортовых станций планов подвода поездов, эти планы передаются на исполнение диспетчерам районов управления и поездным диспетчерам. В процессе продвижения поездов, условия их пропуска, а также интенсивность переработки грузов на терминалах могут существенно изменяться, что приводит к необходимости корректировки планов с участием начальников припортовых станций, диспетчеров районов управления и сменного инженера логистического центра.

К составлению плана на следующие сутки (с 18-00 до 18-00) сменный инженер логистического центра приступает в 16-00. План составляется на основе информации, полученной по факсу или телефону от начальников припортовых станций. Сменный инженер логистического центра с участием диспетчеров районов управления определяет возможности подвода каждого заказанного поезда, учитывая факторы, влияющие на время следования поездов от мест их дислокации до станций назначения, и согласует необходимые изменения и последующие корректировки планов с начальниками припортовых станций. В процессе согласования скорректированных планов определяется, в том числе, возможность «поднятия» «брошенных» поездов (рис. 5). Сменный инженер логистического центра также постоянно контролирует процесс выгрузки и погрузки вагонов на морских терминалах и формирует справки о выполненной

работе.

До 18 часов начальники станций по телефону докладывают о количестве выгруженных вагонов по родам грузов. На основании этих данных формируется предварительная справка для руководителей дороги, необходимая им при проведении ежесуточного селекторного совещания.

ОСОБЫЕ ЗАДАНИЯ	БРОШЕННЫЕ ПОЕЗДА
Южный р-он поднять	Автово
3100-415-0330 сера (р-ка) на Лужскую со ст Бежецк	2905-68-0356 конт Горы
	Мурманск
	0130-806-0184 р-ка Выходной
	8726-141-0185 уг Кияжял
	8621-597-0185 уг Магнетиты
	8400-972-0185 уголь Кица
	8726-142-0185 уголь Магнетиты
	8621-613-0185 уголь Имандра
	8727-990-0185 уголь Кузема
	2950-768-0185 уголь Имандра
	8400-973-0185 уголь Выходной
Процент выполнения плана:	
с 18 до 6:	
с 6 до 18:	

Рис. 5. Пример списка «брошенных» поездов в адрес припортовой станции и суточное задание на их «поднятия»

Для принятия логистическим центром решения о необходимости «отставления» поездов, определяется избыток вагонов с определённым родом груза на дороге выгрузки как разность между числом гружёных вагонов на сети дорог и вагонов, находящихся на дороге выгрузки и на станции назначения. Число «отставляемых» от движения поездов определяется делением полученной величины на среднее число вагонов в составе поезда.

Прогноз прибытия вагонов с определённым родом груза в порт выполняется следующим образом. На основании данных АРМ ЦД определяется фактическая погрузка в адрес железнодорожной станции выгрузки на требуемые сутки. С использованием тарифного руководства, накопленных статистических данных, учитывая погодные и климатические условия, особенности переработки грузов и опыт работы, персонал логистических центров определяет и корректирует усреднённые данные затрат времени на доставку различных грузов на морские терминалы. Далее прогнозируются даты прибытия вагонов с конкретными грузами в пункты назначения путём добавления к дате отправления вагонов усреднённого значения продолжительности их транспортировки.

Задачи логистического центра по обслуживанию морских портов

В настоящее время процесс организации перевозки в адрес морских портов осуществляет логистический центр службы движения железной дороги назначения. Одним из барьеров в работе логистического центра является то, что основной экспортный грузопоток (до 90%) поступает в адрес портов с сети железных дорог. С этим связано ряд проблем, не позволяющих логистическому центру на уровне отдельной дороги обеспечить решение поставленных перед ним задач, к которым можно отнести следующие

щие.

1. Планирование объёмов погрузки. При планировании объёмов погрузки в адрес морских портов иногда принимаются заведомо завышенные объёмы, которые не могут быть переработаны припортовыми железнодорожными станциями из-за их слабого технического оснащения, либо из-за недостатка мощности выгрузочных фронтов, имеющихся на данный момент в портах или терминалах. Кроме того, планирование дополнительных объёмов погрузки зачастую так же осуществляется без согласования с железной дорогой. Логистический центр дороги может обосновать планы дополнительной погрузки как по объёму, так и по срокам, обеспечив перевозку всего основного и дополнительного грузопотока до станции назначения, при максимальной загрузке мощностей портов и терминалов.

2. Отслеживание и обеспечение ритмичности погрузки. Опыт работы логистических центров припортовых железных дорог показывает, что они способны организовать работу с полной загрузкой транспортно-складских мощностей на рассматриваемом участке при минимуме непроизводительных потерь, одновременно обеспечивая ритмичность погрузки грузов в пределах планируемого месяца.

3. Маршрутизация вагонопотоков. Учитывая возрастающие объёмы экспортных перевозок однородных грузов в адрес крупных грузополучателей, технология работы морских портов и терминалов всё более ориентируется на приём и выгрузку грузов, прибывающих в вагонах в составе маршрутных поездов. В этом случае сокращение затрат времени на маневровые операции по формированию-расформированию составов поездов повышает производительность портовых комплексов.

4. Мониторинг продвижения грузопотоков. Одной из важных задач транспортной логистики является мониторинг технологического процесса продвижения грузов и управление этим процессом. Особое значение такое управление приобретает при возникновении форс-мажорных обстоятельств: ухудшения погодных условий (низкие температуры, шторм, ветер); непредвиденные остановки выгрузочных комплексов и сливных эстакад; отсутствие складских ёмкостей из-за не подхода морских судов и т.п. В этих случаях необходимо регулировать продвижение грузопотоков на большом полигоне сети железных дорог для минимизации экономических потерь для припортовой железной дороги. С другой стороны, недостаточный контроль продвижения грузов по сети дорог приводит к сгущённому поступлению к границам припортовой железной дороги, что вызывает необходимость «бросания» поездов при поступлении грузов на припортовые станции.

Кроме того, необходимо отметить, что одной из причин «бросания» поездов является недостаточная эффективность грузовых операций в морских портах. Морские терминалы не в полной мере задействуют финансовые средства в развитие своей инфраструктуры [10]. В частности, нехватка современных комплексов для выгрузки вагонов, включая устройства для восстановления сыпучести смёрзшихся грузов и разогрева нефтепродуктов приводит к снижению

объёмов выгрузки в зимний период. Повышение производительности перегружающих устройств позволяет сократить время простоя вагонов на припортовых железнодорожных станциях, а также число путей на них, однако требует инвестиций со стороны владельцев портов. С другой стороны, усиление пропускной способности припортовых железнодорожных станций связано с инвестициями со стороны ОАО «РЖД». В этих условиях каждая сторона заинтересована в уменьшении своих инвестиционных вложений за счёт другой. Инвестиционный процесс в данном случае сдерживается риском снижения объёмов перевозок, зависящих от изменения потребностей мировой и отечественной экономики.

В такой ситуации логистические центры призваны выступать посредниками как между грузоотправителями и грузополучателями, в качестве которых выступают морские порты, так и между структурными подразделениями ОАО «РЖД» с целью обеспечения эффективной работы железнодорожного транспорта во взаимодействии с грузоотправителями и морскими портами, исключая «бросание» поездов. Опыт работы логистических центров припортовых железных дорог доказывает, что при полной загрузке всех портовых мощностей и отсутствии потерь, первостепенное значение имеет возможность влияния на обеспечение равномерной внутримесячной погрузки вагонов.

Функциональные возможности АСУ логистического центра припортовой железной дороги

Содержание функций сменного инженера логистического центра по предотвращению «бросания» поездов, представленное в работе, иллюстрирует, что значительную часть времени инженеры затрачивают на ручное извлечение данных из отраслевых информационных систем и их обработку с использованием неспециализированных инструментов, например, в электронных таблицах. Существует острая необходимость развития информационных технологий на основе создания специализированной для логистических центров автоматизированной системы, взаимодействующей с существующими системами, такими, как ЭТРАН, АРМ ЦД, СИРИУС, ОСКАР, АСОУП-2, что позволит сократить объёмы ручного труда, повысить точность прогнозов и эффективность принимаемых решений. Необходимо существовавшую практику контроля всех технологических операций логистической цепи поднимать на новый уровень эффективности. Для этого требуется перейти от ручного управления грузопотоками к работе на основе использования информационной системы поддержки принятия решений. Такая автоматизированная система (АСУ) управления логистического центра, по мнению автора, должна представлять собой графическую модель железных дорог РФ с отображением следующих данных:

1. Данные по основным железнодорожным станциям, осуществляющим погрузку в адрес припортовых станций.

1.1. Посуточная планируемая и фактическая по-

грузка вагонов с возможностью фильтрации данных в интерактивном режиме по роду груза, станции и терминалу назначения, а также грузополучателю. Такие данные эффективно показывать во всплывающем окне при наведении курсора на графическое представление железнодорожной станции.

1.2 Превышение плана погрузки на железнодорожной станции. На графической модели такая станция должна выделяться красным цветом.

1.3 Данные по станциям погрузки с фильтрацией по определённому роду груза, станции и терминалу назначения, а также грузополучателю.

2. Данные об оперативной обстановке при продвижении поездов по сети железных дорог.

2.1 Число поездов и их дислокация на сети железных дорог с данными и индикаторами, настраиваемыми по каждой станции и терминалу назначения, а также грузополучателю.

2.2 Номер, индекс, станции назначения, количество физических/условных вагонов, род груза, срок доставки, тип подвижного состава, планируемая дата подвода состава на припортовую станцию, станцию отправления, а также данные о последней операции с поездом, отображаемые информационной системой при наведении курсора на изображение поезда.

2.3 Отчёт о дислокации поездов и вагонов с различными грузами на станциях и терминалах назначения, а также по грузополучателям для каждой железной дороге.

2.4 Выделение на схеме железных дорог участков, на которых ведутся ремонтные работы, с указанием даты и длительности ремонтных «окон».

2.5 Отчёт о пересечении поездами междорожных стыковых пунктов в течение заданного интервала времени.

3. Данные о «брошенных» поездах.

3.1 Отображение на схеме железных дорог мест отстоя «брошенных» поездов.

3.2 Прогноз подъёма «брошенных» поездов, в соответствии с планируемой и фактической погрузкой в адрес определённого грузополучателя, перерабатывающей способностью терминала назначения, суточной нормой наличия груза на дороге, а также затратами времени на движение «брошенного» поезда до припортовой станции.

3.3 Выделение на схеме железных дорог станции, в адрес которой осуществляется/прогнозируется «бросание» поезда.

3.4 Действующие конвенционные запреты в адрес морских портов.

4. Данные по припортовым станциям и морским терминалам.

4.1 При наведении курсора на станцию назначения, вывод на экран посуточной графической информации о фактической погрузке и выгрузке с возможностью фильтрации по каждому роду груза, по каждому терминалу назначения и грузополучателю, с отображением на графике перерабатывающей способности каждого грузополучателя.

4.2 Путевое развитие припортовых станций и терминалов назначения.

4.3 Занятость/свободность путей припортовых станций и фронтов выгрузки.

4.4 Величины запасов на складах с указанием числа вагонов, которые могут быть выгружены на конкретном складе.

4.5 Морские суда в порту и на рейде, с указанием их дедефта и даты постановки судна под погрузку.

4.7 Погрузочно-выгрузочные механизмы и устройства.

5. Архивы и отчёты за предыдущие периоды.

Разработка и внедрение АСУ логистического центра выведет на качественно новый уровень технологию железнодорожных перевозок экспортных грузов в адрес морских портов, включая продвижение поездов с учётом всех влияющих факторов, а также приём и подтверждение заявок на погрузку, что будет способствовать повышению дисциплины поставок. Это особенно важно на фоне того, что одной из основных тенденций развития мирового рынка транспортно-логистических услуг в последние годы является постепенно возрастающий спрос на комплексные логистические услуги, и такая компания, как ОАО «РЖД», не может находиться в стороне от этой тенденции, решая только свои, узкоспециализированные задачи.

Заключение

Эффективная работа логистических центров требует внедрения интеллектуальных систем в качестве систем поддержки принятия решения на всех уровнях оперативно-диспетчерского управления работой логистического центра.

Внедрение АСУ логистического центра будет первым этапом на пути внедрения логистических технологий, которые должны обеспечить устойчивое конкурентное преимущество транспортного комплекса РФ в части железнодорожных перевозок экспортного, а, в перспективе, и транзитного грузопотоков в адрес морских портов.

Проблему синхронного взаимодействия смежных видов транспорта важно решать не только в припортовых транспортных узлах, но и на пограничных переходах, в крупных промышленных зонах и других транспортных узлах. Поэтому при создании АСУ логистического центра необходимо придерживаться принципов полного и всестороннего обмена информацией между обеспечивающими звеньями логистической цепи. Помимо обеспечения возможности принятия оперативным персоналом управленческих решений [11], система должна в реальном режиме времени осуществлять контроль функционирования звеньев логистической цепи по доставке грузов и реализовывать, в случае необходимости, корректирующие воздействия.

В статье обоснованы и описаны основные функциональные возможности предлагаемой АСУ логистического центра. Создание и внедрение такой системы позволит увеличить эффективность работы специалистов логистического центра в результате перехода от ручного анализа данных к принятию решений по управлению грузопотоками на основе автоматизированного анализа больших объёмов данных.

Список литературы

- Güner S. Investigating infrastructure, superstructure, operating and financial efficiency in the management of Turkish seaports using data envelopment analysis // *Transport Policy*. 2015. T. 40. C. 36-48. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.02.006.
- Fialkin V., Veremeenko E. Characteristics of traffic flow management in multimodal transport hub (by the example of the seaport) // *Transportation Research Procedia*. 2017. T. 20. C. 205-211. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.053.
- Howard D.L., Bragen M.J., Burke J.F., Love R.J. PORTSIM 5: Modeling from a seaport level // *Mathematical and Computer Modelling*. 2004. T. 39. 6-8. C. 715-731. doi: 10.1016/S0895-7177(04)90550-X.
- Contu F., Di Febraro A., Sacco N. A model for performance evaluation and sensitivity analysis of seaport container terminals // *IFAC Proceedings Volumes*. 2011. T. 44. № 1. C. 13870-13875. doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.03314.
- Parola F., Maugeri S. Origin and taxonomy of conflicts in seaports: Towards a research agenda // *Research in Transportation Business & Management*. 2013. T. 8. C. 114-122. doi: 10.1016/j.rtbm.2013.07.005.
- Ambrosino D., Bernocchi L., Siri S. Multi-objective optimization for the train load planning problem with two cranes in seaport terminals // *IFAC-PapersOnLine*. 2016. T. 49. № 3. C. 383-388. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.064.
- Montwill A. The role of seaports as logistics centers in the modelling of the sustainable system for distribution of goods in urban areas // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014. T. 151. C. 257-265. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.024.
- Ambrosino D., Siri S. Comparison of solution approaches for the train load planning problem in seaport terminals // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2015. T. 79. C. 65-82. doi: 10.1016/j.tre.2015.04.003.
- Jeevan J., Ghaderi H., Bandara Y. M., Saharuddin A. H., Othman M. R. The implications of the growth of port throughput on the port capacity: The case of Malaysian major container seaports // *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*. 2015. T. 3. C. 84-98. doi: 10.1016/j.enavi.2015.12.008.
- Рахмангулов А.Н., Муравьев Д.С. Сценарный подход к развитию морской портовой инфраструктуры с использованием имитационного моделирования // *Проблемы инфраструктуры транспортного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I*, 2015. С. 108-112.
- Устинов В.В. Взаимодействие морских портов со смежными видами транспорта // *Транспортное дело России*. 2010. № 11. С. 122-124.

Материал поступил в редакцию 04.05.2018

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

A STUDY ON THE RELEVANT DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE LOGISTICS CENTER SERVING PORT RAILWAY. PART 2

Timchenko Vjacheslav Sergeevich – Ph.D. (Eng.)

St. Petersburg Union of Scientists, National Simulation Society, LLC «RTS», St. Petersburg, Russia.

Phone: +7-9030-93-25-41. E-mail: tim4enko.via4eslav@mail.ru

Abstract

The rail transport participates in shipping the most part of export traffic volume in Russia. Currently, there is a systemic problem in trains' retirement in a route, coming to the port railways stations. One of the ways to solve this problem is to implement logistics centers close to the port railway stations. However, nowadays, the operators of these logistics centers have to receive the information manually. Hence, it is limited the increase in operation's efficiency. First part of the paper presents the analysis of causes when trains are going to be abandoned, which are coming to the port railways stations. Moreover, this paper gives the understanding what kind of goals should be considered in implementation of the logistics center close to port railway stations. Second part of the paper reflects the proposed functional opportunities of automatic control system of the logistics center. This system increases the efficiency of operators' operation in logistics center because of transition from manual control of traffic flows to the information decision support system.

Keywords: port railway station, sea ports, export shipping, traffic flows, logistics centers, information system, decision support system.

References

- Güner S. Investigating infrastructure, superstructure, operating and financial efficiency in the management of Turkish seaports using data envelopment analysis // *Transport Policy*. 2015. T. 40. C. 36-48. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.02.006.
- Fialkin V., Veremeenko E. Characteristics of traffic flow management in multimodal transport hub (by the example of the seaport) // *Transportation Research Procedia*. 2017. T. 20. C. 205-211. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.053.
- Howard D.L., Bragen M.J., Burke J.F., Love R.J. PORTSIM 5: Modeling from a seaport level // *Mathematical and Computer Modelling*. 2004. T. 39. 6-8. C. 715-731. doi: 10.1016/S0895-7177(04)90550-X.
- Contu F., Di Febraro A., Sacco N. A model for performance evaluation and sensitivity analysis of seaport container terminals // *IFAC Proceedings Volumes*. 2011. T. 44. № 1. C. 13870-13875. doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.03314.
- Parola F., Maugeri S. Origin and taxonomy of conflicts in seaports: Towards a research agenda // *Research in Transportation Business & Management*. 2013. T. 8. C. 114-122. doi: 10.1016/j.rtbm.2013.07.005.
- Ambrosino D., Bernocchi L., Siri S. Multi-objective optimization for the train load planning problem with two cranes in seaport terminals // *IFAC-PapersOnLine*. 2016. T. 49. № 3. C. 383-388. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.064.
- Montwill A. The role of seaports as logistics centers in the modelling of the sustainable system for distribution of goods in urban areas // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014. T. 151. C. 257-265. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.024.
- Ambrosino D., Siri S. Comparison of solution approaches for the train load planning problem in seaport terminals // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2015. T. 79. C. 65-82. doi: 10.1016/j.tre.2015.04.003.
- Jeevan J., Ghaderi H., Bandara Y. M., Saharuddin A. H., Othman M. R. The implications of the growth of port throughput on the port capacity: The case of Malaysian major container seaports // *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*. 2015. T. 3. C. 84-98. doi: 10.1016/j.enavi.2015.12.008.
- Rakhmangulov A.N., Muravev D.S. Stenarnyi podkhod k razvitiu morskoi portovoi infrastruktury s ispolzovaniem imitatsionnogo modelirovaniia // *Problems of the transport complex infrastructure: Proceedings. СПб.: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*, 2015. C. 108-112.
- Ustinov V.V. Vzaimodeistvie morskikh portov so smezhnymi vidami transporta // *Transportnoe delo Rossii*. 2010. № 11. C. 122-124.

Received 04/05/2018

Тимченко В.С. К вопросу об актуальности разработки и внедрения АСУ логистического центра припортовой железной дороги. Часть 2 // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. 2018. Т.8. №2. С. 22-28

Timchenko V.S. A study on the relevant development and implementation of automatic control system of the logistics center serving port railway. Part 2 // *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2018, vol.8, no.2, pp. 22-28

УДК 656.121.014:519.217

<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2018-8-2-29-37>

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОМЕНТОВ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ АВТОБУСОВ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ

Тьянь Ю.¹, Рахмангулов А.Н.², Муравьев Д.С.^{2,3}, Ван С.¹¹ Харбинский политехнический университет, КНР² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия³ Шанхайский университет транспорта, КНР

Аннотация

Развитие общественного транспорта является эффективным способом уменьшения заторов на улично-дорожной сети и повышения эффективности перевозок пассажиров в городах. Повышение качества городских автобусных перевозок способствует привлечению большего числа пассажиров. В случае, если момент времени прибытия автобусов на остановочные пункты не прогнозируется, автобусы движутся с нарушением графика, что вызывает беспокойство у пассажиров. Это является одним из факторов снижения качества пассажирских транспортных услуг. В настоящей статье представлен метод прогнозирования моментов времени прибытия автобусов на остановочные пункты на основе цепей Маркова, учитывающий пространственно-временные характеристики движения автобусов. Предлагаемый метод прогнозирования позволяет упростить планирование пассажирами маршрута их передвижения по УДС и сократить время ожидания на остановочных пунктах. Разработанный алгоритм прогнозирования прибытия автобусов на остановочные пункты апробирован на реальных данных автобусного маршрута №114 (г. Харбин, КНР). Преимуществами предлагаемого метода являются малая погрешность результатов прогнозирования, а также простота использования метода и алгоритма его реализации.

Ключевые слова: моменты времени прибытия автобусов, остановочные пункты, прогнозирование, цепи Маркова, GPS.

1. Введение*

В настоящее время проблема повышения безопасности и экологичности дорожного движения в городах становится все более актуальной. Заторы на улично-дорожной сети (УДС), дорожно-транспортные происшествия, загрязнение окружающей среды выбросами от транспортных средств, потребление энергетических ресурсов являются насущными проблемами крупных городов. Городской пассажирский транспорт имеет ряд преимуществ в условиях его использования в крупных городах: большая провозная способность и транспортная эффективность; низкое потребление энергетических ресурсов; относительно небольшие объемы выбросов в окружающую среду; низкая стоимость перевозки.

Достоверные прогнозы моментов времени прибытия транспортных средств, в частности автобусов, на остановочные пункты являются основополагающими данными, необходимыми для формирования информационных сообщений о движении автобусов в режиме реального времени, для оперативной корректировки расписания и маршрутов движения автобусов, а также для решения других задач управления автобусными пассажирскими перевозками. В настоящее время во многих городах КНР на автобусных остановочных пунктах установлены «умные» элек-

тронные табло, информирующие о различных услугах городского транспорта, а также проведены исследования эффективности применения технологии информационных табло. Основными элементами данной технологии являются: электронные табло, показывающие дистанцию между автобусами и остановочным пунктом, а также моменты времени прибытия автобусов различных маршрутов на остановочный пункт; информационная система, предоставляющая пользователям в режиме реального времени через мобильное приложение различную информацию об услугах городского пассажирского транспорта: наличие автобусов на линии; местонахождение каждого автобуса; время прибытия автобусов на остановочные пункты; рациональный транзитный маршрут с учетом времени ожидания автобуса на пересадочном пункте.

Однако в полном объеме технология умных электронных табло реализована лишь в нескольких городах КНР. В большинстве случаев информационная система городского пассажирского транспорта предоставляет лишь данные о схеме маршрутов движения городского пассажирского транспорта и расстояниях между остановочными пунктами. Основная причина медленного внедрения системы прогнозирования моментов времени прибытия автобусов на остановочные пункты заключается в воздействии на транспортный процесс большого числа внутренних и внешних факторов, таких, например, как повышение уровня автомобилизации населения, аварийные

© Тьянь Ю., Рахмангулов А.Н., Муравьев Д.С., Ван С., 2018.

ситуации, скопления на остановочных пунктах автобусов разных маршрутов. В таких условиях погрешность прогнозирования может достигать до 200%.

Результаты опроса пассажиров показывают наличие потребности как в точной информации о моментах времени прибытия транспортных средств на остановочные пункты, так и в регулярности городских пассажирских перевозок. Если фактический момент времени прибытия автобуса значительно превышает прогнозный, то это приводит к скоплению пассажиров на остановочных пунктах, снижает привлекательность общественного транспорта [1].

Известные методы прогнозирования моментов времени прибытия автобусов на остановочные пункты используют исторические (накопленные) и оперативные данные о движении автобусов на маршрутах в режиме реального времени. В качестве методов прогнозирования используется т.н. взвешенный метод, разработанный профессором Сун [2], а также методы нейронных сетей [3, 4], алгоритм фильтра Кальмана [5, 6], модели метода опорных векторов (Support Vector Machine – SVM) [7] и другие методы анализа больших объемов данных.

2 Алгоритм прогнозирования моментов времени прибытия автобуса на остановочные пункты на основе цепей Маркова

2.1 Обоснование алгоритма прогнозирования

Движение автобуса по маршруту характеризуется временными и пространственными параметрами и зависит от различных факторов, например, от погодных условий, качества дорожного покрытия и т.д. На коротком интервале времени скорость движения автобусов зависит от движущихся впереди транспортных средств, в том числе и других пассажирских автобусов. Если автобус движется с соблюдением расписания между двумя остановочными пунктами, то, при отсутствии негативного воздействия внешних факторов, он продолжит движение по расписанию и далее. Если же произошла задержка, то на следующем участке автобус может двигаться с большей скоростью для соблюдения расписания. Таким образом, множество данных о времени движения автобусов различных маршрутов между остановочными пунктами может быть использовано для описания состояния маршрутной системы движения автобусов, а серии таких данных описывают состояние системы на разных временных интервалах. Поэтому для расчёта времени движения автобусов между остановочными пунктами предлагается использовать метод прогнозирования состояний дискретной системы [8], основанный на теории Марковских цепей, а прогноз моментов времени прибытия автобусов на остановочные пункты осуществлять с использованием полученных значений времени движения автобусов по отдельным участкам маршрута.

Движение автобуса по маршруту можно описать последовательностью перехода из одного состояния в другое. Вероятность движения автобуса на определённом участке маршрута (между двумя соседними

остановочными пунктами) зависит только от скорости движения автобуса на предшествующем участке, что согласуется с основной идеей Марковских цепей. Разработанный авторами алгоритм прогнозирования основан на следующих предположениях:

1. Время движения автобуса определённого маршрута между остановочными пунктами в одном направлении описывается Марковским процессом.

2. Вероятность изменения времени движения автобуса между определёнными остановочными пунктами на определённом маршруте остаётся постоянной в течение заданного интервала времени, что позволяет упростить матрицу Марковских переходов.

2.2 Описание алгоритма прогнозирования

Для серий зависимых случайных величин была использована Марковская цепь с заданными интервалом времени и начальным распределением, с последующим расчётом будущего состояния, что является основой прогнозирования моментов времени прибытия автобусов на остановочные пункты. Предлагаемый алгоритм прогнозирования состоит из следующих шагов:

1. Разделение продолжительности работы транспортного средства на периоды T . Примем продолжительность одного временного периода равным одному часу, т.е. время работы автобуса на линии с 5:00 до 21:00 делится на 16 периодов.

2. Построение матрицы переходов. Значения матрицы переходов являются результатом статистической обработки накопленных географических, полученных с GPS-приемников автобусов, работающих на маршруте. Для каждого временного периода работы автобуса собирались статистические данные о движении автобуса между тремя соседними остановочными пунктами a , b , c с последующим расчётом времени t_{ab} , t_{bc} (рис. 1).

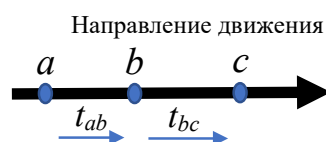


Рис. 1. Схема определения времени движения автобусов между соседними остановочными пунктами

Распределения вероятностей по состояниям цепи рассчитывались на основе статистической обработки пар значений времени движения автобусов между тремя соседними остановочными пунктами (t_{ab} , t_{bc}), расположенными на маршруте L . Например, запись (255s, 350s) указывает на то, что время движения между остановочными пунктами a и b составляет 255 секунд и 350 секунд между остановочными пунктами b и c . В результате статистической обработки выборок значений (t_{ab} , t_{bc}) получается матрица переходов времени движения автобуса между остановочными пунктами для периода времени T .

$$\begin{array}{ccccc}
 & t_{bc0} & t_{bc1} & \dots & t_{bc\,n-1} \\
 t_{ab0} & P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0\,n-1} \\
 t_{ab1} & P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1\,n-1} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 t_{ab\,n-1} & P_{n-10} & P_{n-11} & \dots & P_{n-1\,n-1}
 \end{array} \quad (1)$$

3. Расчёт времени прибытия автобуса. Когда транспортное средство прибывает на остановочный пункт b , время движения автобуса между остановочными пунктами a и b является известным. Тогда время движения автобуса между остановочными пунктами b и c с использованием матрицы переходов (1) рассчитывается по формуле

$$t_{bc} = \sum_{j=0}^{n-1} P_{ij} t_{bcj}. \quad (2)$$

Момент времени прибытия автобуса на остановочный пункт c ($t_{arrive\,c}$) рассчитывается как

$$t_{arrive\,c} = t_{arrive\,b} + t_{bc}, \quad (3)$$

где $t_{arrive\,b}$ – момент времени прибытия автобуса на остановочный пункт b .

3. Апробация алгоритма

3.1 Исходные данные

Для выполнения апробации разработанного алгоритма использовался набор GPS-данных за 2012 год, предоставленный автобусным бюро г. Харбин (КНР). Из более чем 100 городских автобусных маршрутов в

городе Харбин был выбран маршрут №114 по направлению от Института сахарной промышленности (Sugar industry institute) до площади Ченгде (Chengde square). Для верификации разработанного алгоритма использовались GPS-данные, полученные в период с 3.12.2012 по 7.12.2012, а для последующего эксперимента и прогнозирования моментов времени прибытия автобуса на остановочные пункты – данные за 10.12.2012 в интервале времени с 9:00 до 10:00. Эксперимент проводился для трех выбранных остановочных пунктов: Третья улица Хесинг (Hexing 3rd Street), улица Хесинг (Hexing Road), улица Сидажу (Xidazhi Street).

На **рис. 2** показан фрагмент базы данных в системе Oracle, содержащей исходные данные для расчётов. Поле «O_LINENO» содержит номер автобусного маршрута, «O_BUSNAME» – номер автобуса, «O_ARRIVETIME» – время прибытия на остановочный пункт, «O_LEAVE TIME» – фактическое время отправления с остановочного пункта, «O_UP» – код направления движения, «O_STATIONNO» – номер остановочного пункта.

На **рис. 3** представлена схема автобусных маршрутов г. Харбин, которая была использована для сопоставления GPS-данных и проведения последующего эксперимента.

Из общего набора данных для 114 маршрута были извлечены данные для трех выбранных остановочных пунктов. Для упрощения матрицы переходов и последующих расчетов периоды времени T были заменены одним значением. Например, период времени 2'01-2'30 заменяется на 2 '15, а 2'31-3'00 – на 2' 45 и т. д. Результат построения матрицы переходов представлен в **табл. 1**.

列	数据	约束条件	授权	统计信息	触发器	闪回	相关性	详细资料	分区	索引	SQL
	O_LINENO	O_BUSNAME	O_ARRIVEDATE	O_ARRIVETIME	O_LEAVE TIME	O_UP	O_STATIONNO				
1	114	3284	2012-12-01	05:24:13	05:24:32	1	33				
2	114	3284	2012-12-01	05:24:47	05:24:58	1	34				
3	114	3293	2012-12-01	05:37:49	05:37:58	1	33				
4	114	3293	2012-12-01	05:38:15	05:38:32	1	34				
5	114	3288	2012-12-01	05:51:16	05:51:26	1	34				
6	114	3341	2012-12-01	05:51:24	05:51:45	1	2				
7	114	3341	2012-12-01	05:52:14	05:52:28	1	3				
8	114	3299	2012-12-01	05:50:54	05:50:57	1	34				
9	114	3288	2012-12-01	05:50:56	05:51:06	1	33				
10	114	3341	2012-12-01	05:55:23	05:55:45	1	5				
11	114	3341	2012-12-01	05:52:52	05:53:19	1	4				
12	114	3282	2012-12-01	05:53:29	05:53:39	1	33				
13	114	3282	2012-12-01	05:53:50	05:54:00	1	34				
14	114	3341	2012-12-01	05:59:01	05:59:33	1	8				
15	114	3341	2012-12-01	05:56:22	05:56:52	1	6				
16	114	3341	2012-12-01	05:57:36	05:58:02	1	7				
17	114	3293	2012-12-01	05:40:09	05:59:45	0	1				

Рис. 2. Формат представления исходных GPS-данных



Рис. 3. Схема автобусных маршрутов г. Харбин (КНР)

Таблица 1

Матрица переходов

Время	2'45	3'15	3'45	4'15	4'45	5'15	5'45	6'15	6'45	7'15	7'45
2'15	0.25	0.00	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2'45	0.09	0.00	0.00	0.18	0.18	0.27	0.18	0.00	0.00	0.00	0.09
3'15	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.43	0.29	0.00	0.00	0.14	0.00
3'45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
4'15	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20
4'45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5'15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00	0.25

Фактические данные о движении автобусов по маршруту №114 в 9 часов утра 10.12.2012 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Фактические данные о движении автобусов по маршруту №114, г. Харбин, КНР

Третья улица Хесинг-улица Хесинг	улица Хесинг-улица Сидаж
2'15	3'45
2'45	4'15
2'45	5'15
2'45	5'15
3'15	5'45
3'45	5'15
4'15	5'45

Прогнозные значения моментов времени прибытия автобуса на остановочный пункт «улица Сидаж», рассчитанные с использованием данных из первой колонки табл. 2 и матрицы переходов табл. 1 по формулам (2) и (3), представлены в табл. 3 и на рис.4.

Таблица 3

Результаты прогнозирования

Прогнозные значения	Фактические значения	Абсолютная погрешность
3.625	3.75	0.125
5.068182	4.25	0.818
5.464286	5.25	0.214
5.75	5.25	0.500
5.75	5.75	0.000
0	5.25	5.250
6.125	5.75	0.375

3.2 Анализ результатов прогнозирования

Как видно из рис. 4, прогнозное время движения значительно отличается от фактического значения для шестого автобуса. Это свидетельствует о недостаточной точности построенной матрицы переходов (табл. 1). Анализ причин данной погрешности позволил установить, что для повышения точности прогнозов требуется больший объем данных о затратах времени на движение автобусов. В частности, именно недостаток накопленных данных о времени движения автобу-

сов между остановочными пунктами «Третья улица Хесинг» и «улица Хесинг» в 4'45 является причиной погрешности проведенного расчётного эксперимента.

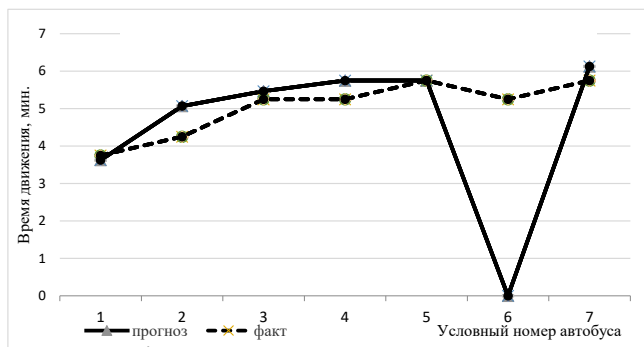


Рис. 4. Сравнение прогнозных значений с фактическими данными

Абсолютная погрешность между прогнозными и фактическими значениями для остальных случаев является незначительной. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработанный алгоритм прогнозирования моментов времени прибытия автобусов на остановочные пункты на основе Марковских цепей является адекватным и позволяет, при условии накопления достаточного объема статистических данных о фактических затратах времени на движение автобусов, получать достаточно точные результаты.

Заключение

На основе исследования особенностей движения автобусов на городских маршрутах, авторами разработан алгоритм прогнозирования, основанный на использовании метода цепей Маркова и позволяющий прогнозировать время движения городских автобусов между остановочными пунктами и моменты времени их прибытия на остановки. Апробация разработанного алгоритма на примере автобусного маршрута №14

(г. Харбин, КНР) позволяет сделать вывод о его адекватности.

Сравнение результатов прогнозирования, полученных с использованием разработанного алгоритма, с фактическими данными показал недостаточную точность прогноза при небольших размерах статистических выборок времени движения автобусов.

Для повышения точности матрицы переходов и результатов прогнозирования необходимо накапливать и обрабатывать статистические данные о работе автобусов на маршруте в течение длительного времени.

Список литературы

1. XIANG Hongyan, PENG Xuwen Current Study and Development Trend of Bus Arrival Time Prediction // Journal of Transport Information and Safety. 2014, no. 4, pp. 57–61. (In Chinese).
2. Sun D., Luo H., Fu L., Liu W., Liao X., Zhao M. Predicting Bus Arrival Time on the Basis of Global Positioning System Data // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2007, vol. 2034, no. 1, pp. 62–72. doi: 10.3141/2034-08.
3. Chien S. I.-J., Ding Y., Wei C. Dynamic Bus Arrival Time Prediction with Artificial Neural Networks // Journal of Transportation Engineering. 2002, vol. 128, no. 5, pp. 429–438. doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:5(429).
4. Lin Y., Yang X., Zou N., Jia L. Real-Time Bus Arrival Time Prediction: Case Study for Jinan, China // Journal of Transportation Engineering. 2013, vol. 139, no. 11, pp. 1133–1140. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000589.
5. Shalaby A., Farhan A. Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data // Journal of Public Transportation. 2004, vol. 7, no. 1, pp. 41–61. doi: 10.5038/2375-0901.7.1.3.
6. Vanajakshi L., Subramanian S. C., Sivanandan R. Travel time prediction under heterogeneous traffic conditions using global positioning system data from buses // IET Intelligent Transport Systems. 2009, vol. 3, no. 1, p. 1. doi: 10.1049/iet-its:20080013.
7. Bin Y., Zhongzhen Y., Baozhen Y. Bus Arrival Time Prediction Using Support Vector Machines // Journal of Intelligent Transportation Systems. 2006, vol. 10, no. 4, pp. 151–158. doi: 10.1080/15472450600981009.
8. Jihua Hu, Guoyuan Li, Zhifeng Cheng Algorithm for predicting bus travel time between stops based on Markov chain // Journal of Transport Information and Safety. 2014, vol. 32, no. 2, pp. 17–22. (In Chinese).

Материал поступил в редакцию 24.05.2018

Тьянь Ю., Рахмангулов А.Н., Муравьев Д.С., Ван С. Алгоритм прогнозирования моментов времени прибытия городских пассажирских автобусов на основе Марковских цепей // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2018. Т.8. №2. С. 29–38

BUS ARRIVAL TIME PREDICTION ALGORITHM BASED ON MARKOV CHAIN

Yuan Tian – PhD student

School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, People's Republic of China

E-mail: ytian.phd@hotmail.com

Aleksandr Rakhmangulov – D.Sc (Tech.), Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7-9000-285-000. E-mail: ran@magtu.ru

Dmitri Muravev – Doctoral Student

School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, People's Republic of China

Phone: +86-168-211-02-872. E-mail: Dmitri_Muravev@sjtu.edu.cn

Siqing Wang – PhD student

School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, People's Republic of China

Abstract

Developing public transport is an effective way to solve traffic congestion and improve travel efficiency. Improving bus service quality can attract passengers to travel by public transport. In the past, as the bus arrival time is unknown, and the buses often arrive inaccurate, passengers feel anxious and the quality of public transport service declined. Even though some bus stations equipped with electronic bus stop boards, the predicted bus arrival time is often inaccurate. Therefore, in order to convenient for people travel by public transit, this paper puts forward the method of bus travel time prediction based on the Markov chain which considers the spatial-temporal characteristics of the bus travel time. The prediction method can improve the quality of the bus service, help the travelers to make travel planning and reduce the waiting time. The algorithm is verified by the actual operation data of No.114 bus line in Harbin. The results show that the prediction error is small, and the algorithm is easy to implement.

Keywords: bus arrival time, prediction, Markov chain, GPS.

1. Introduction*

In recent years, the problem of urban traffic is becoming more and more prominent. Traffic congestion, traffic accidents, environmental pollution, energy consumption and other issues have become the serious urban diseases. Public transport has the characteristics of large carrying capacity, high transport efficiency, low energy consumption, small relative pollution and low transportation cost, which is the best choice to solve urban traffic problems in the world.

Bus arrival time prediction is the core content of real-time bus travel information release, bus travel path guidance, bus operation dynamic scheduling management and so on. In recent years, many large cities in China have carried out research and practice on intelligent electronic bus stop board and public transport service information platform. It includes: (1) Entity electronic bus stop board. By installing the electronic bus stop board on bus stop to display the distance and time of the different bus lines in the form of electronic information, (2) The internet bus service information system. By developing computer and mobile phone client software, the users can inquire bus information in real time. It includes operation status, the bus stop numbers of the coming bus, distance and time of the vehicles. It provides real-time services for transit users.

According to the effect of the implementation, most

cities provide the forecast of the number of bus stops or the distance to the bus stop, only a few cities try to predict the arrival time of the bus stop on specific lines. As there are many internal and external influence factors of the bus system and the influence factors are quite complex, the existing bus arrival time prediction systems are inaccurate, and some errors even reach more than 200%. Road traffic volume, passenger flow, interference in bus stops, emergencies and other uncertainties are the reasons causing the inaccurate.

The survey shows that the people who travel on the bus are very demanding on the punctuality and reliability. If the actual arrival time of the bus lag behind the forecast time seriously, it will lead to the prolongation of the waiting time for the passengers and cause the problems of travel anxiety and crowds. At the same time, the unreliable arrival time forecast will lead to the diversion of passengers to the other more reliable travel mode [1].

At present, the method of bus arrival time prediction mainly includes, historical averages and real-time GPS data weighted prediction method by Sun [2], neural network model [3, 4], Kalman filter [5, 6], support vector machine (SVM) model [7] and so on.

2. Bus arrival time prediction algorithm based on Markov chain

2.1 Background of algorithm

The operation of the bus is related to temporal and spatial. The running state of buses is affected by various factors. For example, weather, road conditions, etc. In a short time, the running state of a running bus is very associated with the front bus stop's running state. For example, if the bus runs normally between two stations in the midway may also runs smoothly between the next two bus stops. And if the bus runs with delay in the previous stage, it may be accelerated in the subsequent operation. The travel time between bus stops can be used as the state of a specific bus route system. A series of bus stops internal travel time is the running state of the system at different stages. Therefore, the prediction method of discrete system can be used to estimate the travel time between bus stops [8]. By predicting internal travel time between bus stops and the arrival time of the bus, the arrival time of the bus to the next stop can be predicted.

The bus has a characteristic of state transition. The occurrence probability of the next stage is related to the current state, which is consistent with the basic idea of Markov chain. To apply the Markov chain algorithm, the following assumptions are made.

1. The travel time between bus stops in the same direction of the same bus route is conforming to Markov process. It is the bus stops internal travel time constitutes the Markov chain on the condition of same bus route and same direction;

2. In the same period, the same bus route and the same driving direction, the probability of state transition between two bus stops are same. The time difference characteristics of bus travel are fully taken into account. Besides, it is considered that the bus operation in the same direction at the same time has characteristic of homogeneous and it simplifies the complexity of the Markov state transfer matrix.

2.2 Prediction algorithm

For a series of dependent random variables, the Markov chain model with the step length of one and the initial distribution are used to infer the absolute distribution of the future, that is, the basic travel time prediction algorithm based on Markov chain, and the concrete prediction algorithm steps are as follows.

1. Dividing the running time of the vehicle. Assuming that 1 hour is a period of time, then 5:00 to 21:00 can be divided to 16 periods. Dividing the operation hours of buses in one day.

2. Constructing the state transition matrix. The state transfer matrix depends on the GPS historical data of the bus running. For each operation period, statistics of bus stops internal running time between 3 adjacent bus stops a , b and c to get travel time t_{ab} and t_{bc} , as shown in figure 1.

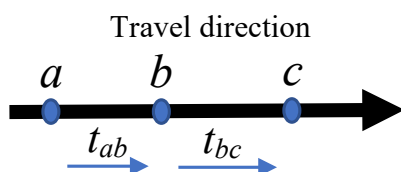


Fig. 1. Illustrations of bus stops internal travel time

(t_{ab}, t_{bc}) constructs a series of travel time transition pairs. For example, (255s, 350s) indicates that the travel time between bus stops a and b is 255 seconds and 350s between next two bus stops b and c . The probability of occurrence of state can be obtained by statistical historical data. The transition probability matrix of bus stops internal travel time can be obtained by a series of travel time transition pairs at the period T and bus route L

$$\begin{matrix} & t_{bc0} & t_{bc1} & \dots & t_{bc\ n-1} \\ t_{ab0} & P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0\ n-1} \\ t_{ab1} & P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1\ n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{ab\ n-1} & P_{n-10} & P_{n-11} & \dots & P_{n-1\ n-1} \end{matrix} \quad (1)$$

3. Bus arrival time deduction: When the vehicle arrives at the bus stop b , the travel time between stop a and stop b is known. By using the transition matrix, the travel time t_{bc} between the stop b and stop c can be calculated.

$$t_{bc} = \sum_{j=0}^{n-1} P_{ij} t_{bcj}. \quad (2)$$

The arrival time of bus stop c $t_{arrive\ c}$ can be calculated by

$$t_{arrive\ c} = t_{arrive\ b} + t_{bc}, \quad (3)$$

where $t_{arrive\ b}$ is the arrival time of bus stop b .

3. Case study

3.1 Dataset

The dataset used for case study is the GPS data record of Harbin in December 2012. The bus route No.114 with direction from the Sugar industry institute to Chengde square is selected as case study verification route from more than 100 bus routes of the city. The GPS data from December 3rd to December 7th (Monday to Friday) are selected as training data, and the data of December 10th are used as test data. 9:00-10:00 is selected for the experiment period. Hexing 3rd Street bus stop, Hexing Road bus stop, Xidazhi Street are selected as experiment bus stops. Fig. 2 shows the data format that intercepted from the Oracle software. The fields are composed of bus line number (O_LINENO), bus name (O_BUSNAME), bus stop arrival time (O_ARRIVETIME), bus stop departure time (O_LEAVETIME), driving direction (O_UP), bus stop representative number (O_STATIONNO), etc. figure 3 is the bus network map of GIS, which is used for GPS data matching and experiment.

After extracting the data from the database, replacing the result within a certain range with a numerical value to simplify the calculation and simplify the transfer matrix. 2'01-2'30 is replaced by 2'15, 2'31-3'00 is replaced by 2'45, and as so on. The constructed transfer matrix is shown in table 1.

Table 1

Time	Transition matrix										
	2'45	3'15	3'45	4'15	4'45	5'15	5'45	6'15	6'45	7'15	7'45
2'15	0.25	0.00	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2'45	0.09	0.00	0.00	0.18	0.18	0.27	0.18	0.00	0.00	0.00	0.09
3'15	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.43	0.29	0.00	0.00	0.14	0.00
3'45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
4'15	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20
4'45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5'15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00	0.25

The actual data of No.114 bus route at 9 am in December 10th are shown as table 2.

列	数据	约束条件	授权	统计信息	触发器	闪回	相关性	详细资料	分区	索引	SQL
	O_LINE...	O_BUSNAME	O_ARRIVEDATE	O_ARRIVETIME	O_LEAVEIME	O_UP	O_STATIONNO				
1	114	3284	2012-12-01	05:24:13	05:24:32	1	33				
2	114	3284	2012-12-01	05:24:47	05:24:58	1	34				
3	114	3293	2012-12-01	05:37:49	05:37:58	1	33				
4	114	3293	2012-12-01	05:38:15	05:38:32	1	34				
5	114	3288	2012-12-01	05:51:16	05:51:26	1	34				
6	114	3341	2012-12-01	05:51:24	05:51:45	1	2				
7	114	3341	2012-12-01	05:52:14	05:52:28	1	3				
8	114	3299	2012-12-01	05:50:54	05:50:57	1	34				
9	114	3288	2012-12-01	05:50:56	05:51:06	1	33				
10	114	3341	2012-12-01	05:55:23	05:55:45	1	5				
11	114	3341	2012-12-01	05:52:52	05:53:19	1	4				
12	114	3282	2012-12-01	05:53:29	05:53:39	1	33				
13	114	3282	2012-12-01	05:53:50	05:54:00	1	34				
14	114	3341	2012-12-01	05:59:01	05:59:33	1	8				
15	114	3341	2012-12-01	05:56:22	05:56:52	1	6				
16	114	3341	2012-12-01	05:57:36	05:58:02	1	7				
17	114	3293	2012-12-01	05:40:09	05:59:45	0	1				

Fig. 2. Data format of GPS data



Fig. 3. Bus network map and No.114 bus route in GIS

Table 2

The actual data of No.114 bus route	
Hexing 3rd Street bus stop- Hexing road bus stop	Hexing road bus stop - Xidazhi Street bus stop
2'15	3'45
2'45	4'15
2'45	5'15
2'45	5'15
3'15	5'45
3'45	5'15
4'15	5'45

Prediction value which is calculated by using the data from first column and the transition matrix is shown in **table 3**. For the convenience of comparison, the result is converted into a decimal format, and the visual comparison results are shown in **figure 4**.

Table 3

Prediction results		
Prediction value	Real value	Error (absolute value)
3.625	3.75	0.125
5.068182	4.25	0.818
5.464286	5.25	0.214
5.75	5.25	0.500
5.75	5.75	0.000
0	5.25	5.250
6.125	5.75	0.375

3.2 Analysis of prediction results

As shown in **figure 4**, the predicted value and the real value are completely different in the sixth vehicle. Analyzing the reasons, as the limited amount of data, there is no historical data from Hexing 3rd Street bus stop to Hexing road bus stop at 4'45, the constructed transition matrix is not accurate. But this problem can be solved by adding a large amount of historical data. The errors between predicted values and real values of other vehicles are small. Finally, the bus arrival time prediction is completed by calculating arrival time and predicted bus stops internal travel time.

Conclusion

Based on the operation characteristics of bus vehicles, a Markov chain based algorithm is proposed to predict internal travel time between bus stops and bus arrive time. A case study by using Harbin No.114 bus route verified the algorithm. The prediction results of the model are

relatively good except for the imperfection of transition matrix.

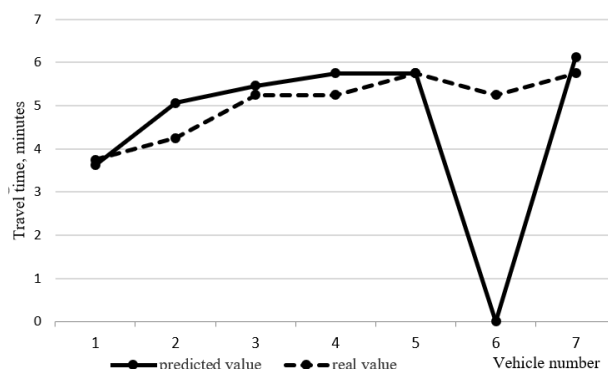


Fig. 4. The comparison of predicted value and real value

As the dataset is limited, the verification in this paper is inadequate. The prediction model can be improved by increasing the amount of data and improving the algorithm in the future.

References

1. XIANG Hongyan, PENG Xuwen Current Study and Development Trend of Bus Arrival Time Prediction // Journal of Transport Information and Safety. 2014, no. 4, pp. 57–61. (In Chinese).
2. Sun D., Luo H., Fu L., Liu W., Liao X., Zhao M. Predicting Bus Arrival Time on the Basis of Global Positioning System Data // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2007, vol. 2034, no. 1, pp. 62–72. doi: 10.3141/2034-08.
3. Chien S. I.-J., Ding Y., Wei C. Dynamic Bus Arrival Time Prediction with Artificial Neural Networks // Journal of Transportation Engineering. 2002, vol. 128, no. 5, pp. 429–438. doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:5(429).
4. Lin Y., Yang X., Zou N., Jia L. Real-Time Bus Arrival Time Prediction: Case Study for Jinan, China // Journal of Transportation Engineering. 2013, vol. 139, no. 11, pp. 1133–1140. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000589.
5. Shalaby A., Farhan A. Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data // Journal of Public Transportation. 2004, vol. 7, no. 1, pp. 41–61. doi: 10.5038/2375-0901.7.1.3.
6. Vanajakshi L., Subramanian S. C., Sivanandan R. Travel time prediction under heterogeneous traffic conditions using global positioning system data from buses // IET Intelligent Transport Systems. 2009, vol. 3, no. 1, p. 1. doi: 10.1049/iet-its:20080013.
7. Bin Y., Zhongzhen Y., Baozhen Y. Bus Arrival Time Prediction Using Support Vector Machines // Journal of Intelligent Transportation Systems. 2006, vol. 10, no. 4, pp. 151–158. doi: 10.1080/15472450600981009.
8. Jihua Hu, Guoyuan Li, Zhifeng Cheng Algorithm for predicting bus travel time between stops based on Markov chain // Journal of Transport Information and Safety. 2014, vol. 32, no. 2, pp. 17–22. (In Chinese)

Received 24/05/2018

Tian Y., Rakhmangulov A.N., Muravev D.S., Wang S. Bus arrival time prediction algorithm based on Markov chain // *Sovremennyye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2018, vol.8, no.2, pp. 29-38