



Вестник

Уральского
государственного
университета
путей сообщения

Научный журнал

Herald
of the Ural State University
of Railway Transport

Scientific journal



Научный журнал
«Вестник Уральского государственного
университета путей сообщения»
№ 3 (35), 2017 год

**Главный редактор,
научный редактор**
Василий Михайлович Сай

Литературный и выпускающий редактор
Людмила Станиславовна Барышникова

Техническое редактирование и верстка
Светлана Николаевна Наймушина

Дизайн обложки
Ольга Петровна Игнатьева

Учредитель и издатель:
Уральский государственный
университет путей сообщения
(УрГУПС)

Адрес для корреспонденции:
620034, Екатеринбург,
ул. Колмогорова, 66, УрГУПС,
редакция журнала
«Вестник УрГУПС»

Телефон редакции: (342) 221-25-60.
Веб-сайт: www.usurt.ru/vestnik;
e-mail: vestnik@usurt.ru.

Журнал издается по решению
ученого совета университета
©УрГУПС

«Вестник УрГУПС» включен ВАКом
в перечень периодических, научных
и научно-технических изданий,
выпускаемых в Российской Федерации,
в которых рекомендуется публикация
основных результатов диссертаций.

DOI:10.20291/2079-0392

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
Роскомнадзора ПИ № ФС77–38188
от 30 ноября 2009 г.

Подписной индекс журнала
в общероссийском
каталоге «Роспечать» — 70070

Отпечатано в издательстве
Уральского государственного
университета путей сообщения,
620034, Екатеринбург,
ул. Колмогорова, 66.

Подписано в печать 2.10.2017.

Тираж 300 экз. 1-й з-д: 1–80.
Формат 70×100/16.
Заказ 253

Scientific journal «Herald of the
Ural State University
of Railway Transport»
№ 3 (35), 2017

**Editor-in-chief,
Science editor**
Vasily M. Say

Script and copy editor
Lyudmila S. Baryshnikova

Technical editing and make-up
Svetlana N. Naymushina

Cover design
Olga P. Ignatjeva

Founder and publisher:
The Ural State University
of Railway Transport
(USURT)

Correspondence address:
«Herald of USURT» editorial office
The Ural State University of Railway Transport»
66 Kolmogorov Street,
620034, Ekaterinburg

Telephone: +7 (342) 221-25-60.
Web-site: www.usurt.ru/vestnik;
e-mail: vestnik@usurt.ru.

The journal is published by the decision of
University Academic Board
©USURT

DOI:10.20291/2079-0392

Certificate of registration of mass media
by the Federal Service for Supervision
in the sphere of communications,
information technology and mass communications
(Roskomnadzor) PI № FS77–38188
of November 30, 2009.

Subscription reference number of the issue
in the All Russia Catalogue «Rospechat» — 70070

Printed in the Publishing house
of the Ural State University of
Railway Transport
66 Kolmogorov Street,
620034, Ekaterinburg.

Passed for printing 2.10.2017.

Circulation 300. The 1st pr.: 1–80.
Format 70×100/16.
Order 253

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Кейт Бурнхам, профессор, Университет г. Ковентри, факультет машиностроения и вычислительной техники, Великобритания

Петер Копачек, профессор, Венский технологический университет, Венский институт транспорта и робототехники, интеллектуальный транспорт и робототехника, Вена, Австрия

Владимир Цыганов, д-р техн. наук, профессор, Институт проблем управления Российской академии наук, Москва, Россия

Сергей Герман-Галкин, д-р техн. наук, профессор, Морская академия, Институт судовой автоматики и электротехники, Щецин, Польша

Клаус Беккер, профессор, Университет прикладных наук г. Кельна, Институт автомобильной техники, лаборатория NVH, Германия

Василий Сай, д-р техн. наук, профессор, Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Вовк Алексей Александрович, д-р экон. наук, профессор, МГУПС, Москва

Воскресенская Тамара Петровна, д-р техн. наук, профессор, СибГИУ, Новокузнецк

Воробьев Александр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, МГУПС, Москва

Корнилов Сергей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, МГТУ, Магнитогорск

Нестеров Валерий Леонидович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург

Кузнецов Константин Борисович, д-р техн. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург

Сапожников Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург

Сизый Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, УрФУ, Екатеринбург

Щурин Константин Владимирович, д-р техн. наук, профессор, ОГУ, Оренбург

Тимофеева Галина Адольфовна, д-р физ.-мат. наук, профессор, УрГУПС, Екатеринбург

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Keith Burnham, professor, Coventry University, Faculty of Engineering and Computing, Great Britain

Peter Kopachek, professor, Vienna University of Technology, Vienna Institute of Transportation and Robotics, Intelligent Transportation and Robotics, Vienna, Austria

Vladimir Tsyganov, DSc, professor, Russian Academy of Sciences, Institute of Control Sciences, Moscow, Russia

Sergey German-Galkin, DSc, professor Maritime Academy, Institute of naval automation and electric engineering, Szczecin, Poland

Klaus Becker, professor, Cologne University of Applied Sciences, Institute of Automotive Engineering, NVH Laboratory, Germany

Vasily Say, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia

EDITORIAL BOARD

Vovk Alexei Aleksandrovich, DSc, professor, Moscow State University of Railway Transport, Moscow

Voskresenskaya Tamara Petrovna, DSc, professor, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

Vorobjev Alexander Alexeevich, DSc, professor, Moscow State University of Railway Transport, Moscow

Kornilov Sergey Nikolaevich, DSc, professor, Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Nesterov Valery Leonidovich, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

Kuznetsov Konstantin Borisovich, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

Sapozhnikov Valery Vladimirovich, DSc, professor, Petersburg State University of Railway Transport, Saint-Petersburg

Sizyi Sergey Viktorovich, D. Sc. in engineering, professor, Ural Federal University, Ekaterinburg

Shchurin Konstantin Vladimirovich, DSc, professor, Orenburg State University, Orenburg

Timofeeva Galina Adolfova, DSc, professor, The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

Содержание

Математические модели технологических процессов

- 4 В. В. Ляной. Разработка математической модели для исследования параметров индуктивного датчика железнодорожного колеса

Управление в технических системах

- 14 Б.Я. Чирков, Т.Н. Михасченко. Аналитическое определение кинематических параметров плоского рычажного механизма

Организация и логистика

- 21 П.А. Козлов, О.В. Осокин, Н.А. Тушин. Оптимальное распределение транспортных средств при освоении грузопотоков заданной структуры
- 29 А.В. Мартыненко. Количественные оценки взаимного влияния транспортной сети и территории
- 40 М.Л. Жарков, А.Л. Казаков, А.А. Лемперт. Об определении критических показателей работы транспортно-пересадочного узла на основе многофазной системы массового обслуживания
- 53 М.А. Журавская, Я.А. Бучельникова, А.В. Кондратьева. Пространственные решения организации ТПУ – важный элемент концепции дружелюбной транспортно-логистической среды города
- 63 М.Ю. Шерешева, М.С. Оборин, С.О. Дунаева. Анализ производственно-транспортной инфраструктуры регионов в целях формирования транспортно-логистических сетей

Управление. Экономика

- 80 К.В. Корсаков. О необходимости социальной адаптации, интеграции и аккультурации трудящихся-мигрантов в Российской Федерации

Организация образовательного процесса

- 88 В.М. Воронин, М.М. Ицкович, З.А. Наседкина, С.В. Курицын, А.А. Кощеев, Ю.А. Москвина, Н.Н. Улижева. Когнитивная наука в образовании

Транспорт: философские параллели

- 98 Е.П. Пьяных. Роль железной дороги в формировании и развитии общества

Аспирантская тетрадь

- 108 А.А. Гунбин. Исследование интервалов на отдельных элементах сортировочной горки при скатывании отцепов дифференцированной длины
- 118 Я.А. Мишин. Методика расчета тока в колесно-моторном блоке при аварийных режимах работы тягового двигателя

Contents

Mathematic models of technological processes

- 4 V. V. Ljanoy. Development of mathematical models for investigation of inductive sensor parameters of railway wheels

Control in engineering systems

- 14 B.Ya. Chirkov, T. N. Mikhaschenko. Analytical determination of the kinematic parameters of the flat lever mechanism

Organization and logistics

- 21 P.A. Kozlov, O.V. Osokin, N.A. Tushin. Optimal distribution of vehicles in the development of the cargo transport of the assigned structure
- 29 A.V. Martynenko. Quantitative assessment of the mutual influence of the transport network and the territory
- 40 M.L. Zharkov, A.L. Kazakov, A.A. Lempert. Determination of the critical parameters of work transport interchange hub based on multiphase queuing system
- 53 M.A. Zhuravskaya, Ya.A. Buchelnikova, A.V. Kondratieva. Spatial decisions for Transport Hubs organization as an element of friendly urban transport concept
- 63 M.Yu. Sheresheva, M.S. Oborin, S.O. Dunayeva. Analysis of the procedural-transport infrastructure of regions for the formation of transport and logistic networks

Management. Economics

- 80 K.W. Korsakov. The need for social adaptation, integration and acculturation of migrant workers in the russian federation

Study process organization

- 88 V.M. Voronin, M.M. Itskovich, Z.A. Nasedkina, C.V. Kuritsin, A.A. Koshcheev, Ya.A. Moskvina, N.N. Ulizheva. Cognitive science and education

Transport: philosophical parallels

- 98 E. P. Pyanykh. The role of the railway in the formation and development of society

Research of young scientists

- 108 A. A. Gunbin. Investigation of intervals on separate elements hump rolling at length unhook differentiated
- 118 Ya. A. Mishin. Method of calculating the current wheel-motor blocks during emergency operation traction motors

Математические модели технологических процессов

УДК 625.096

В. В. Ляной

Разработка математической модели для исследования параметров индуктивного датчика железнодорожного колеса

UDC 625.096

V. V. Ljanoy

Development of mathematical models for investigation of inductive sensor parameters of railway wheels

Аннотация

Несмотря на широкое применение индуктивных датчиков регистрации прохода колеса в системах регулирования движением поездов [1, 2], процессы их функционирования исследованы недостаточно хорошо. Это приводит к их нестабильной работе в реальных условиях эксплуатации и необходимости многократного резервирования счетных пунктов для обеспечения требуемых показателей безопасности движения [3, 4]. Строгой теории и методов расчета датчиков колеса на сегодня не существует [5]. Отсутствуют также достаточно достоверные рекомендации по оптимизации их параметров и характеристик [6]. Целью работы является анализ физических процессов взаимодействия чувствительного элемента индуктивного датчика колеса (ДК) с рельсом и проходящим колесом и разработка математической модели, описывающей это взаимодействие. В статье предложены математическая модель и методика расчета ДК, которые позволяют провести необходимые исследования ДК на этапе разработки конструкторской документации и обеспечить требуемые показатели надежности и безопасность движения без введения избыточного оборудования.

Ключевые слова: индуктивный датчик колеса, повышение надежности, показатели безопасности движения, математическая модель.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-4-13

Annotation

Despite the widespread use of inductive sensors registration wheel passage in the control train traffic systems [1, 2], their operation processes well enough investigated. This leads to instability in the real operating conditions and the need for multiple backup counting points to provide the required safety parameters [3, 4]. Rigorous theory and methods of calculation of the wheel sensor for today does not exist. [5] There are also quite significant recommendations for optimizing their parameters and characteristics [6]. The aim is to analyze the physical processes of interaction of the sensing element of an inductive wheel sensor (WS) with the rail and the wheel and extending to develop a mathematical model describing the interaction. The paper proposes a mathematical model and calculation method of WS, which allow for the necessary studies on the WS stage of development of design documentation and provide the required reliability and safety of movement without introducing excess equipment.

Key words inductive wheel sensor, reliability improvement, traffic safety indicators, mathematical model.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-4-13

Вадим Вадимович Ляной, аспирант; заместитель директора НПЦ «Промэлектроника»; Екатеринбург, Россия. E-mail: Lyanoy_V@nrcprom.ru.

Статья рекомендована к печати В. Л. Нестеровым, д-ром техн. наук, профессором; кафедра «Автоматика и телемеханика» Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: vnesterov@usurt.ru.

Vadim Vadimovich Ljanoy, graduate student; deputy director of the Research and Production Centre «Promelectronics»; Yekaterinburg, Russia. E-mail: Lyanoy_V@nrcprom.ru.

The article is recommended for publication by V. L. Nesterov, DSc in Engineering, Professor; Department of the Automation and Telemechanics of the Ural State University of Railway Transport. E-mail: vnesterov@usurt.ru.

Датчики регистрации прохода колеса (ДК) содержат два отдельных датчика колеса, расположенных на некотором расстоянии друг от друга вдоль рельса, для возможности определения направления и скорости движения. Каждый такой датчик может рассматриваться как некий датчик приближения (или датчик положения). Индуктивный датчик приближения – это электронное устройство с чувствительным элементом в виде индуктивной катушки, которое на небольших расстояниях, соизмеримых с размером катушки, бесконтактно реагирует на сближение датчика и объекта [7] при следующих условиях: в объекте способны наводиться вихревые токи, объект не слишком мал, объект не слишком тонок.

И хотя вопросы применения индуктивных датчиков приближения в технической литературе рассмотрены достаточно широко и подробно [7, 8], расчет датчиков регистрации колеса до настоящего времени вызывает серьезные затруднения. Это вызвано особенностями конструкции ДК, у которого регистрируемый объект (колесо) проходит над поверхностью чувствительного

элемента датчика в некотором продольном направлении X , где боковое отклонение Y и вертикальное отклонение Z относительно направления прохода колеса может варьировать в достаточно широких пределах.

Конструктивное расположение чувствительного элемента ДК относительно колеса и рельса одного из таких датчиков приведено на рис. 1.

Ключевыми элементами в данной схеме являются электромагнитное поле (ЭМП), формируемое катушками индуктивности, его взаимодействие с рельсом при отсутствии колеса над датчиком и его взаимодействие с колесом и рельсом во время прохода колеса над датчиком.

Известно, что индуктивность L , магнитный поток Φ , значение напряженности H и индукции B электромагнитного поля существенно зависят от конструкции и размеров катушек индуктивности. Плоские индукторы разной конструкции рассмотрены и проанализировано распределение их электромагнитного поля в пространстве [9, 10]. Распределение напряженности и вектора магнитной индукции над поверхностью круглых плоских

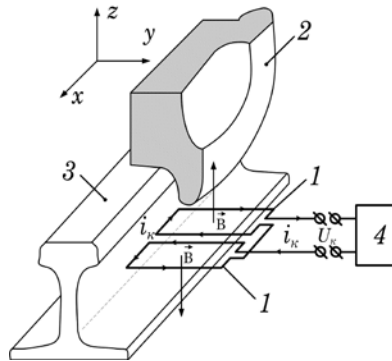


Рис. 1. Конструктивное расположение чувствительного элемента ДК колеса и рельса
1 – чувствительный элемент датчика (две согласно включенные и последовательно соединенные катушки индуктивности, расположенные в одной горизонтальной плоскости в области прохода реборды колеса); 2 – колесо железнодорожного транспортного средства; 3 – рельс; 4 – схема возбуждения и регистрации сигнала, возникающего при проходе колеса. Две катушки индуктивности в чувствительном элементе датчика использованы для уменьшения влияния бросков тягового тока и других внешних помех на формирование полезного сигнала

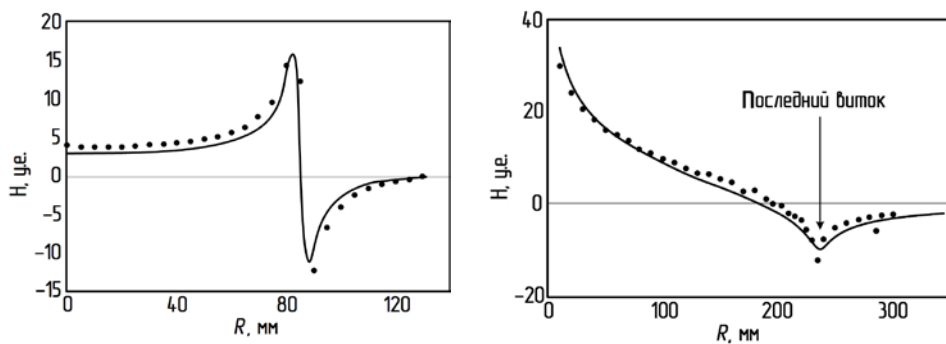


Рис. 2. Распределение расчетной и измеренной величины вектора магнитной индукции для одного витка катушки (слева) и для плоской спирали (справа)

индукторов в зависимости от исполнения может быть весьма различно [10]. Графики распределения расчетной и измеренной величины вектора магнитной индукции разных катушек по мере удаления от центра витка, взятые из [10], приведены на рис. 2, для одного витка (слева) и для плоской спирали (справа).

На рис. 2 видно, что для витка катушки значение вектора магнитной индукции в значительной области над центральной частью витка остается практически постоянным. По мере удаления от центра вектор магнитной индукции увеличивается, достигая своего максимума прямо над витком. При выходе за пределы витка магнитное поле меняет направление и при удалении от витка снижается до нуля. Теоретически для нескольких близко расположенных друг к другу витков плоской катушки распределение вектора магнитной индукции должно подчиняться такой же закономерности. Для спиральной катушки распределение вектора магнитной индукции над поверхностью катушки принципиально другое.

Индуктивные датчики приближения подробно рассмотрены в [7, 8], там же приводится анализ их зоны чувствительности. Указано, что электромагнитное поле, создаваемое катушкой датчика, может быть обнаружено на расстоянии около двух диаметров катушки от лицевой поверхности

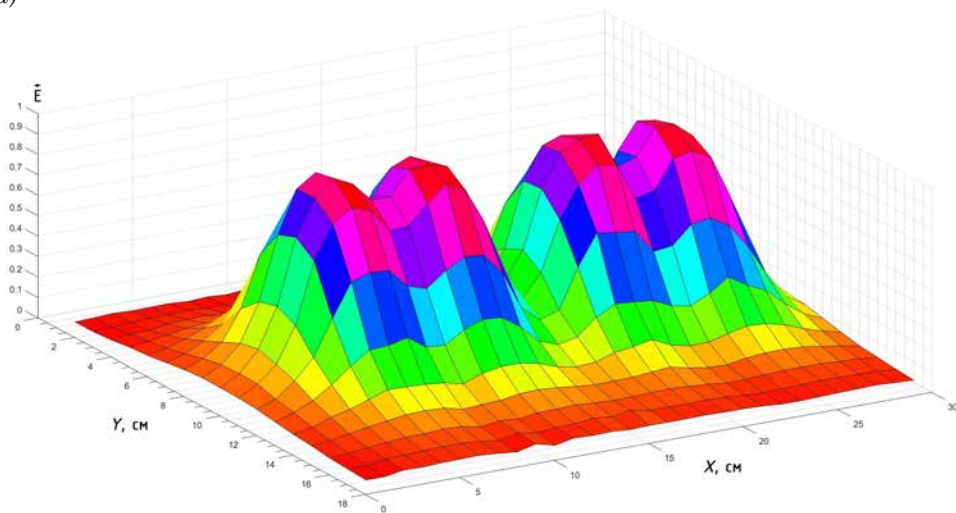
датчика. А его сила экспоненциально убывает с увеличением расстояния от поверхности катушки. Поэтому рабочий диапазон датчиков обычно принимается от 30 до 50 % диаметра катушки датчика, поскольку на больших расстояниях напряженность поля недостаточна для стабильной работы датчиков.

Для двух катушек индуктивности, включенных согласованно по магнитному потоку подобно катушкам рассматриваемого ДК, анализа электромагнитного поля и его взаимодействия с колесом в литературе не приводилось. Поэтому интересен анализ распределения электромагнитного поля в области прохода реборды колеса у реальных индуктивных датчиков.

Данные распределения величины модуля напряженности электромагнитного поля на расстоянии 6 и 20 мм от поверхности чувствительных элементов одного из датчиков регистрации прохода колеса, в котором использовано два одинаковых автономных ДК, нормированные относительно максимума одного из этих измерений, приведены на рис. 3.

По данным на рис. 3 можно увидеть, что характер изменения напряженности ЭМП на расстоянии 6 и 20 мм практически не меняется, а модуль максимума напряженности ЭМП при увеличении расстояния от поверхности с 6 до 20 мм уменьшился примерно в 2,2 раза. Характер изменения ЭМП над

а)



б)

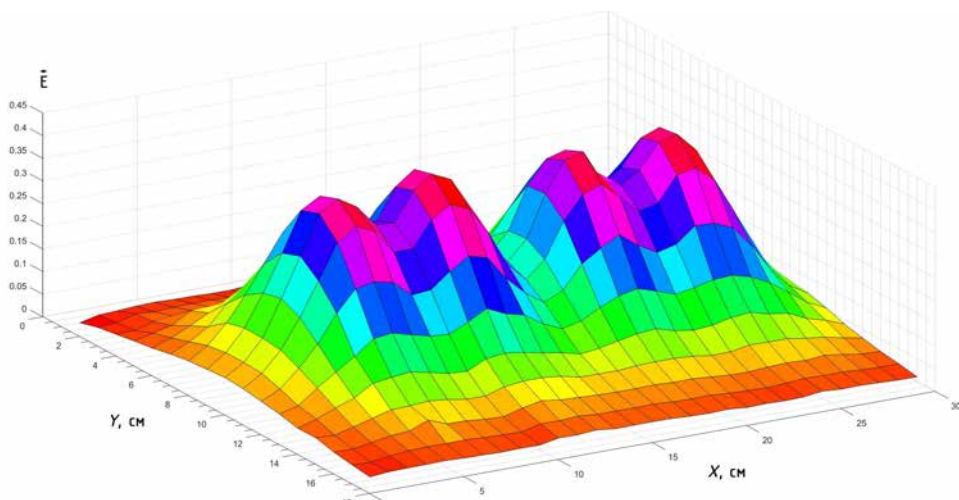


Рис. 3. Пространственное распределение модуля напряженности электромагнитного поля над поверхностью индукторов датчика колеса на расстоянии от поверхности датчика 6 мм (а) и 20 мм (б)

поверхностью датчика при его закреплении на рельсе практически не меняется относительно аналогичных данных, когда датчик на рельсе не закреплялся [5]. Из этого следует, что математическую модель можно разработать, пренебрегая влиянием рельса в рассматриваемой системе.

В таблице 1 приведены данные изменения модуля напряженности ЭМП на разных расстояниях от поверхности индукторов над точкой с максимальным значением напряженности рассматриваемого ДК (рис. 3) и над точкой с максимально возможным удалением реборды колеса от рельса.

Таблица 1

Данные изменения модуля напряженности ЭМП

Расстояние до поверхности чувствительного элемента ДК, мм	Значение модуля напряженности ЭМП над осью индукторов ДК, у. е.	Значение модуля напряженности ЭМП на расстоянии максимально возможного удаления реборды, у. е.
6	0,97	0,175
12	0,65	0,14
20	0,435	0,125
26	0,3	0,09

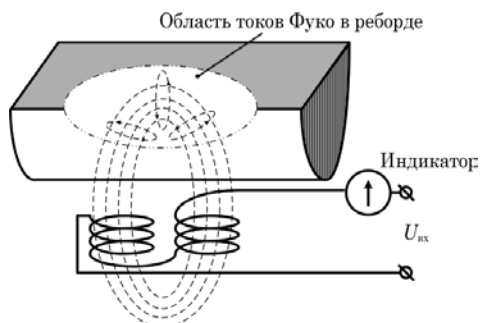
Обработка данных, приведенных в таблице 1, показала, что напряженность ЭМП над датчиком с увеличением расстояния от его поверхности, как и в [8], подчиняется экспоненциальному закону. Однако из рис. 3 видно, что область ЭМП вытянута вдоль линии прохода колеса и существенно отличается от данных, приведенных в технической литературе для автономных катушек. Из этих же данных следует, что при отклонении от продольной оси симметрии датчика регистрации прохода колеса на расстояние, допустимое по условиям эксплуатации железных дорог, напряженность ЭМП относительно своего максимального значения падает от 5,5 раз до 3,3 раз в зависимости от расстояния до поверхности датчика.

Декомпозиция рассматриваемой задачи и разработка математической модели

Условная схема распределения электромагнитного поля катушек индуктивности ДК и его взаимодействия с ребордой колеса приведена на рис. 4.

Из рис. 4, а видно, что при проходе реборды колеса над датчиком из-за появления металла в области ЭМП уменьшается сопротивление для магнитных силовых линий. Это неизбежно должно приводить к увеличению общей индуктивности системы из двух катушек. На рис. 4, б показано, что в теле реборды колеса возникают токи Фуко. И то и другое должно приводить к изменениям в схеме возбуждения чувствительного

а)



б)

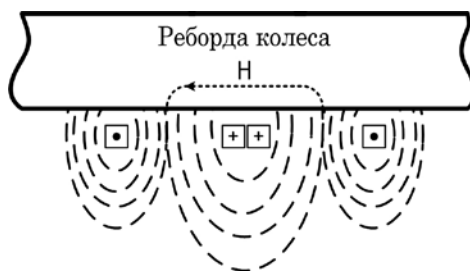


Рис. 4. Условная схема взаимодействия катушек индуктивности ДК с ребордой колеса
а – схема взаимодействия по взаимной индукции; б – схема возникновения токов Фуко

элемента датчика и в схеме регистрации сигнала, связанного с прохождением реборды. Изменение индуктивности будет приводить к изменению реактивной составляющей регистрируемого сигнала, а токи Фуко – к изменению активной составляющей регистрируемого сигнала. Также очевидно, что эти процессы взаимозависимы.

Таким образом, задача сводится к тому, чтобы получить математически описанную функциональную зависимость величины регистрируемого сигнала ($U_{\text{вых}}$ и/или его частоты ω) от параметров системы, выбираемых и оптимизируемых на стадии её проектирования (диаметр катушек индуктора, межосевое расстояние между ними, тип и размер используемого провода, схема возбуждения индуктора, схема регистрации сигнала и другие параметры составных элементов ДК), а также от переменных параметров по условиям

эксплуатации (возможное отклонение реборды колеса от продольной оси симметрии).

Расчеты на основе эквивалентной схемы замещения

Представим взаимодействие катушек индуктивности ДК с колесом и рельсом, показанных на рис. 1 и 4, и эквивалентной схемой замещения, приведенной на рис. 5.

На эквивалентной схеме (рис. 5) не представлено взаимодействие катушек с рельсом, так как ранее, в [5], показано, что модуль напряженности ЭМП над чувствительными элементами ДК данной конструкции при закреплении его на рельс практически не меняется.

В качестве генератора переменного тока (E_n) для возбуждения катушек индуктора используем схему Колпица, которая широко применяется в датчиках

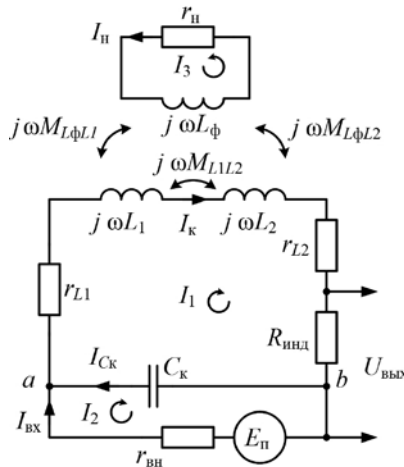


Рис. 5. Эквивалентная схема замещения взаимодействия катушек ДК и реборды
 L_1 и L_2 – индуктивности первой и второй катушек индуктора ДК; M_{L1L2} – взаимная индуктивность между этими катушками; r_{L1} и r_{L2} – активное сопротивление катушек L_1 и L_2 ; L_ϕ – эквивалентная индуктивность от токов Фуко, возникающих в реборде колеса; $M_{L\phi L1}$ и $M_{L\phi L2}$ – взаимная индуктивность катушки L_ϕ с катушками L_1 и L_2 соответственно; r_n – эквивалентное сопротивление нагрузки для токов Фуко; I_n – обобщенный эквивалентный ток нагрузки токов Фуко; I_k – ток возбуждения катушек ДК; ω – угловая частота тока возбуждения; $R_{\text{инд}}$ – активное сопротивление, на котором выделяется полезный сигнал $U_{\text{вых}}$ при прохождении реборды колеса; E_n – источник напряжения с внутренним сопротивлением $r_{вн}$; $I_{вх}$ – ток возбуждения; C_k – эквивалентная емкость резонансного контура, в который включены катушки индуктивности; $I_{с\kappa}$ – ток, протекающий через конденсатор; I_1 , I_2 и I_3 – токи в соответствующих контурах

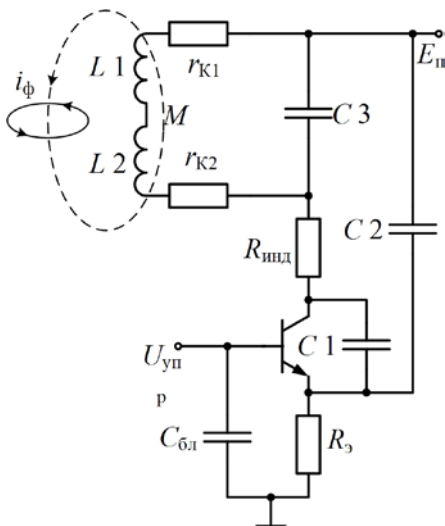


Рис. 6. Упрощенная эквивалентная схема возбуждения катушек индуктора

приближения (в упрощенном виде приведена на рис. 6).

Здесь конденсатор C_3 использован для защиты транзистора от скачков перенапряжений, которые могут возникать на выходах обмоток катушек индуктивности от воздействия внешних электромагнитных помех типа молний или от разрядов высоковольтного напряжения с контакторами электропоездов. Регулируя напряжение $U_{уп}$, в этой схеме можно устанавливать необходимые значения токов $I_{вх}$ и, соответственно, I_k в резонансном контуре, чтобы обеспечить необходимую чувствительность датчика. Частота выходного сигнала в этой схеме определяется выражением:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{2LC_K(1 + K_{св})}}. \quad (1)$$

Здесь:

L – индуктивность катушек
 $L = L_1 = L_2$;

C_K представляет обобщенную суммарную емкость резонансного контура (рис. 5, 6):

$$C_K = C_3 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2},$$

$K_{св}$ – коэффициент их взаимной индуктивности.

Коэффициент взаимной индуктивности в отсутствии колеса для катушек и ДК исследуемой конструкции определялся экспериментальным способом из выражения (1) и составил от 0,073 до 0,084.

Поскольку в нашем случае $L_1 = L_2$ и катушки включены согласовано по магнитному потоку, общая индуктивность системы двух катушек составит

$$L_{\Sigma} = L_1 + L_2 + 2M = 2(L + M_{L1L2}),$$

где $M = M_{L1L2}$ – взаимная индуктивность катушек L_1 и L_2 .

Будем считать $M_{L\Phi L1}$ и $M_{L\Phi L2}$ равными и обозначим их как $M_{L\Phi L}$. Затем для схемы, приведенной на рис. 5, составим уравнения по законам Кирхгофа.

В точке «а»:

$$\dot{I}_{вх} + \dot{I}_c = \dot{I}_k, \quad (2)$$

$$(2r_k + R_{инд})\dot{I}_k + 2j\omega(L + M)\dot{I}_k + 2j\omega M_{L\Phi L}\dot{I}_n - j\frac{1}{\omega C_E}\dot{I}_{ск} = 0, \quad (3)$$

$$\dot{I}_{вх} r_{вн} - \left(-\frac{1}{\omega C_K}\dot{I}_{ск}\right) = \dot{E}_n, \quad (4)$$

$$(r_n + j\omega L_{\Phi})\dot{I}_n + 2j\omega M_{L\Phi L}\dot{I}_k = 0. \quad (5)$$

Для контурных токов I_1 , I_2 и I_3 уравнения (2)–(5):

$$\left(2r_k + R_{инд} + 2j\omega(L + M) - j\frac{1}{\omega C_K}\right)\dot{I}_1 + 2j\omega M_{L\Phi L}\dot{I}_3 + j\frac{1}{\omega C_K}\dot{I}_2 = 0, \quad (6)$$

$$\left(r_{вн} + j\frac{1}{\omega C_K}\right)\dot{I}_2 + j\frac{1}{\omega C_K}\dot{I}_1 = \dot{E}_n, \quad (7)$$

$$(r_n + j\omega L_{\Phi})\dot{I}_3 + 2j\omega M_{L\Phi L}\dot{I}_1 = 0. \quad (8)$$

Сокращенно выражения (6)–(8) можно записать как

$$\dot{Z}_1\dot{I}_1 + \dot{Z}_{31}\dot{I}_3 + \dot{Z}_{21}\dot{I}_2 = 0, \quad (9)$$

$$\dot{Z}_2\dot{I}_2 + \dot{Z}_{12}\dot{I}_1 = \dot{E}_n, \quad (10)$$

$$\dot{Z}_3 \dot{I}_3 + \dot{Z}_{13} \dot{I}_1 = 0, \quad (11) \quad \text{или}$$

где \dot{Z}_1 , \dot{Z}_2 и \dot{Z}_3 – комплексные сопротивления контуров 1, 2 и 3, соответственно; $\dot{Z}_{31} = \dot{Z}_{13}$ – комплексные взаимные сопротивления контуров 1 и 3; $\dot{Z}_{21} = \dot{Z}_{12}$ – комплексные взаимные сопротивления контуров 1 и 2.

Решение системы уравнений (9)–(11) относительно I_1 :

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_n - \dot{Z}_{12} \dot{I}_1}{\dot{Z}_2},$$

$$\dot{I}_3 = -\frac{\dot{Z}_{13} \dot{I}_1}{\dot{Z}_3},$$

$$\dot{Z}_1 \dot{I}_1 - \frac{\dot{Z}_{13} \dot{Z}_{31}}{\dot{Z}_3} \dot{I}_1 + \frac{\dot{Z}_{12}}{\dot{Z}_2} (\dot{E}_n - \dot{Z}_{12} \dot{I}_1) = 0,$$

$$\dot{I}_1 \left(\dot{Z}_1 - \frac{\dot{Z}_{31}^2}{\dot{Z}_3} - \frac{\dot{Z}_{21}^2}{\dot{Z}_2} \right) + \frac{\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_2} \dot{E}_n = 0,$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\frac{\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_2} \dot{E}_n}{\frac{\dot{Z}_{31}^2}{\dot{Z}_3} + \frac{\dot{Z}_{21}^2}{\dot{Z}_2} - \dot{Z}_1}.$$

Если учесть, что $r_{вн} \approx 0$, то имеем:

$$\dot{Z}_2 = r_{вн} - j \frac{1}{\omega C_K} \approx -j \frac{1}{\omega C_K},$$

$$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} = j \frac{1}{\omega C_K},$$

$$\frac{\dot{Z}_{21}}{\dot{Z}_2} = \frac{j \frac{1}{\omega C_K}}{-j \frac{1}{\omega C_K}} = -1,$$

$$\frac{\dot{Z}_{21}^2}{\dot{Z}_2} = -j \frac{1}{\omega C_K},$$

$$\frac{\dot{Z}_{31}^2}{\dot{Z}_3} = -\frac{4\omega^2 M_{L\Phi L}^2}{r_i + j\omega L_\Phi}.$$

Тогда I_1 можно записать как

$$\dot{I}_1 = \frac{-\dot{E}_n}{-\frac{4\omega^2 M_{L\Phi L}^2}{r_n + j\omega L_\Phi} - j \frac{1}{\omega C_K} - \left(2r_k + R_{инд} + 2j\omega(L + M) - j \frac{1}{\omega C_K} \right)}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_n}{\frac{4\omega^2 M_{L\Phi L}^2}{r_n + j\omega L_\Phi} + R_{инд} + 2(r_k + j\omega(L + M))}.$$

И тогда выходное напряжение на рис. 5 будет описываться следующим выражением:

$$U_{вых} = \dot{I}_1 R_{инд} = \frac{R_{инд} \dot{E}_n}{\frac{4\omega^2 M_{L\Phi L}^2}{r_n + j\omega L_\Phi} + R_{инд} + 2(r_k + j\omega(L + M))}. \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что в отсутствие колеса над датчиком первый член в знаменателе этого выражения равен нулю. Исходное начальное значение выходного напряжения $U_{вых}$ на выходе ДК определяется параметрами катушек индуктивности (L и r_k), сопротивлением $R_{инд}$ и напряжением на базе транзистора, в соответствии с которым устанавливаются необходимые напряжение $\sim U_k$ на коллекторе транзистора, ток в контуре и чувствительность ДК. Причем для повышения чувствительности ДК необходимо уменьшать величину r_k и увеличивать отношение $R_{инд}/r_k$. При появлении колеса над датчиком в знаменателе появляется новый член и изменяются значения величин r_n , L_Φ , $M_{L\Phi L}$ и M . Это приводит к уменьшению первоначально установленного значения напряжения U_k и появлению полезного сигнала на выходе ДК в соответствии с конкретным прохождением реборды колеса относительно катушек индуктивности датчика.

В соответствии с данными, приведенными на рис. 1 и 3, напряженность ЭМП и, следовательно, чувствительность датчика по оси Y относительно его максимального значения с достаточной степенью точности можно описать функцией Гаусса:

$$F(Y) = k \cdot \exp\left(-Y^2 / 2\sigma^2\right), \quad (13)$$

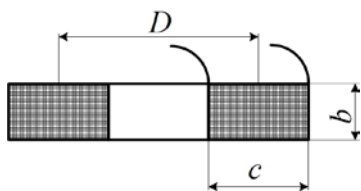


Рис. 7. Параметры применяемых катушек индуктивности

где σ однозначно связана с диаметром катушек индуктивности.

Индуктивность плоских катушек со средним диаметром D_L и сечением обмотки $b \cdot c$, где b и $c \ll D_L$ (рис. 7) можно рассчитывать с применением эллиптических интегралов Максвелла по разработанным программам [11]:

$$L = \frac{0,08D^2N^2}{3D + 9b + 10c}.$$

Литература

1. Тильк И. Г. Новые устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта. Екатеринбург : УрГУПС, 2010. 168 с. ISBN 978-5-94614-155-0.
2. Щиголов С. А. и др. Путевые датчики для устройств железнодорожной автоматики // Автоматика, связь, информатика. 2013. № 11. С. 23–24. ISSN 0005-2329.
3. Error-tolerant axle counting method for the rail vehicles, using redundant and digitally-optimized wheel signals and count signals at all counting locations : заявка на пат. № DE102005048852, заявл. 12.10.2004; опубли. 20.04.2006.
4. Modular axle counting system : пат. № CN104192172, заявл. 13.09.2014. опубли. 14.09.2016.
5. Ляной В. В. Индуктивные датчики регистрации прохода колеса железнодорожной подвижной единицы. Проблемы и перспективы использования // Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 1. С. 37–42. ISSN 1812-6782.
6. Щиголов С. А., Сергеев Б. С. Анализ работы электромагнитного путевого датчика ДПЭП // Электротехника, 2000. № 7. С. 41–46. ISSN 0013-5860.
7. Рыжов С. Н. Вопросы применения индуктивных датчиков приближения. Обзор ФИЛКУССТ, 2016. URL: <http://www.sensor.ru/pdf/technocomost/proxy.pdf> (дата обращения: 05.06.2017).
8. Inductive technology handbook. URL: http://www.kamansensors.com/pdf_files/Kaman_Applications_Handbook_WEB.pdf (дата обращения: 05.06.2017).
9. Богач Н. В., Никищенко А. Н. Анализ магнитных полей плоских излучателей // Радиоэлектроника и информатика. 2010. № 3. С. 46–50. ISSN 1563-0064.
10. Громыко И. А. Плоская спиральная катушка в качестве элемента новых конструкций приборов / Обработка інформації в складних технічних системах. 2016. № 2. С. 21–26. ISSN 1681-7710.
11. Немцов М. В. Справочник по расчету катушек индуктивности / 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. 192 с.

Literature

1. Tilk I. G. New devices automation and remote control of railway transport [Novyye ustroystva avtomatiki i telemekhaniki zheleznodorozhnogo transporta]. Yekaterinburg: USURT, 2010. 168 p. ISBN 978-5-94614-155-0.
2. Shchigolev S. A. and others. Track sensors for railway automation devices [Putevyye datchiki dlya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki] // Automation, Communication, Computer Science. 2013. № 11. Pp. 23–24. ISSN 0005-2329.

Для обеспечения надежной работы датчика необходимо задать допустимый уровень снижения сигнала при боковых смещениях реборды по оси Y и в соответствии с выражением (13) выбрать необходимый диаметр катушек индуктивности. Остальные параметры катушек рассчитываются по [11] с учетом требований выражений (1) и (12).

Разработанная модель взаимодействия реборды колеса с чувствительными элементами индуктивного ДК и предложенная методика расчета позволяют обеспечить надежную работу датчиков регистрации прохода железнодорожного колеса при всех боковых отклонениях реборды от продольной оси симметрии датчика и повысить безопасность движения поездов при использовании систем счета осей без введения избыточного оборудования. ■

3. Error-tolerant axle counting method for the rail vehicles, using redundant and digitally-optimized wheel signals and count signals at all counting locations pat. application № DE102005048852, application 12.10.2004; published 20.04.2006.
4. Modular axle counting system : pat. № CN104192172, application 13.09.2014. published 14.09.2016.
5. Lyanoy V. V. Inductive sensors registering the passage of vehicle wheels of the railway [Induktivnyye datchiki registratsii prokhoda koleasa zheleznodorozhnoy podvizhnoy yedinitsey]. Problems and prospects // Electronics and electrical transport. 2017. № 1. Pp. 37–42. ISSN 1812-6782.
6. Schigolev S. A., Sergeev B. S. Analysis of the work of the electromagnetic track sensor DPEP [Analiz raboty elektromagnitnogo putevogo datchika DPEP] // Electrical Engineering. 2000. № 7. Pp.41–46. ISSN 0013-5860.
7. Ryzhov S. N. The application of inductive proximity sensors [Voprosy primeneniya induktivnykh datchikov priblizheniya]. Overview FILKUSST, 2016. URL: <http://www.sensor.ru/pdf/technocomost/proxy.pdf> (reference date: 05.06.2017).
8. Inductive technology handbook. URL: http://www.kamansensors.com/pdf_files/Kaman_Applications_Handbook_WEB.pdf (reference date: June 05, 2017).
9. Bogach N. V., Nikishenko A. N. Analysis of the magnetic fields of flat emitters [Analiz magnitnykh poley ploskikh izluchateley] // Electronics and Computer Science. 2010. № 3. Pp. 46–50. ISSN 1563-0064.
10. Gromyko I. A. Flat spiral coil as an element of new designs of devices [Ploskaya spiral'naya katushka v kachestve elementa novykh konstruktsiy priborov] // Processing informatsii convertible in tehnicnih systems. № 2016. 2. Pp. 21–26. ISSN 1681-7710.
11. Nemtsov M. V. Handbook on the calculation of inductance coils [Spravochnik po raschetu katushek induktivnosti]. 2 nd ed., Revised and additional. – M. : Energoatomizdat, 1989. 192 p.

Статья сдана в редакцию 5 июня 2017 года

Управление в технических системах

УДК 531.15

Б. Я. Чирков, Т. Н. Михащенко

Аналитическое определение кинематических параметров плоского рычажного механизма

UDC 531.15

B. Ya. Chirkov, T. N. Mikhaschenko

Analytical determination of the kinematic parameters of the flat lever mechanism

Аннотация

После расчетов рычажных механизмов, определения их геометрических параметров и структурного анализа необходимо найти кинематические параметры (линейные скорости и ускорения, угловые скорости и ускорения, аналоги скоростей и ускорений), а также получить формулы, связывающие эти параметры, для силового расчета, приведения моментов сил, моментов инерции масс, определения момента инерции маховика, обеспечивающего заданную неравномерность движения механизма и для решения других задач механики.

В данной статье рассматриваются методы аналитического определения кинематических параметров плоских рычажных механизмов второго класса. Предложен рациональный алгоритм и модифицированная формула для определения вспомогательного угла φ , рассмотрен пример аналитического вариантного нахождения кинематических параметров с использованием авторского метода относительных безразмерных параметров и безмасштабного метода построения планов скоростей и ускорений. Приведены результаты компьютерного решения. Методика многократно проверена при решении задач рассматриваемого класса.

Ключевые слова: рычажные механизмы, аналитическая кинематика, метод относительных безразмерных параметров.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-14-20

Annotation

After the calculations of linkage mechanism, the determination of their geometric parameters and structural analysis, it is necessary to find the kinematic parameters (linear speed and acceleration, angular velocity and acceleration are the analogues of velocities and accelerations) and to the formula relating these parameters for the power calculation, bring moments of forces, moments of inertia, determination of moment of inertia of the flywheel, provides a specified uneven movement of the mechanism and to solve other problems of mechanics.

This article discusses methods for analytical determination of the kinematic parameters of the flat lever mechanisms second class. The rational algorithm and the modified formula for determining the auxiliary angle φ , consider an example of finding the analytical variant of kinematic parameters using the author's method relative dimensionless parameters and scale-free method for constructing plans velocities and accelerations. The results of computer solutions. The technique has been repeatedly tested in solving the problems of the class under consideration.

Kew words: linkage mechanism, analytical kinematics, method relative dimensionless parameters.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-14-20

Борис Яковлевич Чирков, канд. тех. наук, профессор; Курганский институт железнодорожного транспорта – филиал Уральского государственного университета путей сообщения; г. Курган, Россия. E-mail: bar1972@inbox.ru.

Татьяна Николаевна Михащенко, канд. пед. наук, доцент; Курганский институт железнодорожного транспорта – филиал Уральского государственного университета путей сообщения, г. Курган, Россия. E-mail: tana103@mail.ru.

Статья рекомендована к печати Г. Ю. Волковым, д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой «Детали машин» Курганского государственного университета. E-mail: vlkv48@mail.ru.

Boris Yakovlevich Chirkov, PhD in Engineering, Professor; The Kurgan Institute of Railway Transport – a branch of the Ural State University of Railway Transport; Kurgan, Russia. E-mail: bar1972@inbox.ru.

Tatyana Nikolaevna Mykhaschenko, PhD in Pedagogies, associate professor; The Kurgan Institute of Railway Transport – a branch of the Ural State University of Railways, Kurgan, Russia. E-mail: tana103@mail.ru.

The article is recommended for publication by G. Yu. Volkov, PhD in Engineering, professor, head of the department «Details of machines» of the Kurgan State University. E-mail: vlkv48@mail.ru.

Плоские рычажные механизмы широко применяются во многих отраслях транспортного назначения; исследование таких механизмов актуально. К основным достоинствам плоских рычажных механизмов, обусловившим их широкое применение, относятся: высокая технологичность изготовления, малый износ соприкасающихся поверхностей, надежность в работе, ремонтпригодность и долговечность.

Схема плоского рычажного механизма представляет собой замкнутый многоугольник, состоящий в зависимости от сложности механизма из одного или нескольких замкнутых контуров. Рассмотрим схему шарнирного четырехзвенника (рис.). Определим углы φ_2 и φ_3 , задающие положение звеньев l_1, l_2, l_3 на расчетной схеме, путем использования представлений о вспомогательном угле φ .

Составим векторное уравнение замкнутости для четырехзвенника OABCO [1]:

$$\bar{l}_1 - \bar{l}_2 + \bar{l}_3 - \bar{l}_4 = 0. \quad (1)$$

Найдем проекции этого уравнения на оси Ox и Oy :

$$l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 - l_4 \cos \varphi_4 = 0, \quad (2)$$

$$l_1 \sin \varphi_1 - l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 - l_4 \sin \varphi_4 = 0. \quad (3)$$

Учитывая, что $\varphi_4 = 0, \cos \varphi_4 = 1, \sin \varphi_4 = 0$, получим

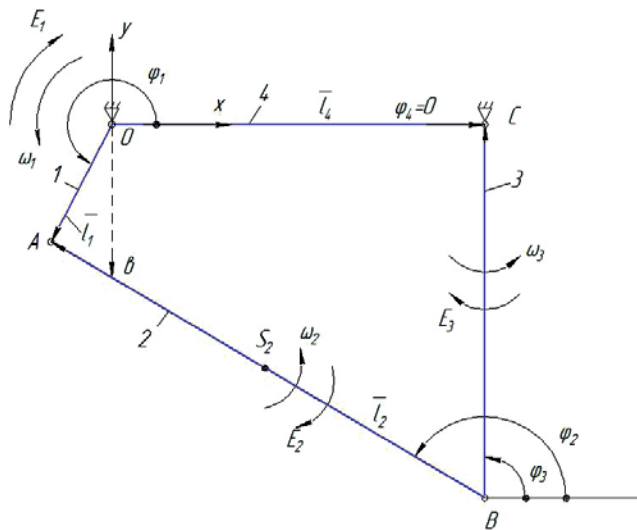
$$l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 - l_4 = 0, \quad (4)$$

$$l_1 \sin \varphi_1 - l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 = 0. \quad (5)$$

Перепишем данную систему:

$$l_3 \cos \varphi_3 = l_2 \cos \varphi_2 + (l_4 - l_1 \cos \varphi_1), \quad (6)$$

$$l_3 \sin \varphi_3 = l_2 \sin \varphi_2 - l_1 \sin \varphi_1. \quad (7)$$



Расчетная схема шарнирного четырехзвенника

После возведения в квадрат и сложения уравнений системы получим

$$l_3^2 = l_2^2 + 2l_2(l_4 - l_1 \cos \varphi_1) \cos \varphi_2 + (l_4 - l_1 \cos \varphi_1)^2 - 2l_1 l_2 \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + l_1^2 \sin^2 \varphi_1. \quad (8)$$

Введем новые переменные и перепишем равенство (8)

$$a \sin \varphi_2 - b \cos \varphi_2 = c, \quad (9)$$

где

$$a = 2l_1 l_2 \sin \varphi_1, \quad (10)$$

$$b = 2l_2(l_4 - l_1 \cos \varphi_1), \quad (11)$$

$$c = l_2^2 - l_3^2 + (l_4 - l_1 \cos \varphi_1)^2 + l_1^2 \sin^2 \varphi_1. \quad (12)$$

Используем вспомогательный угол и рекомендуемое соотношение

$$a \sin \varphi_2 - b \cos \varphi_2 = \frac{a \sin(\varphi_2 - \varphi_1)}{\cos \varphi}, \quad (13)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{a} = \frac{l_4 - l_1 \cos \varphi_1}{l_1 \sin \varphi_1}. \quad (14)$$

Подставив в формулы (9)–(14) исходные данные: $l_1 = 0,25$ м, $l_2 = 1$ м, $l_3 = 0,75$ м, $l_4 = 0,75$ м, $\varphi_1 = 240^\circ$, найдем угол $\varphi_2 = -120^\circ$, но элементарное измерение угла φ_2 (см. рис.) показывает, что этот угол примерно равен 150° . Очевидно, в таком виде формула (13) не подходит; предлагаем модифицированную формулу:

$$a \sin \varphi_2 - b \cos \varphi_2 = b \left(\frac{a}{b} \sin \varphi_2 - \cos \varphi_2 \right) = b (\operatorname{tg} \bar{\varphi} \sin \varphi_2 - \cos \varphi_2) \quad (15)$$

или

$$a \sin \varphi_2 - b \cos \varphi_2 = -\frac{b \cos(\varphi_2 + \bar{\varphi})}{\cos \bar{\varphi}} = c, \quad (16)$$

где

$$\operatorname{tg} \bar{\varphi} = \frac{a}{b} = \frac{l_1 \sin \varphi_1}{l_4 - l_1 \cos \varphi_1}. \quad (17)$$

Подставив в формулы (16), (17) исходные данные: $l_1 = 0,25$ м, $l_2 = 1$ м, $l_3 = 0,75$ м, $l_4 = 0,75$ м, $\varphi_1 = 240^\circ$, найдем сначала вспомогательный угол, а затем и угол $\varphi_2 = 147,7^\circ$. Видно, что эти формулы дают вполне приемлемый ответ. Продолжая расчеты, получим $\varphi_3 = 87,76^\circ$, что подтверждается замером и геометрическим расчетом, изложенным в [3].

После определения углов φ_2 , φ_3 вернемся к системе уравнений (4), (5) и продифференцируем ее по углу поворота кривошипа φ_1 ; получим

$$-l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \varphi_2' \sin \varphi_2 - l_3 \varphi_3' \sin \varphi_3 = 0, \quad (18)$$

$$l_1 \cos \varphi_1 - l_2 \varphi_2' \cos \varphi_2 + l_3 \varphi_3' \cos \varphi_3 = 0, \quad (19)$$

где

$$\varphi'_2 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (20)$$

– аналог угловой скорости шатуна, а

$$\varphi'_3 = \frac{\omega_3}{\omega_1} \quad (21)$$

– аналог угловой скорости коромысла. В системе уравнений (18), (19) два неизвестных параметра – аналоги угловых скоростей; определим каждый из них двумя способами.

Чтобы исключить аналог угловой скорости коромысла из данной системы, умножим первое уравнение на $\cos\varphi_3$, второе – на $\sin\varphi_3$ и сложим, получим:

$$-l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3) = -l_2 \varphi'_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) \quad (22)$$

и

$$\varphi'_2 = \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}. \quad (23)$$

Затем определим угловую скорость шатуна:

$$\omega_2 = \varphi'_2 \omega_1. \quad (24)$$

Путем аналогичных преобразований, после умножения системы (18), (19) на $\cos\varphi_2$ и $\sin\varphi_2$, получим:

$$\varphi'_2 = \frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_3 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)} \quad (25)$$

и

$$\omega_3 = \varphi'_3 \omega_1. \quad (26)$$

Расчеты, в которых использованы исходные данные, дают значения аналога угловой скорости шатуна 0,134 и аналога угловой скорости коромысла 0,387. Эти значения подтверждаются геометрическими расчетами по другому авторскому методу, изложенному в [3–5].

Определим аналоги угловых ускорений. Запишем уравнение (1) в виде

$$l_1 \bar{e}_1 - l_2 \bar{e}_2 + l_3 \bar{e}_3 - l_4 \bar{e}_4 = 0, \quad (27)$$

продифференцируем его по φ_1 , получим

$$l_1 \bar{e}'_1 - l_2 \bar{e}'_2 \varphi'_2 + l_3 \bar{e}'_3 \varphi'_3 = 0, \quad (28)$$

дифференцируя предыдущее равенство еще раз по φ_1 , имеем

$$l_1 \bar{e}''_1 - l_2 \bar{e}''_2 (\varphi'_2)^2 - l_2 \bar{e}'_2 \varphi''_2 + l_3 \bar{e}''_3 (\varphi'_3)^2 + l_3 \bar{e}'_3 \varphi''_3 = 0; \quad (29)$$

затем умножим скалярно на вектор \bar{e}_2 , и после некоторых преобразований получим

$$-l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + l_2 (\varphi'_2)^2 - l_3 (\varphi'_3)^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) - l_3 \varphi''_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) = 0. \quad (30)$$

Окончательно имеем

$$\varphi_3'' = \frac{l_2 (\varphi_2')^2 - l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - l_3 (\varphi_3')^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_2)}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}. \quad (31)$$

Подставив в формулу (31) исходные данные, найдем величину аналога углового ускорения коромысла, которое равно 0,077. Далее, дифференцируя по времени выражение (26) как сложную функцию, получим угловое ускорение коромысла

$$\varepsilon_3 = \varphi_3'' \omega_1^2 + \varphi_3' \varepsilon_1, \quad (32)$$

где ε_1 – угловое ускорение кривошипа. Подставляя снова исходные данные и учитывая, что $\omega_1 = 8$, $\varepsilon_1 = -4$, найдем ε_3 ; оно равно 3,37.

Выполняя аналогичные преобразования, умножив скалярно выражение (29) на вектор \vec{e}_3 , после некоторых преобразований найдем

$$\varphi_2'' = \frac{l_3 (\varphi_3')^2 + l_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) - l_2 (\varphi_2')^2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}. \quad (33)$$

Тогда с учетом заданных параметров угловое ускорение шатуна определится как

$$\varepsilon_2 = \varphi_2'' \omega_1^2 + \varphi_2' \varepsilon_1. \quad (34)$$

Снова подставляя в последние формулы исходные данные, получим аналог углового ускорения шатуна, равное -0,13, и, конечно, само угловое ускорение шатуна: $\varepsilon_3 = -8,84$.

Вычислим все выведенные нами расчетные параметры в программе MathCAD. Исходные данные запишем в виде $l_1 := 0,25$, $l_2 := 1$, $l_3 := 0,75$, $l_4 := 0,75$, $\varphi_1 := 240$. Командой Given зададим систему уравнений, в которой искомые углы φ_2 , φ_3 обозначены переменными x и y , а команда Find→ позволяет вычислить эти переменные.

Given

$$l_1 \sin\left(\frac{\pi\varphi_1}{180}\right) - l_2 \sin\left(\frac{\pi x}{180}\right) + l_3 \sin\left(\frac{\pi y}{180}\right) = 0;$$

$$l_1 \cos\left(\frac{\pi\varphi_1}{180}\right) - l_2 \cos\left(\frac{\pi x}{180}\right) + l_3 \cos\left(\frac{\pi y}{180}\right) - l_4 = 0.$$

$$\text{Find}(x, y) \rightarrow \begin{pmatrix} -212,20422750397 \\ -272,20422750397 \end{pmatrix}.$$

Углы в программе MathCAD вычислены в направлении по часовой стрелке; перейдем к углам, обозначенным на рисунке: $\varphi_2 = -212,204^\circ + 360^\circ = 147,796^\circ$, $\varphi_3 = -272,204^\circ + 360^\circ = 87,796^\circ$. Отметим, что расчеты в программе MathCAD с хорошей степенью точности совпадают с расчетами, полученными вручную. Далее рассчитаем аналогии угловых скоростей, ускорений и сами скорости и угловые ускорения:

$$\varphi'_2 = \frac{l_1 \sin\left((\varphi_1 - \varphi_3) \frac{\pi}{180}\right)}{l_2 \sin\left((\varphi_2 - \varphi_3) \frac{\pi}{180}\right)} = 0,134634;$$

$$\varphi'_3 = \frac{l_1 \sin\left((\varphi_1 - \varphi_2) \frac{\pi}{180}\right)}{l_3 \sin\left((\varphi_2 - \varphi_3) \frac{\pi}{180}\right)} = 0,384616;$$

$$\varphi''_2 = \frac{l_3 (\varphi'_3)^2 + l_1 \cos\left((\varphi_1 - \varphi_3) \frac{\pi}{180}\right) - l_2 (\varphi'_2)^2 \cos\left((\varphi_2 - \varphi_3) \frac{\pi}{180}\right)}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)} = -0,137711;$$

$$\varphi''_3 = \frac{l_2 (\varphi'_2)^2 - l_1 \cos\left((\varphi_1 - \varphi_2) \frac{\pi}{180}\right) - l_3 (\varphi'_3)^2 \cos\left((\varphi_3 - \varphi_2) \frac{\pi}{180}\right)}{l_3 \sin\left((\varphi_3 - \varphi_2) \frac{\pi}{180}\right)} = 0,072275.$$

Таким образом, предложен рациональный алгоритм и рассмотрен конкретный пример аналитического вариантного определения кинематических параметров плоского рычажного механизма второго класса – шарнирного четырехзвенника. Выведенные формулы многократно проверены при решении задач рассматриваемого класса.

Полученные аналитические выражения позволяют, не проводя дополнительных выкладок, не строя планов скоростей и ускорений для всех возможных положений звеньев механизма (кривошипа), определять все кинематические параметры механизма, лишь изменяя угол φ_1 кривошипа. Эти же формулы позволяют построить графики интересующих нас параметров в функции угла поворота кривошипа, а также могут быть использованы в других разделах механики (приведение сил, масс и т. д.).

Расчеты, произведенные в программе MathCAD, позволяют автоматизировать решение аналогичных задач с другими исходными параметрами. ■

Литература

1. Зиновьев В. А. Курс теории механизмов и машин. М. : «Наука». 1972. 384 с.
2. Справочник машиностроителя / под ред. проф. д-ра техн. наук Н. С. Ачеркана. В 6 т. ; Т. 1. Изд. 3-е испр. и доп. – М. : Машгиз. 1963. 592 с.
3. Чирков Б. Я. Исследование перемещений и скоростей звеньев плоского рычажного механизма методом относительных безразмерных параметров // Современное образование: содержание, технологии, качество : м-лы учебн.-метод. конф. (15–16 апр. 2010). – Курган : Курганская ГСХА, 2010. С. 93–96.
4. Чирков Б. Я. Определение ускорений звеньев плоского рычажного механизма методом относительных безразмерных параметров // Современное образование: содержание, технологии, качество : м-лы учебн.-метод. конф. (15–16 апр. 2010). – Курган : Курганская ГСХА, 2010. С. 100–102.
5. Чирков Б. Я. Совершенствование методов определения кинематических параметров рычажных механизмов общего и транспортного назначения // Транспорт: проблемы и перспективы : сб. м-лов Международн. научн.-практ. конф. / под ред. В. В. Харина. – Курган, 2016. С. 136–143.

Literature

1. Zinoviev V.A. The course of the theory of mechanisms and machines [Kurs teorii mekhanizmov i mashin]. M. : «Science». 1972. 384 p.
2. Handbook of machine builder [Spravochnik mashinostroitelya] / Ed. prof. Doctor of Technical Sciences N.S. Acherkan. In 6 vol.; T. 1. Ed. 3rd Correction and additional. – M. : Mashgiz. 1963. 592 p.
3. Chirkov B. Ya. Investigation of displacements and velocities of the links flat lever mechanism by relative dimensionless parameters [Issledovaniye peremeshcheniy i skorostey zven'yev ploskogo rychazhnogo mekhanizma metodom otnositel'nykh bezrazmernykh parametrov] // Modern education: content, technology, quality : m-ly instructional. Methodical Conference (15–16 April. 2010). – Kurgan : Kurgan State Agricultural Academy, 2010. Pp. 93–96.
4. Chirkov B. Ya. Acceleration detection units flat lever mechanism by relative dimensionless parameters [Opredeleniye uskoreniy zven'yev ploskogo rychazhnogo mekhanizma metodom otnositel'nykh bezrazmernykh parametrov] // Modern education: content, technology, quality : m-ly instructional. Methodical Conference (15–16 April. 2010). – Kurgan : Kurgan State Agricultural Academy, 2010. Pp. 100–102.
5. Chirkov B. Ya. Perfect methods for determining the kinematic parameters of lever mechanisms and general purpose vehicle [Sovershenstvovaniye metodov opredeleniya kinematicheskikh parametrov rychazhnykh mekhanizmov obshchego i transportnogo naznacheniya] // Transport: Problems and Prospects : Sat. Materials International Scientific practice Conf. / Ed. V.V. Kharina. – Kurgan, 2016. Pp.136–143.

Статья сдана в редакцию 26 мая 2017 года

Организация и логистика

УДК 656.22

П. А. Козлов, О. В. Осокин, Н. А. Тушин

Оптимальное распределение транспортных средств при освоении грузопотоков заданной структуры

UDC 656.22

P. A. Kozlov, O. V. Osokin, N. A. Tushin

Optimal distribution of vehicles in the development of the cargo transport of the assigned structure

Аннотация

Транспортные средства, перешедшие в частную собственность, используются недостаточно эффективно, а структура парка зачастую не согласуется со структурой грузопотока.

Предлагается новая потоковая модель оптимизации состава и технологии использования транспортных средств при освоении заданных грузопотоков. В модели задается граф распределения инвестиций, где единице денежного потока сопоставляется объем перевезенного груза и возможный доход при использовании того или иного транспортного средства.

Модель программно реализована для трех условных регионов и трех относительно взаимозаменяемых видов транспортных средств. Приводятся результаты одного из экспериментов.

Ключевые слова: грузопоток, инвестиции, оптимизация, транспортное средство, структура.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-21-28

Annotation

Vehicles converted into private ownership are not being used efficiently, and the structure of the fleet is often inconsistent with the structure of the flow of cargo. A new threading model optimization of technology and the use of vehicles during the development of the set of freight flow. The model is given by the graph of distribution of investments where cash flow is mapped to the unit volume of transported cargo and possible income using a particular vehicle.

Model program is implemented for the three conventional regions and three relatively interchangeable types of vehicles. The results of one experiment.

Key words: flow of cargo, investments, optimization, vehicles, structure object.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-21-28

Петр Алексеевич Козлов, д-р техн. наук, профессор, лауреат государственной премии; президент научно-производственного холдинга «Стратег»; Москва, Россия. E-mail: laureat_k@mail.ru.

Олег Викторович Осокин, д-р техн. наук; заместитель генерального директора ООО «Аналитические и управляющие системы на транспорте «Транспортный алгоритм»; Москва, Россия. E-mail: oosokin@css-rzd.ru.

Николай Андреевич Тушин, д-р техн. наук, профессор; кафедра «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: ntushin@zde.ru.

Статья рекомендована к печати В. М. Сай, д-р тех. наук, профессор; кафедра «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: vsay@usurt.ru.

Peter Alekseevich Kozlov, DSc in Engineering, Professor, State Prize Laureate; president of the research-and-production holding «Strategist»; Moscow, Russia. E-mail: laureat_k@mail.ru.

Oleg Viktorovich Osokin, DSc in Engineering; Deputy General Director of the Ltd «Analytical and Control Systems in Transport «Transport Algorithm»; Moscow, Russia. E-mail: oosokin@css-rzd.ru.

Nikolay Andreevich Tushin, DSc in Engineering, Professor; Department of the «Management of operational work» of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: ntushin@zde.ru.

The article is recommended for publication by V.M. Sai, DSc in Engineering, Professor; Department «Path and railway construction» of the Ural State University of Railways. E-mail: vsay@usurt.ru.

В настоящее время в России зарегистрировано больше тысячи компаний-собственников транспортных средств. Экономический успех таких компаний зависит от многих факторов: изменяющаяся структура грузопотоков, конкурентные преимущества относительно взаимозаменяемых видов транспорта, конкурентная борьба различных собственников, региональные условия выполнения перевозок, наличие ряда ограничений и др. [1–6].

Для эффективного вложения средств (инвестиций) в этой сфере необходимы соответствующий аппарат и технология расчета. А вот информационно-аналитическая среда в настоящее время довольно развита [7].

Рассмотрим Дальневосточный, Уральский и Центральный регионы для инвестиций в транспортные средства. Величина и структура грузопотоков в каждом регионе, которые могут быть освоены относительно взаимозаменяемыми транспортными средствами (крытыми вагонами, контейнерами и автомобилями), известны. Ограничения по имеющимся денежным средствам, привязке части грузопотока к конкретному транспортному средству, наличию транспортных средств для приобретения и др. могут варьироваться по регионам. Ставится задача: выбрать такую структуру транспортных средств для освоения грузопотоков, которая принесла бы наибольший доход. При этом необходимо учитывать, что в договорах владельцев транспортных средств с грузовладельцами указывается ущерб от невыполненных перевозок.

Построение аппарата оптимизации основывается на существующем опыте построения потоковых моделей [8–10]. Впервые использование графа структуры, где по дугам идут потоки денежных средств, предложено в [11].

Проблема формализуется в виде потоковой задачи на графе некоторой структуры. Пусть имеется сеть с источником и стоком, по дугам которой идут потоки инвестиций (рис. 1).

Имеется общий источник средств Q^+ (исток) и сток Q^- . При этом $Q^- = Q^+$.

Рассматриваются три региона – i, j, k . Возможные инвестиции обозначаются потоками q_i, q_j, q_k . В регионе i потоки денежных средств распределяются: q_i^α – на автомобили, q_i^β – на контейнеры, q_i^γ – на крытые вагоны.

Аналогично и в других регионах: $q_j^\alpha, q_j^\beta, q_j^\gamma, q_k^\alpha, q_k^\beta, q_k^\gamma$.

Для освоения региональных грузопотоков могут привлекаться транспортные средства из соседних регионов. В модели это отображается потоками $q_{ij}^\alpha, q_{ji}^\alpha, q_{jk}^\alpha, q_{kj}^\alpha, q_{ij}^\beta, q_{ji}^\beta, q_{jk}^\beta, q_{kj}^\beta, q_{ij}^\gamma, q_{ji}^\gamma, q_{jk}^\gamma, q_{kj}^\gamma$.

Денежные потоки к стоку $\tilde{q}_i^\alpha, \tilde{q}_i^\beta, \tilde{q}_i^\gamma, \tilde{q}_j^\alpha, \tilde{q}_j^\beta, \tilde{q}_j^\gamma, \tilde{q}_k^\alpha, \tilde{q}_k^\beta, \tilde{q}_k^\gamma$ означают суммарные инвестиции в определенные транспортные средства с учетом эффекта привлечения.

С единицей денежного потока связаны параметры h (количество перевезенного груза) и c (полученный доход).

Эти параметры учитывают стоимость транспортных средств, их грузо-

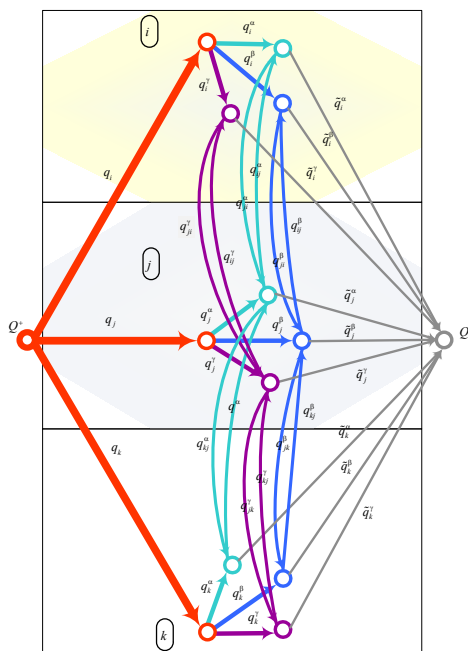


Рис. 1. Расчетная потоковая структура

подъемность и вместимость, время оборота и средний доход за месяц.

Для региона j грузопотоки: $h_j^\alpha, h_j^\beta, h_j^\gamma, h_j^\beta, h_j^\gamma, h_{ij}^\alpha, h_{ij}^\beta, h_{ij}^\gamma, h_{kj}^\alpha, h_{kj}^\beta, h_{kj}^\gamma$. Доходы по собственным средствам соответственно:

$$(q_j^\alpha \cdot c_j^\alpha), (q_j^\beta \cdot c_j^\beta), (q_j^\gamma \cdot c_j^\gamma),$$

а по привлеченным (для транспортных средств α) – $(q_{ij}^\alpha \cdot c_{ij}^\alpha), (q_{kj}^\alpha \cdot c_{kj}^\alpha)$.

По всем дугам могут быть заданы ограничения сверху и снизу:

$$\underline{q}_i \leq q_i \leq \bar{q}_i, \underline{q}_i^\alpha \leq q_i^\alpha \leq \bar{q}_i^\alpha, \underline{q}_{ij}^\alpha \leq q_{ij}^\alpha \leq \bar{q}_{ij}^\alpha.$$

Содержательный смысл ограничений: \bar{q}_i – ограничение по максимальным денежным средствам в регионе i ; \underline{q}_i – то же, по минимальным; $\bar{q}_i^\alpha \geq q_i^\alpha$ – объем груза, который может быть перевезен только автомобилями (скажем, скоропортящийся); $q_i^\alpha \leq \bar{q}_i^\alpha$ – для региона i нельзя выделить больше автомобилей.

Аналогичные ограничения могут быть по другим транспортным средствам и для других регионов.

Введем переменные:

$C_j^\alpha = c_j^\alpha q_j^\alpha + c_{ij}^\alpha q_{ij}^\alpha + c_{kj}^\alpha q_{kj}^\alpha$ – доход от перевозок в регионе j транспортными средствами α ;

$C_j^\beta = c_j^\beta q_j^\beta + c_{ij}^\beta q_{ij}^\beta + c_{kj}^\beta q_{kj}^\beta$ – то же транспортными средствами β ;

$C_j^\gamma = c_j^\gamma q_j^\gamma + c_{ij}^\gamma q_{ij}^\gamma + c_{kj}^\gamma q_{kj}^\gamma$ – то же транспортными средствами γ .

Для других регионов обозначения аналогичны.

Тогда суммарный доход от перевозок:

$$C_i^\alpha + C_i^\beta + C_i^\gamma + C_j^\alpha + C_j^\beta + C_j^\gamma + C_k^\alpha + C_k^\beta + C_k^\gamma.$$

Если записать:

$C_i = C_i^\alpha + C_i^\beta + C_i^\gamma$ – доход от перевозок в регионе i ,

$C_j = C_j^\alpha + C_j^\beta + C_j^\gamma$ – то же в регионе j ,

$C_k = C_k^\alpha + C_k^\beta + C_k^\gamma$ – то же в регионе k ,

то суммарный доход можно записать как $C_i + C_j + C_k$.

Ущерб от невыполненных перевозок

Введем переменные: H – заданный объем перевозок, \tilde{H} – выполненный объем перевозок, d – ущерб от невыполненных перевозок, приходящийся на единицу грузопотока, Δd – дополнительный ущерб от невыполнения обязательных перевозок заданными транспортными средствами (на единицу грузопотока).

Объем перевезенного груза транспортом α в регионе i : $h_i^\alpha q_i^\alpha$. Тогда ущерб от не выполненных перевозок в регионе i составит

$$d_i(H_i - (h_i^\alpha q_i^\alpha + h_i^\beta q_i^\beta + h_i^\gamma q_i^\gamma + h_{ji}^\alpha q_{ji}^\alpha + h_{ji}^\beta q_{ji}^\beta + h_{ji}^\gamma q_{ji}^\gamma)).$$

Дополнительный ущерб от невыполнения обязательных перевозок конкретными транспортными средствами будет равен

$$(d_i^\alpha - d_i)(H_i^\alpha - h_i^\alpha q_i^\alpha).$$

Для удобства введем укрупненные переменные (на примере одного региона):

$$\tilde{H}_j = h_j^\alpha q_j^\alpha + h_j^\beta q_j^\beta + h_j^\gamma q_j^\gamma + h_{ij}^\alpha q_{ij}^\alpha + h_{ij}^\beta q_{ij}^\beta + h_{ij}^\gamma q_{ij}^\gamma + h_{kj}^\alpha q_{kj}^\alpha + h_{kj}^\beta q_{kj}^\beta + h_{kj}^\gamma q_{kj}^\gamma$$

– объем перевозок всеми транспортными средствами в регионе j ;

$H_j^\alpha = h_j^\alpha q_j^\alpha$ – объем перевозок в регионе j собственными транспортными средствами α ;

$\tilde{H}_{ij}^\alpha = h_{ij}^\alpha q_{ij}^\alpha$ – то же привлеченными из региона i транспортными средствами α ;

$\tilde{H}_{kj}^\alpha = h_{kj}^\alpha q_{kj}^\alpha$ – то же привлеченными из региона k транспортными средствами α .

Дополнительные ущербы будут рассчитываться по схеме:

$\Delta d_j^\alpha = d_j^\alpha - d_j$ – для региона j и собственного транспортного средства α ;

$\Delta d_{ij}^\alpha = d_{ij}^\alpha - d_{ij}$ – то же для привлеченного из региона i транспортного средства α ;

$\Delta d_{kj}^\alpha = d_{kj}^\alpha - d_{kj}$ – то же для привлеченного из региона k транспортного средства α .

Дополнительный ущерб от невыполнения обязательных перевозок в регионе будет определяться как

$$\Delta D_j^\alpha = \Delta d_j^\alpha (H_j^\alpha - \tilde{H}_j^\alpha) + \\ + \Delta d_{ij}^\alpha (H_{ij}^\alpha - \tilde{H}_{ij}^\alpha) + \Delta d_{kj}^\alpha (H_{kj}^\alpha - \tilde{H}_{kj}^\alpha).$$

Тогда суммарный ущерб по всем регионам от невыполнения общего объема перевозок и дополнительного обязательного:

$$d_i (H_i - \tilde{H}_i) + d_j (H_j - \tilde{H}_j) + \\ + d_k (H_k - \tilde{H}_k) + \Delta D_i^\alpha + \Delta D_i^\beta + \\ + \Delta D_i^\gamma + \Delta D_j^\alpha + \Delta D_j^\beta + \Delta D_j^\gamma + \\ + \Delta D_k^\alpha + \Delta D_k^\beta + \Delta D_k^\gamma.$$

Укрупненно:

$D_i = d_i (H_i - \tilde{H}_i)$ – ущерб от невыполнения перевозок в регионе i ,

$D_j = d_j (H_j - \tilde{H}_j)$ – то же в регионе j ,

$D_k = d_k (H_k - \tilde{H}_k)$ – то же в регионе k .

Тогда суммарный ущерб от неосвоения требуемых грузопотоков:

$$D_i + D_j + D_k + \Delta D_i^\alpha + \Delta D_i^\beta + \\ + \Delta D_i^\gamma + \Delta D_j^\alpha + \Delta D_j^\beta + \Delta D_j^\gamma + \\ + \Delta D_k^\alpha + \Delta D_k^\beta + \Delta D_k^\gamma.$$

Использование транспортных средств ограничивается наличием груза к перевозке; это задается уравнениями типа

$$h_i^\alpha q_i^\alpha + h_i^\beta q_{ji}^\beta + h_i^\gamma q_i^\gamma + h_{ji}^\alpha q_{ji}^\alpha + \\ + h_{ji}^\beta q_{ji}^\beta + h_{ji}^\gamma q_{ji}^\gamma \leq H_i.$$

Могут быть и ограничения для отдельного вида транспортных средств:

$$h_i^\alpha \cdot q_i^\alpha + h_{ji}^\alpha \cdot q_{ji}^\alpha \leq H_i^\alpha \quad \text{или} \quad \tilde{H}_i^\alpha \leq H_i^\alpha.$$

Критерием оптимизации будет максимум разницы дохода и ущерба

$$C_i^\alpha + C_i^\beta + C_i^\gamma + C_j^\alpha + C_j^\beta + C_j^\gamma + C_k^\alpha + C_k^\beta + C_k^\gamma - \\ - \left(d_i (H_i - \tilde{H}_i) + d_j (H_j - \tilde{H}_j) + \right. \\ + d_k (H_k - \tilde{H}_k) + \Delta D_i^\alpha + \Delta D_i^\beta + \\ + \Delta D_i^\gamma + \Delta D_j^\alpha + \Delta D_j^\beta + \Delta D_j^\gamma + \\ \left. + \Delta D_k^\alpha + \Delta D_k^\beta + \Delta D_k^\gamma \right) \rightarrow \max.$$

Приведем некоторые результаты одного из расчетов, выполненного на модели.

Распределение инвестиций представлено в таблице 1.

Таблица 1

Структура транспортных средств

Транспорт	Кол-во, шт.	Стоимость, тыс. руб.
Автомобили	10	580,0
Контейнеры	170	185,6
Крытые	240	1234,4

Инвестиции расходуются на транспортные средства, используемые в своем регионе (таблица 2) и в соседних (на подработке) (таблица 3).

Таблица 2

Используемые в своем регионе транспортные средства

Транспорт	Кол-во, шт.	Стоимость, тыс. руб.
<i>i</i>		
Автомобили	0	0,0
Контейнеры	21	22,9
Крытые	89	458,6
<i>j</i>		
Автомобили	10	580,0
Контейнеры	15	15,7
Крытые	3	11,5
<i>k</i>		
Автомобили	0	0,0
Контейнеры	8	8,6
Крытые	87	452,3

Таблица 3

Используемые в смежном регионе транспортные средства

Транспорт	Кол-во, шт.	Стоимость, тыс. руб.
<i>i</i>		
Автомобили	0	0,0
Контейнеры	11	11,4
Крытые	29	147,1
<i>j</i>		
Автомобили	0	0,0
Контейнеры	111	12,7
Крытые	0	0,0
<i>k</i>		
Автомобили	0	0,0
Контейнеры	4	4,3
Крытые	32	164,8

Модель выдает объем реализованных перевозок своими и привлеченными транспортными средствами (рис. 2),

в том числе с подразделением по видам транспортных средств (рис. 3).

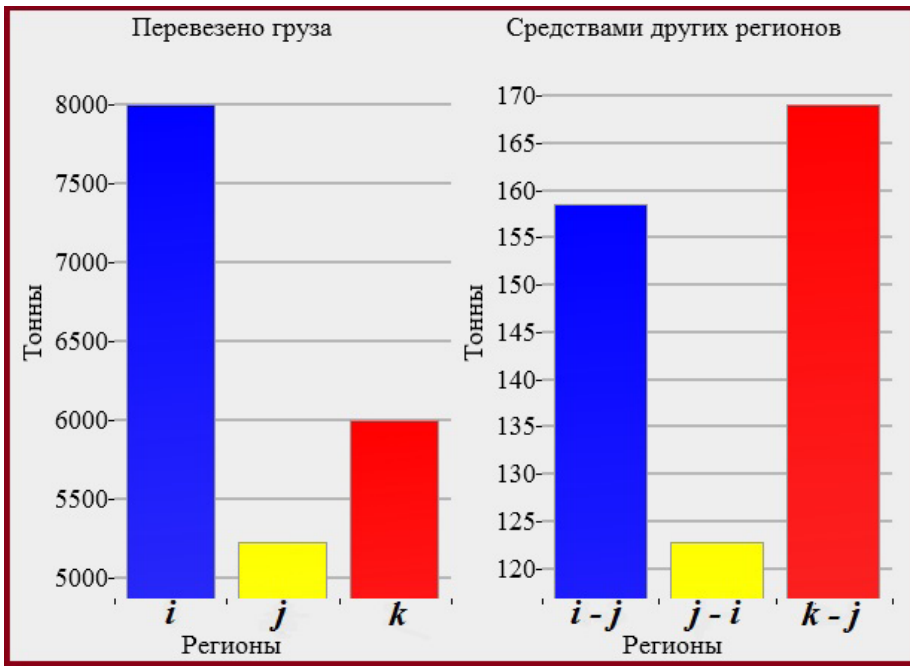


Рис. 2. Объемы перевозок в регионах

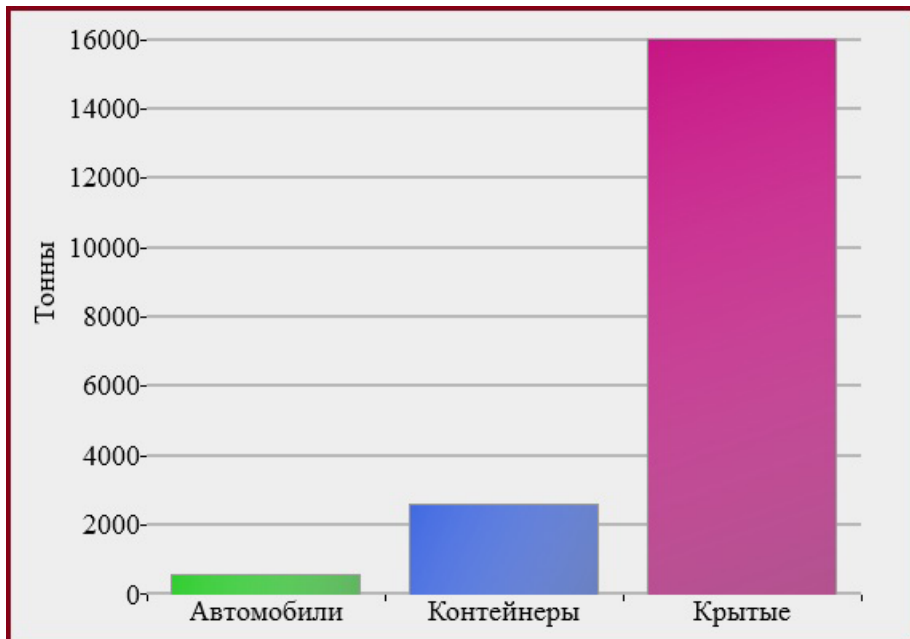


Рис. 3. Перевозки различными транспортными средствами

Доходы рассчитываются как общие, так и распределенные по регионам и видам транспортных средств (рис. 4).

Модель выдает общий и распределенные по отдельным индексам ущербы (рис. 5), в том числе и дополнительные по обязательным перевозкам

конкретными видами транспортных средств.

Модель позволяет проводить многочисленные эксперименты при измененных исходных параметрах и находить эффективные решения в динамичной рыночной среде. ■

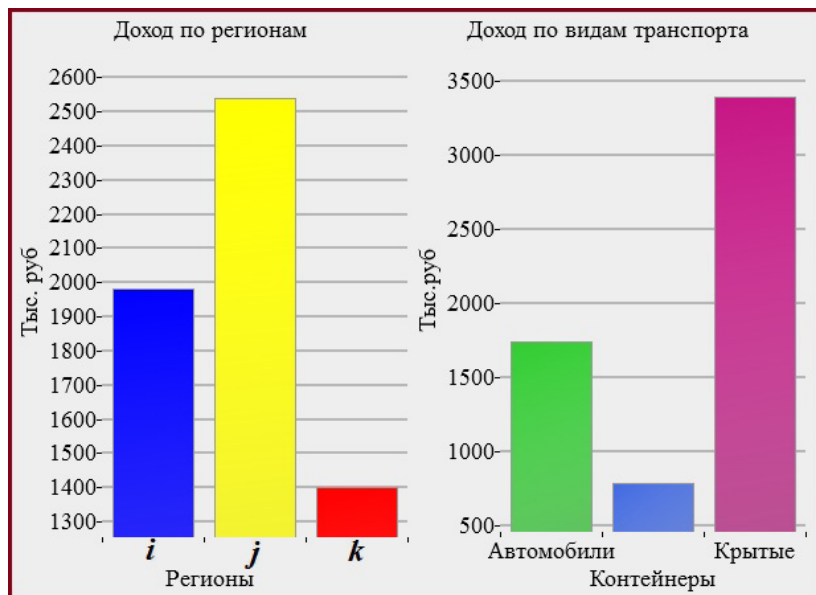


Рис. 4. Доходы по регионам и видам транспортных средств

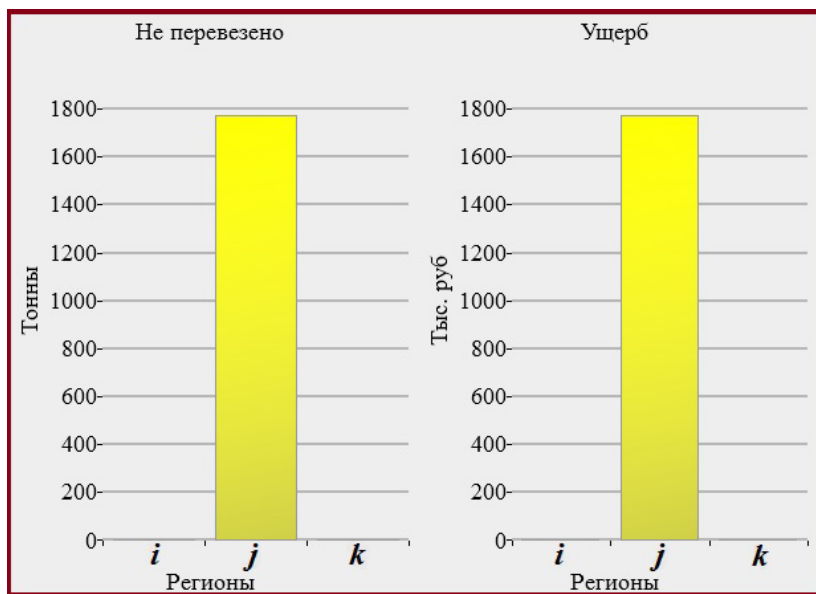


Рис. 5. Ущерб от невыполненных перевозок

Литература

1. Кужель А.А. О ходе разработки эффективной технологии управления вагонными парками в условиях множественности операторов подвижного состава // П бюл. объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2012. № 4. С. 2–7.
2. Юрина О.П., Соснин С.Ю. Особенности эффективного использования частного вагонного парка операторской компании // Вестник УрГУПС. 2017. № 1 (33). С. 84–90. ISSN 2079-0392.
3. Вовк Ю.А. Экономическая оценка эффективности использования грузовых вагонов транспортной компании : дисс. ... на соиск. уч. ст. канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2005. 292 с.
4. Федорович В.О. Экономическая эффективность грузовых перевозок: современные методы управления частным вагонным парком (на примере АО «Федеральная Грузовая компания») // Вестник Томского государственного университета. Сер. : Экономика. 2016. № 2 (34). ISSN 2311-2077.
5. Бочарова А.А. Система управления вагонными парками разных собственников // Транспортное дело России. 2010. № 12. С. 234–235. ISSN 2072-8689.
6. Хусаинов Ф.И. О влиянии операторов подвижного состава на некоторые показатели эксплуатационной работы железных дорог // Вектор транспорта. 2015. № 3. С. 22–29.
7. Вишняков В.Ф. Роль информационного хранилища в решении задач информатизации отрасли // Автоматика, связь, информатика. 2001. № 11. С. 2–4. ISSN 0005-2329.
8. Блюмин С.Л., Козлов П.А., Миловидов С.П. Динамическая транспортная задача с задержками // Автоматика и телемеханика. 1984. № 5. С. 158–161. ISSN 0005-2310.
9. Козлов П.А., Миловидов С.П. Оптимизация структуры транспортных потоков в динамике при приоритете потребителей // Экономика и математические методы. 1982. Вып. 3. С. 521–531.
10. Владимирская И.П. Оптимизация структурно-функционального взаимодействия в транспортных и производственно-транспортных системах : дис. ... на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук: 05.22.08. Екатеринбург : УрГУПС. 2011. 268 с.
11. Козлов П.А., Бушуев С.В. Модель рационального распределения ограниченных ресурсов на обслуживание и модернизацию систем железнодорожной автоматики // Транспорт Урала. 2015. № 1. С. 48–53. ISSN 1815-9400.

Literature

1. Kuzhel A.A. On the progress in the development of an efficient technology for the management of wagon parks in conditions of the multiplicity of rolling stock operators [O khode razrabotki effektivnoy tekhnologii upravleniya vagonnymi parkami v usloviyakh mnozhestvennosti operatorov podvizhnogo sostava] // II bul. joint academic council of JSCo «Russian Railways». 2012. № 4. Pp. 2–7.
2. Yurina O.P., Sosnin S.Yu. Features of the effective use of the private car fleet operator companies [Osobennosti effektivnogo ispol'zovaniya privatnogo vagonnogo parka operatorskoy kompanii] // Herald of USURT. 2017. № 1 (33). Pp. 84–90. ISSN 2079–0392.
3. Vovk Yu. A. Economic evaluation of the efficiency of using freight cars of the transport company [Ekonomicheskaya otsenka effektivnosti ispol'zovaniya gruzovykh vagonov transportnoy kompanii] : remotely. ... to the postgraduate student of the degree of Candidate of Economic Sciences: 08.00.05. M., 2005. 292 p.
4. Fedorovich V.O. Economic efficiency of freight transport: modern private car fleet management practices (for example, JSC «Federal Freight») [Ekonomicheskaya effektivnost' gruzovykh perevozok: sovremennyye metody upravleniya privatnym vagonnym parkom (na primere AO «Federal'naya Gruzovaya kompaniya»)] // Herald of the Tomsk State University. Ser. : The Economy. 2016. № 2 (34). ISSN 2311-2077.
5. Bocharova A.A. Fleet Management System of railway passengers of the different owners [Sistema upravleniya vagonnymi parkami raznykh sobstvennikov] // Transportation business in Russia. 2010. № 12. Pp. 234–235. ISSN 2072-8689.
6. Khusainov F.I. About influence of rolling stock operators on some of the indicators of operational work of railway transport [O vliyaniy operatorov podvizhnogo sostava na nekotoryye pokazateli ekspluatatsionnoy raboty zheleznnykh dorog] // Vector. 2015. № 3. Pp. 22–29.

7. Vishnyakov V.F. The role of informational folder during of informatization aria [Rol' informatsionnogo khranilishcha v reshenii zadach informatizatsii otrasli] // Automation, communication, computer science. 2001. № 11. P. 2–4. ISSN 0005-2329.
8. Blumin S.L., Kozlov P.A., Milovidov S.P. Dynamic transportation work with delays [Dinamicheskaya transportnaya zadacha s zaderzhkami] // Avtomatika i telemekhanika] // Automation and Remote Control. 1984. № 5. Pp. 158–161. ISSN 0005-2310.
9. Kozlov P.A., Milovidov S.P. Optimization of the structure of traffic flows in the dynamics when the priority of consumer [Optimizatsiya struktury transportnykh potokov v dinamike pri prioritete potrebitel'ey] // Economics and Mathematical Methods. 1982. Issue. 3. Pp. 521–531.
10. Vladimirskaia I.P. Optimization of structural-functional interaction in transport and production-transport systems [Optimizatsiya strukturno-funktsional'nogo vzaimodeystviya v transportnykh i proizvodstvenno-transportnykh sistemakh] : remotely. ... to the postgraduate student for the degree of Doctor of Technical Sciences: 05.22.08. – Yekaterinburg : USURT. 2011. P. 268.
11. Kozlov P.A., Bushuyev S.V. Model of rational allocation of limited resources for maintenance and modernization of railway automation systems [Model' ratsional'nogo raspredeleniya ogranichennykh resursov na obsluzhivaniye i modernizatsiyu sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki] // Transport of the Urals. 2015. № 1. Pp. 48–53. ISSN 1815-9400.

Статья сдана в редакцию 13 июня 2017 года

А. В. Мартыненко

Количественные оценки взаимного влияния транспортной сети и территории

UDC 656.02

A. V. Martynenko

Quantitative assessment of the mutual influence of the transport network and the territory

Аннотация

Транспортная сеть и территория, которую она обслуживает, оказывают значительное влияние друг на друга. Понимание механизмов этого влияния и их количественное описание очень важны как с теоретической, так и с практической точки зрения.

В настоящей работе предлагается подход, который позволяет количественно оценить, насколько хорошо транспортная сеть удовлетворяет потребностям территории. Предлагаемый подход развивает классические результаты в этой области. Однако, в отличие от известных результатов, здесь предложены количественные характеристики транспортной сети, которые существенно используют информацию о территории, причем с учетом ее неполноты и неопределенности.

В статье также предложены показатели, которые позволяют оценить среднюю стоимость перевозки одной единицы груза по сети и относительную эффективность сети путем сравнения данной сети с сетью, в которой каждая пара вершин соединена звеном по прямой линии. Предложенные показатели учитывают неопределенность и неполноту информации о территории. Это достигается путем использования для их расчета недетерминированной матрицы корреспонденций.

Ключевые слова: транспортная сеть, начертание транспортной сети, морфология транспортной сети, индексы Канского, матрица корреспонденций.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-29-39

Annotation

The transportation and the area it serves, has a significant influence on each other. Understanding the mechanisms of this influence and their quantitative description are very important both from the theoretical and from the practical point of view. In this paper we propose an approach that quantifies how well the transportation meets the needs of the territory. The proposed approach develops the classical results in this area. However, in contrast to the known results, we are offered the quantitative characteristics of the transport network, which essentially use the information about the area, and because of its incompleteness and uncertainty. The article also provides indicators that allow you to estimate the average cost of transporting one unit load on the network and the relative efficiency of the network by comparing the network with a network in which every pair of vertices is connected by a link in a straight line.

The proposed indicators take into account the uncertainty and incompleteness of the information area. This is achieved by using for their calculation nondeterministic correspondence matrix.

Key words: transportation, Inscription of the transportation, the morphology of the transportation, indexes Kan, correspondence matrix.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-29-39

Александр Валериевич Мартыненко, канд. физ.-мат. наук, доцент; кафедра «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: AMartynenko@usurt.ru.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 17-08-01123.

Статья рекомендована к печати Г. А. Тимофеевой, д-р физ.-мат. наук, профессором, зав. кафедрой «Естественнонаучные дисциплины» Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: GTimofeeva@usurt.ru.

Alexander Valerievich Martynenko, PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor; Department of the «Natural Science Disciplines» of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: AMartynenko@usurt.ru.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project № 17-08-01123.

The article was recommended for publication by G. A. Timofeeva, DSc in Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department «Natural Sciences Disciplines» of the Ural State University of Railway Transport E-mail: GTimofeeva@usurt.ru.

Введение

Многие аспекты развития и функционирования транспортной сети определяются ее топологическими и геометрическими свойствами, то есть начертанием (морфологией) транспортной сети. Для изучения подобных свойств транспортную сеть обычно представляют в виде графа и используют математический аппарат теории графов, а также различные подходы теории сложных сетей. При этом использование весовых графов позволяет учитывать различные количественные характеристики элементов сети. Например, расстояние, стоимость перевозки, пропускную способность и т. п.

Методы исследования, которые применяются при изучении транспортных сетей, базируются на вычислении числовых характеристик различных элементов сети. В частности, для оценки транспортной доступности вершин сети используется индекс Шимбелла [1]:

$$A_s = \sum_{t=1}^n d_{st}, \quad (1)$$

где d_{st} – количество ребер, образующих кратчайший путь между вершинами s и t ; n – число вершин сети. Значимость каждого ребра для всей сети в целом можно оценить с помощью показателя центральности ребра [2]:

$$BC(e) = \sum_{s \neq t} \frac{\sigma_{st}(e)}{\sigma_{st}}, \quad (2)$$

где σ_{st} – количество кратчайших путей в графе из вершины s в вершину t ; $\sigma_{st}(e)$ – количество кратчайших путей в графе из вершины s в вершину t , которые проходят через ребро e .

Отметим, что показатели (1) и (2) являются локальными характеристиками, т. е. они определяют отдельные элементы сети. Для количественного описания всей сети в целом используются различные глобальные характеристики, простейшими примерами которых являются следующие величины [2]:

$$\gamma(G) = \frac{E(G)}{E_{\max}(G)}; \quad (3)$$

$$\alpha(G) = \frac{C(G)}{C_{\max}(G)}, \quad (4)$$

где $E(G)$ – количество ребер графа G ; $E_{\max}(G)$ – максимально возможное количество ребер, соединяющих вершины графа G ; $C(G)$ – количество циклов в графе G (цикломатическое число); $C_{\max}(G)$ – количество циклов для максимально возможного количества ребер. Показатели $\gamma(G)$ и $\alpha(G)$ для описания транспортной сети впервые были использованы в работах К. Канского вместе с несколькими другими топологическими характеристиками [3], которые теперь принято называть индексами Канского. Индексы Канского достаточно широко используются для анализа транспортных систем [4], а количество циклов в графе и их взаимное расположение может быть использовано для классификации транспортных сетей и объяснения особенностей их эволюции [5].

Подчеркнем, что показатели (1), (2) и индексы Канского отражают только лишь самые общие топологические свойства сети и не учитывают метрические характеристики (стоимость, время, расстояние и т. д.). Однако они допускают различные обобщения, если возникает необходимость учитывать какую-то дополнительную информацию об элементах сети. Например, если заданы длины ребер, то в качестве величин d_{st} в определении показателя (1) можно использовать не количество ребер, а длину кратчайшего пути, вычисляемую как сумму длин ребер, из которых он состоит. Аналогичным образом можно поступить, если заданы стоимость или время.

Количественные характеристики транспортной сети также могут содержать различные данные, связанные с территорией (экономические, социальные, демографические и т. д.). Например, в работах [6] и [7] предлагаются обобщения показателей (1) и (2), использующие данные о численности населения:

$$\varphi_s = \sum_{t=1}^n P_t d_{st}; \quad (5)$$

$$WBC(e) = \frac{\sum_{s \neq t} \sigma_{st}(e) P_s P_t}{\left(\sum_s P_s\right)^2}, \quad (6)$$

где P_s – численность населения вершины s ; d_{st} – длина кратчайшего пути между вершинами s и t ; $\sigma_{st}(e) = 1$, если кратчайший путь из s в t содержит ребро e и $\sigma_{st}(e) = 0$ в противоположном случае; n – число вершин сети.

Числовую характеристику транспортной сети будем называть возрастающей (убывающей), если добавление к сети любого нового звена приводит к ее увеличению (уменьшению). Возрастающие и убывающие характеристики будем называть монотонными. Свойством монотонности обладают, в частности, показатели (1) и (3) – (5) (показатели центральности (2) и (6) монотонными не являются). Очевидно, что любой монотонный показатель можно рассматривать как характеристику развитости (сложности) сети. Например, если $\alpha(G)$ близок к единице, т.е. сеть G имеет количество циклов, близкое к максимальному, то сеть будет хорошо развитой. Это означает, что основная часть перевозок будет осуществляться по коротким маршрутам (высокая экономическая эффективность для пользователя сети), почти каждая вершина свяжется короткими маршрутами с большинством других вершин (хорошая транспортная доступность). Кроме того, сеть будет многосвязной, т.е. повреждение отдельных звеньев сети не приведет к нарушению связности (высокая надежность).

Очевидно, что в более развитой сети снижаются затраты на перевозку, однако при этом увеличиваются затраты на ее строительство и содержание. Следовательно, развитость сети не означает ее оптимальность с точки зрения всей системы в целом. Характеристики сети, которые оценивают ее только с точки зрения пользователя (клиента), будем называть клиентоориентированными.

В частности, в силу вышесказанного любая монотонная характеристика сети является клиентоориентированной.

В изучении транспортных сетей крайне важен вопрос о взаимном влиянии транспортной системы и территории. Очевидно, что транспортная сеть и обслуживаемая ею территория существенно воздействуют друг на друга. Например, появление новых пунктов зарождения или поглощения грузопотоков стимулирует развитие транспортной системы. Размещение же населения и уровень его экономической активности во многом определяются транспортной доступностью территорий. Для изучения взаимосвязи сети и территории используются различные методы: экономические [8], географические [9], эконометрические [10], методы теории сетей [6], [11] и ряд других.

Несмотря на различие конкретных методов и подходов, большинство работ, посвященных взаимовлиянию сети и территории, опирается (явно или неявно) на существование прямой зависимости между развитостью транспортной сети и экономическим уровнем развития территории, которую она обслуживает. Непосредственным следствием такой зависимости является то, что клиентоориентированные характеристики транспортной сети коррелируют с экономическими (социальными, демографическими) характеристиками территории. Это утверждение было впервые проверено в [3] на эмпирических данных по нескольким странам и штатам США; в дальнейшем проверялось, уточнялось и использовалось во многих работах (см. краткий обзор в [5]). Пик публикаций по этой тематике пришелся на 1970-е гг., затем произошел существенный спад, который в конце 1990-х гг. сменился ростом, обусловленным бурным развитием геоинформационных технологий (см., например, [6; 12; 13]).

Связь между социально-экономическими показателями территории и клиентоориентированными характеристиками сети позволяет использовать

последние для сравнительного анализа транспортных сетей. Необходимость в этом возникает, в частности, при анализе конкурирующих проектов развития транспортной сети для некоторой территории: в условиях ограниченности ресурсов необходимо выбрать среди нескольких альтернативных вариантов такой, при котором сеть будет обслуживать рассматриваемую территорию наилучшим образом.

В качестве критериев отбора наилучшей сети можно использовать различные клиентоориентированные характеристики сети, поэтому любую такую характеристику будем называть клиентоориентированным критерием качества транспортной сети, или критерием качества. При этом отметим, что для достижения практически значимых результатов плохо подходят критерии, в определении которых используется только лишь информация о структуре и строении сети, но никак не учитываются свойства территории. Например, $\gamma(G)$ и $\alpha(G)$ можно использовать только при сравнении сетей, которые существенно различаются между собой по степени развитости. Для сетей, которые незначительно отличаются друг от друга, использование таких показателей малосодержательно. Очевидно, что если сети N_1 и N_2 незначительно отличаются друг от друга и сеть N_1 хуже, чем сеть N_2 по критерию $\gamma(G)$ или $\alpha(G)$, то это вовсе не означает, что сеть N_1 будет обслуживать территорию хуже, чем сеть N_2 .

Для того чтобы клиентоориентированный критерий качества позволял сравнивать даже незначительно отличающиеся сети, он должен учитывать не только свойства самой сети, но и различные свойства обслуживаемой территории (экономические, природно-географические и т. д.). При этом возможны два подхода к учету свойств территории: 1) непосредственное использование характеристик территории в определении критерия; 2) использование характеристик территории для расчета объемов транспортных корреспонденций

между пунктами сети с дальнейшим использованием полученных значений при конструировании критерия. Примером применения первого подхода являются показатели (5) и (6), в которых используются данные о численности населения.

Принципиальная сложность в применении второго подхода заключается в том, что объемы транспортных корреспонденций между пунктами сети не являются детерминированными и могут существенно меняться со временем под воздействием факторов, которые сложно контролировать и прогнозировать. Кроме того, даже если рассматривать небольшие промежутки времени и считать, что объемы транспортных корреспонденций не меняются, то их точная оценка может представлять весьма сложную и затратную процедуру. Поэтому для описания корреспонденций целесообразно использовать случайные величины.

В настоящей работе будем исходить из того, что объемы корреспонденций между пунктами сети моделируются как случайные величины с известными законами распределения, числовые параметры распределений тоже будем считать известными на данном этапе исследования.

Основная цель данной статьи заключается в разработке подхода, позволяющего конструировать клиентоориентированные критерии, использующие не только свойства самой сети, но и значения транспортных корреспонденций между ее пунктами, которые в общем случае точно не заданы и описываются случайными величинами. Предлагаемый подход продемонстрируем на примере критериев, оценивающих сеть с точки зрения экономической эффективности.

Клиентоориентированные критерии экономической эффективности транспортной сети

Рассмотрим связную транспортную сеть и, поступая стандартным образом,

представим ее в виде графа, который обозначим TN . Вершины и ребра полученного графа обозначим через v_1, v_2, \dots, v_n и e_1, e_2, \dots, e_s соответственно. Будем учитывать расстояния, для чего припишем каждому ребру e вес $L(e)$, равный длине соответствующего линейного элемента сети. Относительно стоимости перевозки предположим, что она зависит только от расстояния и пропорциональна ему. Причем для удобства будем считать, что единицы измерения выбраны так, чтобы стоимость в точности равнялась расстоянию. Также будем предполагать, что элементы сети имеют неограниченную пропускную способность.

Поскольку сеть TN является связной, то для двух любых вершин графа существует связывающий их путь, т. е. последовательность вершин, имеющая для каждой вершины ребро, соединяющее её со следующей вершиной в этой последовательности. Сумму длин ребер, которые образуют путь, будем называть длиной пути. Две вершины могут быть связаны несколькими различными путями. Кратчайший путь между двумя вершинами – это путь, имеющий наименьшую длину. Длину кратчайшего пути между вершинами v_i и v_j в сети TN обозначим через $L_{ij}(TN)$. Из определения следует, что $L_{ii}(TN) = 0$ для любого значения i .

Также будем предполагать, что для сети TN задана матрица транспортных корреспонденций $Q = (q_{ij})_{i,j=1}^n$, где q_{ij} – случайная величина, задающая корреспонденцию между вершинами v_i и v_j .

Рассмотрим следующую монотонную характеристику сети TN :

$$C(TN) = \frac{\sum_{i,j=1}^n q_{ij} L_{ij}(TN)}{\sum_{i,j=1}^n q_{ij}}. \quad (7)$$

Эта характеристика имеет простой экономический смысл. Учитывая, что стоимость перевозки равна расстоянию, величина $C(TN)$ представляет собой среднюю стоимость перевозки одной единицы груза по сети TN . Поэтому характеристику (7) можно рассматривать как абсолютный клиентоориентированный

критерий экономической эффективности сети: из двух сетей лучшей будет та, для которой величина (7) имеет меньшее значение.

Характеристика $C(TN)$ обобщает понятие среднего кратчайшего расстояния между вершинами сети, которое достаточно широко используется для анализа сетей [2]. В самом деле, если все элементы матрицы Q являются детерминированными величинами и равны между собой ($q_{ij} = q$), то $C(TN)$ совпадает со средним кратчайшим расстоянием:

$$\begin{aligned} C(TN) &= \frac{\sum_{i,j=1}^n q L_{ij}(TN)}{\sum_{i,j=1}^n q} = \\ &= \frac{\sum_{i,j=1}^n L_{ij}(TN)}{n^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Любой клиентоориентированный критерий достигает своего оптимального значения на сети, в которой каждая пара вершин соединена звеном по прямой линии. Как и в работе [6], будем называть такую сеть идеальной сетью и соответствующий ей граф обозначать IN .

Следуя основной идее работы [6], воспользуемся идеальной сетью, чтобы определить относительный клиентоориентированный критерий качества сети TN :

$$\eta(TN) = \frac{C(IN)}{C(TN)} = \frac{\sum_{i,j=1}^n q_{ij} L_{ij}(IN)}{\sum_{i,j=1}^n q_{ij} L_{ij}(TN)}. \quad (9)$$

Величина $\eta(TN)$ имеет смысл, аналогичный коэффициенту полезного действия, поскольку $C(IN)$ показывает затраты на осуществление полезной работы, т. е. среднюю стоимость перемещения единицы груза по кратчайшему расстоянию между вершинами, а $C(TN)$ показывает общие затраты, которые связаны как с осуществлением полезной работы, так и с затратами на дополнительное перемещение груза в пространстве, обусловленное несовершенством транспортной сети.

Отметим, что критерий (9) обобщает интегральный показатель транспортной доступности T , который был введен в [6]. Если q_{ij} пропорционален произведению численности населения вершин v_i и v_j , то $\eta(TN)$ совпадает с T из [6].

Подчеркнем, что в случае, когда q_{ij} являются случайными величинами, то $C(TN)$ и $\eta(TN)$ также являются случайными величинами, и их законы распределения определяются законами распределения величин q_{ij} .

Верификация критериев $C(TN)$ и $\eta(TN)$

Продemonстрируем эффективность введенных критериев на пяти модельных примерах, которые представлены в таблице 1. Каждая из этих сетей имеет 25 вершин, расположенных в узлах прямоугольной решетки. Расстояние между соседними вершинами по диагонали и горизонтали равно 1. Сети отличаются друг от друга набором звеньев, связывающих вершины.

Относительно матрицы корреспонденций $Q = (q_{ij})_{i,j=1}^n$ будем предполагать, что общий объем грузоперевозок по сети равен фиксированному значению A , и все возможные распределения этого объема по разным корреспонденциям являются равновероятными. Это означает, что случайные величины q_{ij} имеют совместное равномерное распределение на гиперповерхности, которая имеет размерность $(n^2 - 1)$ и задается соотношениями

$$\sum_{i,j} q_{ij} = A, q_{ij} \geq 0. \quad (10)$$

Если заданы законы распределения случайных величин q_{ij} , то законы распределения величин $C(TN)$ и $\eta(TN)$ определены однозначно, однако при этом крайне сложно получить их аналитическое представление. Поэтому для определения законов распределения величин $C(TN)$ и $\eta(TN)$ воспользуемся имитационным моделированием.

Из стандартной теории имитационного моделирования следует (см., например, [14]), что если m случайных величин a_1, a_2, \dots, a_m имеют совместное равномерное распределение на гиперповерхности

$$\sum_{k=1}^m a_k = A, a_k \geq 0,$$

то они разыгрываются по формулам

$$a_1 = A \left(1 - \mu_1^{\frac{1}{m-1}} \right); \quad (11)$$

$$a_k = a_{k-1} \frac{1 - \mu_k^{\frac{1}{m-k}}}{\mu_{k-1}^{\frac{1}{m-k+1}} - 1} \text{ при } k = \overline{2, m-1}; \quad (12)$$

$$a_m = A - \sum_{k=1}^{m-1} a_k, \quad (13)$$

где $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{m-1}$ – случайные числа (значения независимых случайных величин, равномерно распределенных на отрезке $[0,1]$).

Формулы (11)–(13) позволяют разыграть матрицу Q и затем, в соответствии с (8) и (9), получить выборки для величин $C(TN)$ и $\eta(TN)$. В таблице 1 представлены гистограммы, выборочные средние и СКО величин $C(TN)$ и $\eta(TN)$ для 1000 розыгрышей матрицы корреспонденций.

Внешний вид гистограмм говорит, что величины $C(TN)$ и $\eta(TN)$ будут иметь приближенно нормальное распределение. Проверка с помощью различных статистических критериев согласия также подтверждает нормальность распределений величины $C(TN)$ и $\eta(TN)$ для всех рассмотренных сетей. В качестве примера приведем результаты проверки нормальности распределения $\eta(TN)$ для прямой радиально-кольцевой сети. Выдвигаем нулевую гипотезу H_0 :

Величина $\eta(TN)$ для прямой радиально-кольцевой сети имеет нормальное распределение с параметрами $\alpha = 0,748$ и $\sigma = 0,019$.

Результаты проверки данной гипотезы представлены в таблице 2.

Таблица 1

Применение критериев $C(TN)$ и $\eta(TN)$ для оценки модельных сетей

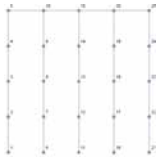
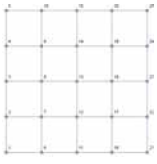
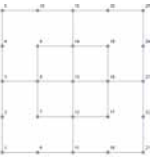
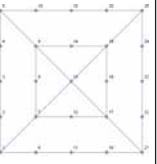
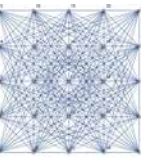


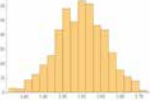



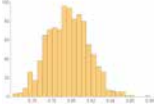
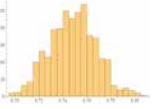

Условное название сети TN	Колониальная сеть	Прямоугольная сеть	Прямая радиально-кольцевая сеть	Диагональная радиально-кольцевая сеть	Идеальная сеть
Изображение сети TN					
Гистограмма для $C(TN)$					
$M[C(TN)]$	5,33	3,33	3,55	3,89	2,65
$\sigma[C(TN)]$	0,106	0,064	0,064	0,07	0,046
Гистограмма для $\eta(TN)$					
$M[\eta(TN)]$	49,79 %	79,65 %	74,83 %	68,17 %	100 %
$\sigma[\eta(TN)]$	1,29 %	2,08 %	1,94 %	1,73 %	0 %

Таблица 2

Проверка гипотезы H_0 с помощью различных критериев согласия (число степеней свободы равно 29)

Критерий согласия	Значение статистики	P -значение
Крамера – Мизеса – Смирнова	0,0623793	0,358961
Колмогорова – Смирнова	0,0195236	0,485138
Пирсона χ^2	23,168	0,768799
Уотсона U^2	0,0601484	0,333018

Высокие P -значения говорят о том, что нет оснований для отклонения гипотезы H_0 . Аналогичные результаты имеют место для всех сетей из таблицы 1, то есть для этих сетей величины $C(TN)$ и $\eta(TN)$ будут иметь нормальное распределение. Для сравнения транспортных сетей удобно изобразить плотности вероятностей величин $C(TN)$ и $\eta(TN)$ для различных сетей в одной системе координат (рис. 1).

На основании качественного (визуального) анализа сетей из таблицы 1 легко сделать, например, вывод, что

колониальная сеть хуже прямой радиально-кольцевой сети, которая, в свою очередь, хуже прямоугольной сети. Эти выводы, естественно, хорошо подтверждаются сравнением графиков плотностей вероятности величин $C(TN)$ и $\eta(TN)$ для этих сетей. Визуальное же сравнение прямой и диагональной радиально-кольцевых сетей не позволяет однозначно сказать, какая из них лучше (отметим, что они топологически эквивалентны), а сравнение плотностей вероятности соответствующих критериев качества позволяет сделать вывод, что

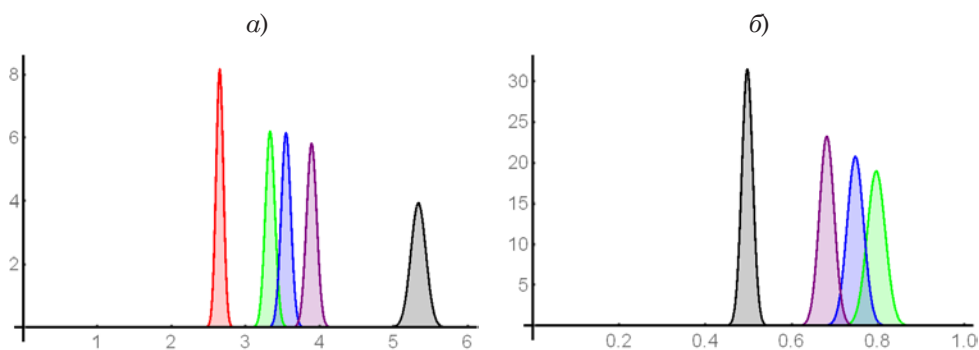


Рис. 1. Плотности вероятности случайных величин
 $a - C(TN)$; $b - \eta(TN)$. Для графиков, соответствующих различным сетям, использованы следующие цвета: черный – колониальная сеть, зеленый – прямоугольная сеть, синий – прямая радиально-кольцевая сеть, фиолетовый – диагональная радиально-кольцевая сеть, красный – идеальная сеть

прямая сеть лучше диагональной. Хотя сказанное вовсе не означает, что прямая сеть лучше диагональной для любой конкретной реализации случайной матрицы Q . Из рис. 1 видно, что для некоторых реализаций матрицы Q диагональная сеть может оказаться лучше, чем прямая (зеленый и синий графики имеют значительную общую часть), однако вероятность того, что для случайной реализации матрицы Q прямая сеть будет лучше диагональной значительно выше, чем вероятность противоположного события.

Рассмотренные сети обладают регулярной и симметричной структурой, что делает их совершенно непохожими на реальные транспортные сети. Поэтому

продemonстрируем применение критериев качества $C(TN)$ и $\eta(TN)$ на примере более реалистичной сети (рис. 2), для которой с помощью этих критериев проанализируем два различных проекта ее улучшения.

Как видно из рис. 2, в проекте 1 в исходную сеть добавляется звено (12,17), а в проекте 2 – звено (17,18). Будем считать, что сеть должна обеспечивать перевозки, задаваемые такой же, как и выше, матрицей корреспонденций Q (ее компоненты имеют совместное равномерное распределение на гиперповерхности (10)). Для сравнения рассматриваемых проектов улучшения сети необходимо сравнить плотности вероятностей величин $C(TN)$ или $\eta(TN)$.

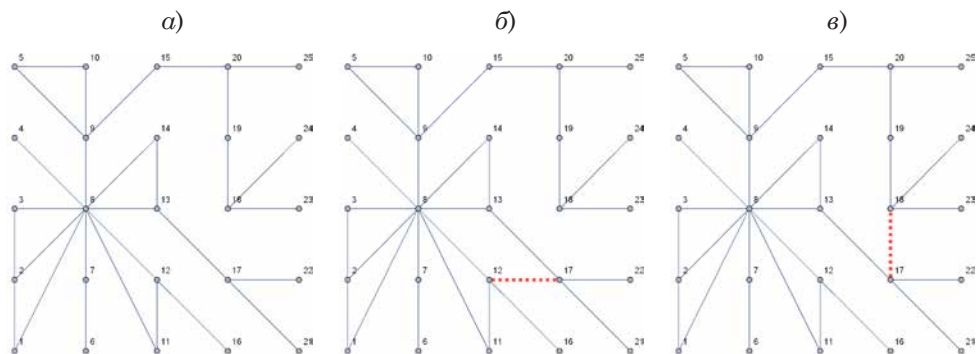


Рис. 2. Проекты улучшения сети
 a – исходная сеть; b – проект 1; c – проект 2

Результаты применения имитационного моделирования показывают, что, как для сетей из таблицы 1, в данном случае величины $C(TN)$ и $\eta(TN)$ имеют нормальное распределение для каждой из рассматриваемых сетей. Плотности вероятностей величины $C(TN)$ представлены на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что проект 2 однозначно лучше проекта 1 (зеленый и синий графики имеют весьма незначительную общую часть), и он существенно улучшает исходную сеть, а проект 1 не приводит к значимому улучшению сети. Этот результат, естественно, зависит от матрицы корреспонденций, которая в данном случае состоит из случайных величин, имеющих совместное равномерное распределение на поверхности (10). Отметим также, что используемый метод имитационного моделирования позволяет анализировать любые распределения корреспонденций.

Выводы

Для количественного анализа взаимного влияния транспортной сети и обслуживаемой ею территории могут быть использованы монотонные характеристики транспортных сетей. При этом для достижения высокого уровня точности

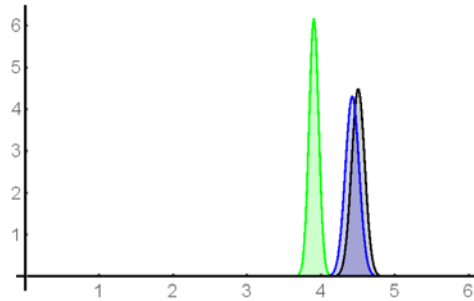


Рис. 3. Плотности вероятности случайной величины $C(TN)$ для различных сетей (черный – исходная сеть, синий – проект 1, зеленый – проект 2)

получаемых результатов в определении характеристик должна использоваться информация о территории, например, в виде заданной матрицы корреспонденций. Использование такого подхода обеспечивает хорошие результаты даже при условии, что характеристики сети являются случайными величинами в силу недетерминированности объемов корреспонденций.

Таким образом, в статье предложена методика сравнения транспортных сетей для случая, когда корреспонденции между вершинами точно не заданы и моделируются как случайные величины с заданными распределениями. ■

Литература

1. Rodrigue J. P., Comtois C., Slack B. The Geography of Transport Systems : Third edition. New York : Routledge, 2013. – 416 p. ISBN 10-0-415-35440-4.
2. Barthelemy M. Spatial networks // Physics Reports-review Section of Physics Letters. 2011. № 1 (499). P. 1–101. ISSN 0370-1573.
3. Kansky K. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics. Chicago : University of Chicago Press, 1969. – 156 p.
4. Семина И. А., Хохлова Е. Э. Экономико-географическое исследование территориальной структуры транспорта (на примере регионов России депрессивного типа) // Ога-рѳв-Online. 2016. № 14 (79). ISSN 2311-2468.
5. Тархов С. А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск : Универсум, 2006. 386 с. ISBN 5-88-984-059-2.
6. Мартыненко А. В., Петров М. Б. Влияние начертания транспортной сети на показатели доступности (на примере Свердловской области) // Региональные исследования. 2016. № 2 (52). С. 21–30. ISSN 1994-5280.
7. Мартыненко А. В. Взаимосвязь функциональных классов автомобильных дорог с показателем центральности (на примере автодорожной сети Свердловской области) // Вестник УрГУПС. 2015. № 4 (28). С. 9–16. ISSN 2079-0392.
8. Петров М. Б. Транспортные сети Большого Урала в формировании Урало-Арктического вектора развития // Вестник УрГУПС. 2016. № 4 (32). С. 103–111. ISSN 2079-0392.

9. Лекомцев А.Л. Влияние развития транспорта и транспортной сети на системы расселения населения (на примере территории Удмуртии) // Вестник Удмуртского университета. Сер. : «Биология. Науки о Земле». 2010. № 4. С. 110–114. ISSN 2412-9518.
10. Светлов Н.М. Эконометрический анализ развития сухопутных транспортных сетей // Экономика и математические методы. 2016. № 2. С.60–74. ISSN 0424-7388.
11. Петров М.Б., Казаков А.Л., Маслов А.М. Использование модели гиперграфа региональной транспортной сети в обосновании приоритетов ее усиления // Известия УРГЭУ. 2015. № 6 (62). С. 94–101. ISSN 2073-1019.
12. Montis A. D., Barth'elemy M., Chess A., Vespignani A. (2007) The structure of inter-urban traffic: A weighted network analysis // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2007. № 5 (34). P. 905–924. ISSN 2399-8083.
13. Мартыненко А.В. Программа Wolfram Mathematica как универсальная среда для обработки и анализа географической информации // Географический вестник. 2016. № 4 (39). С. 129–138. ISSN 2079-7877.
14. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М. : Наука, 1973. 312 с.

Literature

1. Rodrigue J. P., Comtois C., Slack B. The Geography of Transport Systems : Third edition. New York : Routledge, 2013. – 416 p. ISBN 10-0-415-35440-4.
2. Barthelemy M. Spatial networks // Physics Reports-review Section of Physics Letters. 2011. № 1 (499). P. 1–101. ISSN 0370-1573.
3. Kansky K. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics. Chicago : University of Chicago Press, 1969. – 156 p.
4. Semina I. A., Khokhlova E. E. Economic and geographical study of the territorial structure of the vehicle (for example of depressive regions of Russia) [Ekonomiko-geograficheskoye issledovaniye territorial'noy struktury transporta (na primere regionov Rossii depressivnogo tipa)] // Ogarev-line. 2016. № 14 (79). ISSN 2311-2468.
5. Tarhov S. A. Evolutionary morphology of transport networks [Evolutsionnaya morfologiya transportnykh setey]. Smolensk : Universum, 2006. 386 p. ISBN 5-88-984-059-2.
6. Martynenko A. V., Petrov M. B. Impact of the transport network mark on accessibility indicators (for example, Sverdlovsk region) [Vliyanie nachertaniya transportnoy seti na pokazateli dostupnosti (na primere Sverdlovskoy oblasti)] // Regional studies. 2016. № 2(52). Pp. 21–30. ISSN 1994-5280.
7. Martynenko A. V. Links of functional classes of roads with centrality index (for example, the road network Sverdlovsk region) [Vzaimosvyaz' funktsional'nykh klassov avtomobil'nykh dorog s pokazatelem tsentral'nosti (na primere avtodorozhnoy seti Sverdlovskoy oblasti)] // Herald of the USURT. 2015. № 4 (28). Pp. 9–16. ISSN 2079-0392.
8. Petrov M. B. Transport networks of the Great Urals in the formation of the Ural-Arctic vector of the development [Transportnyye seti Bol'shogo Urala v formirovanii Uralo-Arkticheskogo vektora razvitiya] // Herald of the USURT. 2016. № 4 (32). Pp. 103–111. ISSN 2079-0392.
9. Lekomtsev A. L. Influence of the development of the transport and transport network to population settlement system (for example, Udmurtia) [Vliyanie razvitiya transporta i transportnoy seti na sistemy rasseleniya naseleniya (na primere territorii Udmurtii)] // Herald of Udmurt University. Ser. : «Biology. Earth sciences». 2010. № 4. Pp. 110–114. ISSN 2412-9518.
10. Svetlov N. M. Econometric analysis of the development of land transport networks [Ekonometricheskiy analiz razvitiya sukhoputnykh transportnykh setey] // Economics and mathematical methods. 2016. № 2. Pp. 60–74. ISSN 0424-7388.
11. Petrov M. B., Kazakov A. L., Maslov A. M. Using model, hypergraph regional transport network in the justification of the priorities of its strengthening [Ispol'zovaniye modeli gipergrafa regional'noy transportnoy seti v obosnovanii prioriteto yeye usileniya] // News USUE. 2015. № 6 (62). Pp. 94–101. ISSN 2073-1019.
12. Montis A. D., Barth'elemy M., Chess A., Vespignani A. (2007) The structure of inter-urban traffic: A weighted network analysis // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2007. № 5 (34). Pp. 905–924. ISSN 2399-8083.

13. Martynenko A. V. Wolfram Mathematica as a universal environment for processing and analyzing geographic information [Programma Wolfram Mathematica kak universal'naya sreda dlya obrabotki i analiza geograficheskoy informatsii] // Geographical Herald. 2016. № 4 (39). Pp. 129–138. ISSN 2079-7877.
14. Sobol I. M. Numerical Monte Carlo methods [Chislennyye metody Monte-Karlo]. M.: Science, 1973. 312 p.

Статья сдана в редакцию 7 июня 2017 года

УДК 519.872.6: 656.025.2

М. Л. Жарков, А. Л. Казаков, А. А. Лемперт

Определение критических показателей работы транспортно-пересадочного узла на основе многофазной системы массового обслуживания

UDC 519.872.6: 656.025.2

M. L. Zharkov, A. L. Kazakov, A. A. Lempert

Determination of the critical parameters of work transport interchange hub based on multiphase queuing system

Аннотация

Статья посвящена развитию предложенного ранее авторами подхода к моделированию работы объектов транспортной инфраструктуры с использованием математического аппарата теории систем массового обслуживания (СМО)* [3, 4]. В основе лежит использование трехфазной немарковской СМО с блокировками, групповым обслуживанием на некоторых фазах и ВМАР-поток. Последний

позволяет объединять потоки заявок при сохранении их структуры и учитывать групповое прибытие со случайным размером группы. В качестве примеров в настоящей работе рассматриваются транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) «Владыкино» и «Кутузово» (Москва), для которых в ходе вычислительного эксперимента определены основные показатели эффективности функционирования и выработаны рекомендации по улучшению

техничко-технологических параметров работы.

Ключевые слова: математическое моделирование, транспортно-пересадочный узел, многофазная система массового обслуживания, ВМАР-поток, имитационное моделирование, вычислительный эксперимент.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-40-52

Annotation

The article is devoted to the development of the authors

Максим Леонидович Жарков, программист, Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН), Иркутск, Россия, E-mail: zharkm@mail.ru.

Александр Леонидович Казаков, д-р физ.-мат. наук, зав. лабораторией 1.1. Математических методов анализа свойств динамических систем, главный научный сотрудник Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН), Иркутск, Россия, E-mail: kazakov@icc.ru.

Анна Ананьевна Лемперт, к. физ.-мат. наук, зав. лабораторией 2.1. Системного анализа и вычислительных методов, ведущий научный сотрудник Института динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН (ИДСТУ СО РАН), Иркутск, Россия, E-mail: lempert@icc.ru.

Статья рекомендована к печати Л. В. Аршинским, д-ром техн. наук, доцентом; зав. кафедрой «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения. E-mail: aush@irgups.

Maxim Leonidovich Zharkov, Programmer, Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IDSTU SB RAS), Irkutsk, Russia, E-mail: zharkm@mail.ru.

Aleksandr Leonidovich Kazakov, DSc in Physics and Mathematics, head of the laboratory of mathematical analysis methods of dynamic systems, Institute of system dynamics and management control. V.M. Matrosova SO RAN; Irkutsk, Russia. E-mail: kazakov@icc.ru.

Anna Ananievna Lempert, PhD in Physics and Mathematics, Head of Laboratory 2.1. Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IDSTU SB RAS), Irkutsk, Russia, E-mail: lempert@icc.ru.

The article is recommended for publication by L.V. Arshinsky, DSc in Engineering, assistant professor; Head of the Department «Information Systems and Information Protection» of the Irkutsk State University of Communications. E-mail: aush@irgups.

* См.: Журавская М.А., Казаков А.Л., Жарков М.Л., Парсюрова П.А. Моделирование пассажиропотоков в современных транспортно-пересадочных узлах мегаполиса на основе немарковской системы массового обслуживания // Транспорт Урала. 2015. №3 (46). С. 17–23. ISSN 1815-9400; Казаков А.Л., Лемперт А.А., Жарков М.Л. Моделирование транспортно-пересадочных узлов на основе систем массового обслуживания: многофазных и с ВМАР-поток // Вестник УРГУПС. 2016. №4 (32). С. 4–15. ISSN 2079-0392.

* See: M.A. Zhuravskaya, A.L. Kazakov, M. L. Zharkov, P. A. Parsyurova Simulation of passenger traffic in modern theory of queuing systems metropolis on the basis of non-Markov queuing system // Transport of the Urals. 2015. №3 (46). С. 17-23. ISSN 1815-9400; Kazakov A. L., Lempert A. A., Zharkov M. L. Modeling of transport-transfer nodes on the basis of queuing systems: multiphase and with ВМАР-flow // URGUPS Herald. 2016. № 4 (32). Pp. 4–15. ISSN 2079-0392.

previously proposed approach to the modeling of the transport infrastructure with the use of mathematical apparatus of the theory of queuing systems (QS)* [3, 4]. It is based on the use of three-phase non-Markov QS with locks, group service at certain phases and BMAP-flow. The latter allows to integrate the flow of

requests, while maintaining their structure and to take into account the arrival of a group with a random group size. As examples in this paper we consider the transport and transfer hub (T&TH) «Vladykino» and «Kutuzovo» (Moscow), for which in the course of computing experiment the basic indicators

of the functioning and make recommendations to improve the technical and technological parameters of operation.

Key words: mathematic simulation, transfer hub, multiphase queuing system, BMAP-flow, service-simulating test, simulation experiment.

DOI:10.2091/2079-0392-2017-3-40-52

Совершенствование транспортной инфраструктуры и технологии ее эксплуатации мало помогают сокращения времени поездки: средняя продолжительность составляет от 35 до 90 мин. Плотная застройка центральных районов ограничивает создание новых путей передвижения или расширения имеющихся.

Движение транспортных средств ускоряет организация скоростных городских и пригородногородских мультимодальных перевозок общественным транспортом. Но здесь положительный эффект существенно снижается: у пассажиров много времени будет уходить на пересадку между различными направлениями движения и видами транспорта [1].

Одним из эффективных методов решения данной проблемы может стать создание особых комплексов – транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) [2]. Под ТПУ здесь и далее мы будем понимать комплексный пассажирский терминал, предназначенный для перераспределения пассажиропотоков между различными видами транспорта и/или направлениями движения, с целью оптимизации перевозочного процесса.

Главный показатель эффективности работы ТПУ – это среднее время пересадки. Его величина зависит от технических характеристик системы. Для оптимизации последних (в том или ином смысле) необходимо установить текущие параметры функционирования и загрузку системы. Кроме того, следует учитывать прогнозируемый уровень развития транспортной работы на определённый период. Это

позволит установить максимально допустимую загрузженность ТПУ в будущем и принять решение о своевременной модернизации объекта. Наиболее распространённым и доступным методом определения параметров работы таких сложных систем, как ТПУ, на данный момент является математическое и имитационное моделирование.

Москва занимает лидирующую позицию по числу ТПУ в стране; только на станциях Московского центрального кольца (МЦК), функционирующего чуть менее года – с сентября 2016-го, находятся 17 ТПУ. Эти узлы включают перехватывающие парковки (более 2 тыс. машино-мест), автобусные остановки, станции метро. Десять ТПУ обеспечивают возможность пересадки на пригородные поезда [5].

Рассмотрим два ТПУ: «Владыкино» (рис. 1, а), который находится на границе между районами Марфино и Отрадное, и «Кутузово» (рис. 1, б), расположенный в центре района Дорогомилово. Эти ТПУ выбраны как типичные, формируемые на основе «конкорса»: они имеют терминал, позволяющий пассажирам перейти с платформы МЦК на станцию метро по принципу «сухие ноги», т. е. без выхода на улицу. Среднесуточный пассажиропоток на рассматриваемых ТПУ на конец 2016 г. составил 18,3 и 14,9 тыс. чел. соответственно [6]. Предполагаемый пассажиропоток в час пик на момент запуска (2016 г.) – 7,7 тыс. чел. и 6 тыс. чел., на расчетный период (2025 г.) – 11,8 тыс. чел. и 10 тыс. чел. (для ТПУ «Владыкино» и ТПУ «Кутузово») [7].

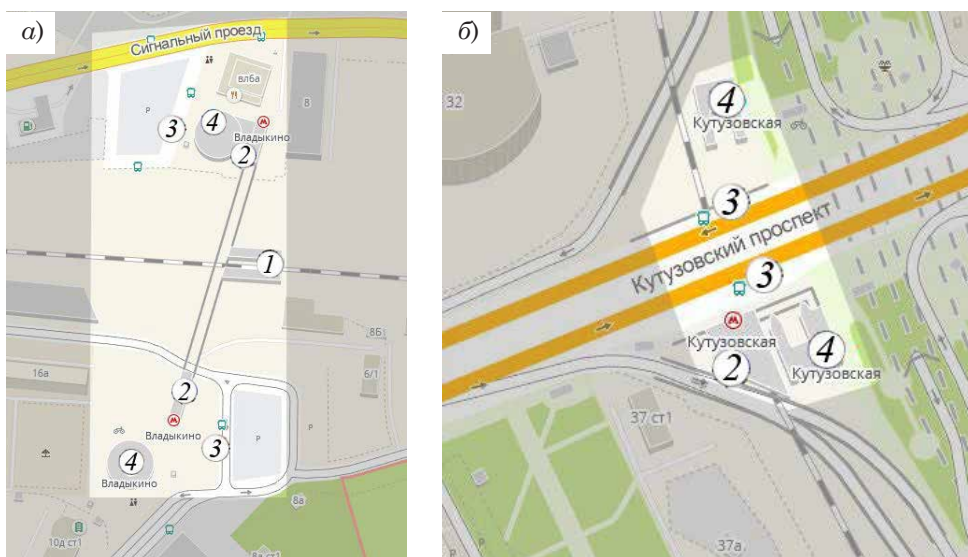


Рис. 1. Схемы ТПУ

а – ТПУ «Владыкино»; б – ТПУ «Кутузово»

1 – платформа МЦК; 2 – терминал ТПУ; 3 – автобусная остановка; 4 – вход в метро

На этих ТПУ нет торговых площадок, пассажиры могут затратить дополнительное время при пересадке только для покупки билетов. Примем, что 5 % пассажиров покупает билеты в кассах ТПУ, остальные имеют абонемент (проездной) и следуют напрямую к платформам.

С помощью системного анализа можно выделить самостоятельные элементы (узлы) рассматриваемых ТПУ (рис. 2, а, б).

Схема ТПУ «Владыкино» (рис. 2, а) имеет парные элементы. Благодаря симметрии в структуре данного объекта возможно следующее допущение:

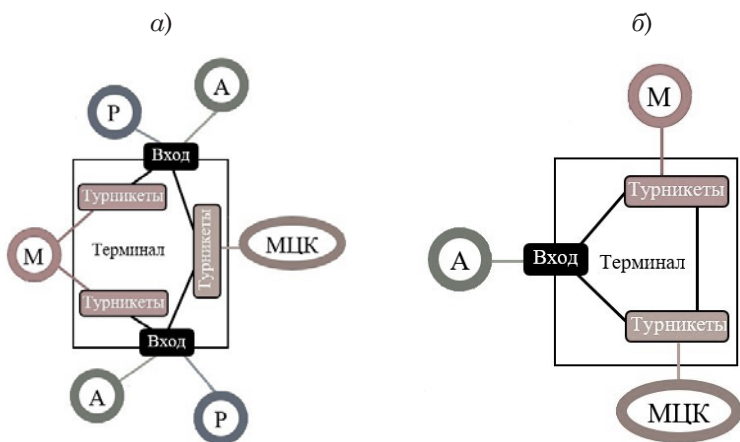


Рис. 2. Схема узлов ТПУ

а – ТПУ «Владыкино»; б – ТПУ «Кутузово»

А – городской пассажирский транспорт (автобусы и др.); Р – перехватывающая парковка;
М – станция метро; МЦК – Московское центральное кольцо

в модели однотипные узлы объединяются, а их характеристики (интенсивность поступления, обслуживания и др.) суммируются. Тогда получаем схему ТПУ «Владыкино» (рис. 3), отличающуюся от схемы ТПУ «Кутузово» (рис. 2, б) только наличием одного узла.

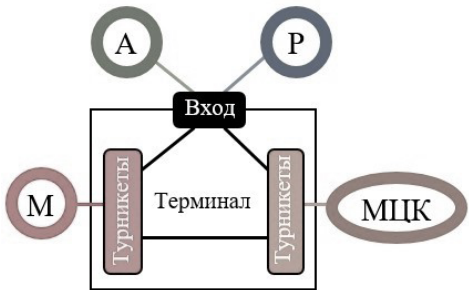


Рис. 3. Упрощенная схема ТПУ «Владыкино»

Однако терминалы рассматриваемых ТПУ отличаются друг от друга площадью и планировкой, следовательно, имеют различную максимальную единовременную вместимость – количество посетителей в единицу времени. В ТПУ максимальная плотность пассажиропотока не должна превышать 1 чел./м² [8]. В дальнейшем при определении вместимости ТПУ будем исходить

из показателя 2 чел./м² [1]. Основные характеристики обеих систем представлены в таблице 1.

Перед входом на платформы МЦК и в метро установлены турникеты УТ-2000, интенсивность обслуживания каждого около 20 чел./мин [9]. Среднюю пропускную способность дверей в терминалах положим также равной 20 чел./мин. Время обслуживания будем считать случайной величиной с экспоненциальным распределением.

Для прибывающих пассажиров отводится по 500 мест от вместимости платформ МЦК, метро и автобусных остановок, остальные места – для покидающих ТПУ*.

Построение модели терминала ТПУ

Выделим основные пассажиропотоки, проходящие через терминалы рассматриваемых ТПУ (рис. 2, а, б), рис. 4:

- I. МЦК, А и Р → М;
- II. М, А и Р → МЦК;
- III. МЦК и М → А и Р (при наличии).

Случаи движения пассажиров по типу «метро – метро» и «парковка – наземный общественный транспорт» исключим из рассмотрения. Предполагается, что пассажир намеревается

Таблица 1

Основные характеристики ТПУ

	ТПУ «Владыкино»			ТПУ «Кутузово»		
	двери (турникеты) на вход/выход, кол-во	S, м ²	вместимость (длина очереди), кол-во чел.	двери (турникеты) на вход/выход, кол-во	S, м ²	вместимость (длина очереди), кол-во чел.
Платформа метро	8/8	1560	3000	8/8	1560	3000
Платформа МЦК	5/5	2520	5000	4/4	1260	2500
Автобусная остановка	–	500	1000	–	500	1000
Терминал	6/6	4250	9500	6/6	1000	2000

* Данное разделение представляется логичным, так как прибывающие пассажиры обычно не задерживаются на платформах, а сразу направляются в терминал.

пересечь на другой вид транспорта, воспользовавшись терминалом.

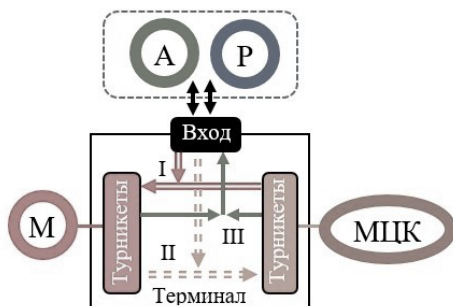


Рис. 4. Схема направлений движения пассажиров в терминале ТПУ

Эффективность функционирования ТПУ связана с уровнем корреспонденции пассажиропотоков между его узлами. Это естественным образом вытекает из факта, что исходящий поток из одного узла системы является входящим потоком для другого (рис. 4); движение пассажиров можно описать алгоритмом, представленным на рис. 5.

Схему и алгоритм движения пассажиропотоков, представленные на рис. 4 и 5, можно применить для описания работы ТПУ с различной планировочной структурой.

Отдельно рассмотрим самостоятельные элементы ТПУ (станция МЦК, метро и др.). Каждый элемент можно представить как систему массового обслуживания [4]. При этом пассажиропоток в них зачастую имеет два направления движения: из терминала ТПУ на транспортное средство (автобус, вагон метро или др.) и обратно. Следовательно, в качестве моделей таких элементов ТПУ можно принять совокупность двух независимых систем массового обслуживания (СМО) с конечными очередями. Тогда, учитывая алгоритм движения пассажиропотоков, модель ТПУ является совокупностью взаимосвязанных и последовательно расположенных СМО, т.е. многофазной СМО (рис. 6).

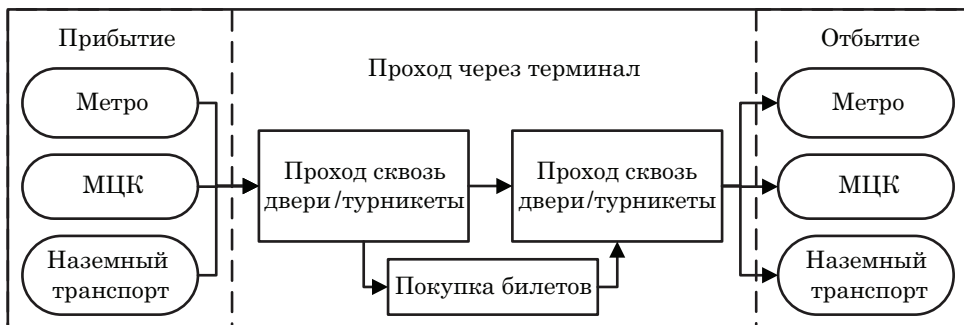


Рис. 5. Алгоритм движения пассажиров через терминал ТПУ

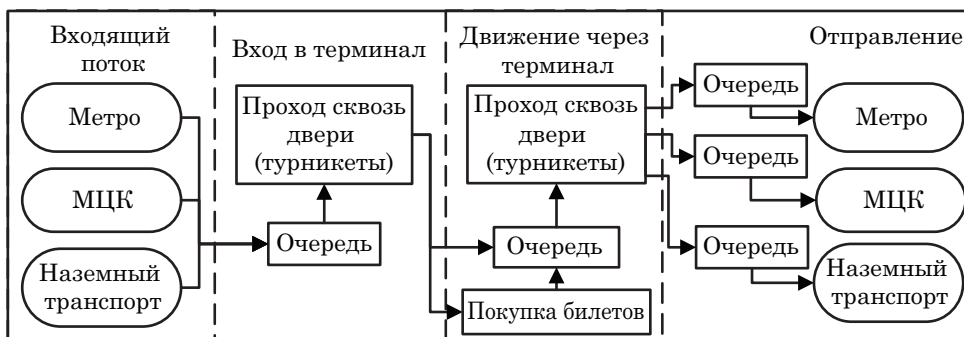


Рис. 6. Схема трехфазной СМО

Таблица 2

Характеристики СМО, фазы 1, 2

Пассажи- ропоток	ТПУ «Владыкино»			ТПУ «Кутузово»		
	каналы, кол-во	длина очереди на фазах		каналы, кол-во	длина очереди на фазах	
		1	2		1	2
I	8	1500	9500	8	1500	2000
II	5			4		
III	6			6		

Таблица 3

Характеристики СМО, фаза 3

Фаза 3	ТПУ «Владыкино»		ТПУ «Кутузово»		Идентичные характеристики	
	\bar{t}	длина очереди, кол-во чел.	\bar{t}	длина очереди, кол-во чел.	V	обслуживаемый пассажиропоток
СМО I	2,5	2500	2,5	2500	$N(200, 30)$	I
СМО II	6	4500	6	2000	$N(200, 30)$	II
СМО III	1,25	500	0,95	500	$N(15, 4)$	III

\bar{t} – среднее время обслуживания (мин), V – размер обслуживаемой группы пассажиров, $N(\mu, \sigma)$ – нормальное распределение с параметрами μ и σ .

Каждая фаза представляет собой отдельный уровень обслуживания (характеристики получены по данным таблицы 1): фаза 1 – переход из транспортного средства в терминал (моделируется многоканальной СМО с общей очередью; распределение каналов по обслуживаемым потокам представлено в таблице 2); фаза 2 – переход из терминала на платформу для посадки в транспортное средство (таблица 2). На фазах 1 и 2 интенсивность обслуживания каждым каналом – 20 чел./мин.; фаза 3 – посадка в транспорт и отправка из системы. Состоит из трех отдельных СМО с одним каналом и индивидуальными очередями: СМО I – платформа метро, СМО II – платформа МЦК, СМО III – автобусная остановка (таблица 3). На фазе 3 каждая СМО обслуживает один пассажиропоток.

Определение характеристик входящих транспортных потоков

Общий входящий пассажиропоток в ТПУ складывается из суммы нескольких независимых потоков

с индивидуальной структурой. Работа ТПУ рассматривается в час пик, с 7.00 до 9.00, поэтому параметры каждого потока соответствуют данному промежутку времени.

1. Станция метро. В Московском метрополитене в основном задействованы составы длиной восемь вагонов. Шесть вагонов отведем под нужды пассажиров, следующих мимо рассматриваемых станций; среднюю плотность пассажиров в вагоне примем 5 чел./м² [3]. Тогда прибывающая группа может составлять до 300 человек. Средний интервал между движением поездов в час пик – 2,5 мин; интенсивность прибытия – $\lambda_1 = 0,80$ состава в минуту (учитывая два направления движения).

2. Станция МЦК. На МЦК курсируют поезда модели ЭС2Г «Ласточка». Состав состоит из шести вагонов, максимальная вместимость – 1200 пасс. [10]. Примем, что для нужд пассажиров, следующих мимо рассматриваемых станций, отводятся четыре вагона, тогда максимальная вместимость состава – 300 чел. Интервал движения поездов в час пик – 6 мин, интенсивность

поступления – $\lambda_2 = 0,34$ в минуту (две линии).

3. Автобусная остановка. Прибытие наземного общественного транспорта на остановки при ТПУ может быть описано простейшим потоком. В ТПУ «Владыкино» интенсивность поступления составит $\lambda_3 = 0,78$, для ТПУ «Кутузово» – $\lambda_4 = 1,15$. Пассажиры прибывают группами, в среднем по 30 чел. [11].

Из-за невозможности проведения натурального эксперимента будем считать, что размер прибывающей группы во всех представленных выше пассажиропотоках является дискретной случайной величиной, имеющей нормальное распределение с индивидуальными параметрами (таблица 4).

4. Другие пассажиропотоки (перехватывающая парковка и пешеходы). При ТПУ «Владыкино» имеется перехватывающая парковка. Интенсивность поступления $\lambda_5 = 1,05$ маш./мин; время между поступлениями описывается экспоненциальным распределением (данные получены посредством анализа статистической информации из [12]). Среднее число пассажиров в салоне равно 1,34 [13]. Предположим, что число пассажиров подчиняется геометрическому закону распределения; тогда его параметр составит 0,68.

Оба рассматриваемых объекта расположены в жилых районах. В районах при ТПУ «Владыкино» средняя плотность населения составляет

16,3 тыс. чел./км², при ТПУ «Кутузово» – 9 тыс. чел./км² (данные 2016 г.). С учетом зоны пешей доступности (500–700 м), популярности метро [14] и объема пассажиропотоков в утренний час пик [15] получаем, что средняя интенсивность прибытия пешеходов $\lambda_B = 19,36$ чел./мин и $\lambda_K = 7,42$ чел./мин (для ТПУ «Владыкино» и ТПУ «Кутузово» соответственно). Однако данные значения многократно превосходят интенсивности остальных входящих потоков, тогда вероятности поступления последних будут неприемлемо малы. Уменьшив интенсивности λ_B и λ_K в семь раз, получаем $\lambda_6 = 2,31$ и $\lambda_7 = 1,06$ соответственно. Уменьшение интенсивности пассажиропотоков компенсируется введением группового поступления; размер группы считаем нормально распределенной случайной величиной $N(7, 2)$.

Полученные характеристики входящих пассажиропотоков представлены в таблице 4.

Математически описать все входящие в ТПУ пассажиропотоки можно с помощью единой модели ВМАР [16]. ВМАР-поток задается матрицами интенсивностей переходов $D_i, i = \overline{0,300}$ (где 300 – наибольший размер группы) размера 5×5 (по числу потоков, на примере «Владыкино»), элементы которых определяются следующим образом:

Таблица 4

Входящие пассажиропотоки

ТПУ	Пассажиропоток	Метро	МЦК	Автобус	Личный транспорт	Пешеходы
«Владыкино»	Интенсивность	$\lambda_1 = 0,80$	$\lambda_2 = 0,34$	$\lambda_3 = 0,78$	$\lambda_5 = 1,05$	$\lambda_6 = 2,31$
	Вероятность поступления p_i	0,152	0,064	0,148	0,199	0,437
«Кутузово»	Интенсивность	$\lambda_1 = 0,80$	$\lambda_2 = 0,34$	$\lambda_4 = 1,15$	–	$\lambda_7 = 1,06$
	Вероятность поступления p_i	0,267	0,113	0,267	–	0,353
Закон распределения размера групп		$N(100, 40)$	$N(150, 30)$	$N(30, 6)$	Geom(0,68)	$N(7, 2)$

Geom(x) – геометрическое распределение с параметром x .

$$d_{v,r}^{(k)} = \lambda p_{v,r}^{(k)}, k \geq 1;$$

$$d_{v,v}^{(0)} = -\lambda; d_{v,r}^{(0)} = \lambda p_{v,r}^{(0)}, v \neq r.$$

Здесь λ – суммарная интенсивность поступления всех пассажиропотоков, $p_{v,r}^{(k)}$ – вероятность поступления группы размера k при переходе из состояния v в r .

Стохастическая модель работы ТПУ может быть представлена в виде многофазной немарковской СМО. В систему поступает ВМАР-поток (характеристики которого отражены в таблице 4); система состоит из трех последовательно расположенных фаз, каждая имеет очередь размера m_k , а также n_k обслуживающих каналов $n_k, m_k < \infty$, $k = \overline{1,3}$. Поскольку очереди конечны, каналы первой и второй фазы – если очередь на следующей фазе заполнена – блокируются. Дисциплина принятия групп заявок – полный отказ [16], дисциплина обслуживания очереди – FIFO (первый вошел, первый вышел). Время обслуживания на фазах 1 и 2, а также в СМО III имеет экспоненциальное распределение. В СМО I и II фазы 3 время обслуживания детерминировано. На фазах 1 и 2 один канал обслуживает одну заявку, на фазе 3 допускается групповое обслуживание.

Для определения маршрута движения пассажира через систему используются три различных типа заявок, по числу основных пассажиропотоков (рис. 4). Прибывающая в систему группа может состоять из заявок различных типов, однако в группе, относящейся к потоку i , будут отсутствовать заявки типа i . Это ограничение вводится для исключения обратного движения пассажиров.

В терминах теории массового обслуживания [17] имеем СМО типа $\text{ВМАР}/M/n_1/m_1 \rightarrow */M/n_2/m_2 \rightarrow */G^X/M/n_3/m_3$, где X – размер обслуживаемой группы.

Данная стохастическая модель предназначена в первую очередь для определения загруженности терминала

ТПУ. Следовательно, основное внимание уделяется изучению характеристик фаз 2 и 3. Фаза 1 предназначена для принятия пассажиров и дальнейшего их направления в систему, поэтому представлена в текущей модели упрощенно (имеет общую очередь). Среднее время перехода между фазами зависит от планировочной структуры, определяется по натурному обследованию и входит в модель как константа. Время покупки билетов моделируются отдельно.

Аналитическое исследование представленной модели затруднено в силу большого количества фаз с иерархической структурой, наличия нескольких типов заявок, группового поступления и обслуживания, поэтому на основе математической модели была создана имитационная модель, базирующаяся на подходе, предложенном в работе [3].

Модельные эксперименты

Для каждого эксперимента в таблицах 5–8 представлены усредненные данные по десяти запускам. Время моделирования – два часа виртуального времени (час пик, с 7.00 до 9.00).

Эксперимент 1. Определение эффективности работы ТПУ «Владыкино»

Модель ТПУ в терминах ТМО:
 $\text{ВМАР}/M/19/1500 \rightarrow */M/19/9500 \rightarrow */G^X/3/7500$.

В систему поступает ВМАР-поток с интенсивностью $\lambda = 3$ (тогда среднее число прибывших пассажиров – 11 тыс. чел.) и тремя типами заявок; вероятность (общая) появления каждого типа: $p_1 = 0,34$ (метро), $p_2 = 0,33$ (МЦК), $p_3 = 0,33$ (автобусная остановка, пешеходы и др.); число независимых входящих транспортных потоков – 5; X определяется по таблице 3. Характеристики каждой фазы представлены в таблицах 2 и 3; результаты моделирования – в таблице 5.

Таблица 5

Результаты первого моделирования

	Поступило	Принято	$T_{sist}(c)$	P_{loss}	
Группы	352	352	262,77	0	
Заявки	11945	11945			
	\bar{k}	l	$w(c)$	$t_{ph}(c)$	$t_{lock}(c)$
Фаза 1	5,01	47,60	32,51	35,52	0
Фаза 2	4,60	4,74	5,63	8,40	0
Фаза 3	2,61	193,11	115,03	205,91	–
Ср. длина очереди для отдельной СМО на фазе 3, l_i			СМО I	СМО II	СМО III
			30,90	156,61	5,46

Здесь и далее: T_{sist} – среднее время пребывания заявки в системе (с); P_{loss} – вероятность отказа в обслуживании; \bar{k} – среднее число занятых каналов; l – средняя длина очереди; w – среднее время в очереди; t_{ph} – среднее время в фазе; t_{lock} – среднее время блокировки каналов на соответствующей фазе.

Эксперимент 2. Определение эффективности работы ТПУ «Кутузово»

В условиях второго эксперимента интенсивность поступления ВМАР-потока составит $\lambda = 2$ вероятности поступления отдельных пассажиропотоков (см. таблицу 4); модель ТПУ в терминах ТМО: ВМАР/М/18/1500 → */М/18/2000 → → *G^X/3/5000. Результаты моделирования представлены в таблице 6.

По результатам моделирования можно видеть, что СМО III (автобусная станция) недогружена (малая средняя длина очереди). Это объясняется тем, что, во-первых, рассматривается утренний промежуток времени (большая часть жителей отправляется на работу), во-вторых, учитываются только

пассажиропотоки, направляющиеся из терминала на автобусные станции.

В целом характеристики работы обоих ТПУ схожи, однако средняя очередь на фазах 1 и 2 в ТПУ «Кутузово» приблизительно в два раза больше. Объяснение этому моменту видится в меньшем числе каналов на фазах 1 и 2 (4 против 5), обслуживающих заявки пассажиропотока II, и большей средней вероятности поступления пассажиропотоков I и III.

В экспериментах не учитывается время перехода между фазами. По натурному обследованию время перехода составляет приблизительно 5 мин для «Владыкино» и 3 – для ТПУ «Кутузово» (переход из метро на станцию МЦК). Среднее время покупки билетов

Таблица 6

Результаты второго моделирования

	Поступило	Принято	$T_{sist}(c)$	P_{loss}	
Группы	222	222	278,40	0	
Заявки	11880	11880			
	\bar{k}	l	$w(c)$	$t_{ph}(c)$	$t_{lock}(c)$
Фаза 1	5,04	78,82	51,28	54,35	0
Фаза 2	4,69	7,38	6,32	9,18	0
Фаза 3	2,85	191,51	117,03	214,87	–
Ср. длина очереди для отдельной СМО на фазе 3, l_i			СМО I	СМО II	СМО III
			27,90	149,18	14,43

моделировалось отдельно и составляет 2 мин при семи работающих кассах (из них пять автоматов по продаже билетов) и среднем обслуживании две заявки в минуту (натурные данные). Таким образом, среднее время пребывания пассажиров в ТПУ составит 9,5 и 7,4 (соответственно «Владыкино» и «Кутузово») минут, что является хорошим показателем.

Эксперимент 3. Определение максимально допустимой загрузки ТПУ «Владыкино»

При увеличении интенсивности в 1,33 раза средняя очередь в СМО II (фаза 3) возрастает в четыре раза, а среднее время пребывания в системе – на 19%. При увеличении интенсивности в 1,5 раза средняя длина очереди на фазе 2 возрастает в 12 раз, в СМО II – в шесть раз, а среднее время пересадки превышает 15 мин.

При двукратном увеличении интенсивности поступления пассажиров по отношению к первому эксперименту среднее время пребывания в ТПУ превысит 23 мин; средняя длина очередей на фазах 1 и 2 из-за малого количества турникетов (5 шт.) при входе и выходе на платформу МЦК составит более 500 чел. Соответственно, на ней же возникают самые длинные очереди (СМО № III). Результаты моделирования представлены в таблице 7.

Эксперимент 4. Определение максимально допустимой загрузки ТПУ «Кутузово»

В условиях четвертого эксперимента интенсивность поступления групп пассажиров увеличена в два раза (таблица 8) по сравнению со вторым экспериментом.

Недостаток турникетов перед выходом с платформы МЦК (4 шт.) приводит

Таблица 7

Результаты третьего моделирования

	Поступило	Принято	$T_{sist}(c)$	P_{loss}	
Группы	721,00	716,00	1069,53	0,01	
Заявки	23848,67	22729,67			
	\bar{k}	l	$w(c)$	$t_{ph}(c)$	$t_{lock}(c)$
Фаза 1	8,96	585,70	193,20	196,30	0
Фаза 2	8,59	549,10	207,06	210,39	241,73
Фаза 3	2,87	1471,71	569,03	662,85	–
Ср. длина очереди для отдельной СМО на фазе 3, l_i			СМО I	СМО II	СМО III
			54,28	1404,43	12,88

Таблица 8

Результаты четвертого моделирования

	Поступило	Принято	$T_{sist}(c)$	P_{loss}	
Группы	480,67	433,67	1032,10	0,10	
Заявки	25530,00	19625,67			
	\bar{k}	l	$w(c)$	$t_{ph}(c)$	$t_{lock}(c)$
Фаза 1	7,77	1223,91	464,35	467,43	0
Фаза 2	7,75	198,03	79,15	82,29	425,47
Фаза 3	2,96	961,51	391,80	482,36	–
Ср. длина очереди перед в отдельной СМО на фазе 3, l_i			СМО I	СМО II	СМО III
			43,18	838,53	79,76

к образованию больших очередей на первой фазе при двукратном увеличении интенсивности поступления ($l = 4$), это объясняет высокую вероятности отказа в обслуживании (по сравнению с третьим экспериментом) и меньшую среднюю длину очереди в СМО III (фаза 3). Среднее время пересадки превышает 20 мин.

Таким образом, оба ТПУ функционируют без перегрузок и имеют некоторый запас производительности при среднем пассажиропотоке 11 тыс. чел. в час пик (расчетный период – 2025 г). При росте числа пассажиров свыше 18 тыс. чел. в час пик (увеличение интенсивности в 1,5 раза) пересадка перестает быть комфортной (превышает 15 мин). Выявлены два узких места в обоих ТПУ. Первое – малое число турникетов при входе (выходе) на платформу МЦК, особенно в ТПУ «Кутузово». Второе – низкая пропускная способность поездов МЦК. В первом случае следует увеличить число турникетов до шести или временно обратить направление движения пассажиров в некоторых из них.

Во втором – увеличить число вагонов (если это технически возможно) либо уменьшить время движения составов.

Итак, авторами выполнено моделирование работы городских транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) с использованием трехфазных немарковских систем массового обслуживания. Можно констатировать, что предложенный подход успешно прошел апробацию на примере действующих ТПУ в Москве. Разработанная авторами модель пригодна для первоначальной (общей) оценки эффективности функционирования ТПУ, текущего уровня работы, максимально допустимой нагрузки и определения узких мест в структуре пассажирских терминалов. Кроме того, она позволяет учитывать неравномерность входящего потока, размера поступающих групп пассажиров, стохастический характер обслуживания на каждой фазе. С учетом этого модель работы ТПУ становится универсальным инструментом для исследования различных по структуре существующих и проектируемых пассажирских терминалов. ■

Литература

1. Правдин Н. В., Рябуха Л. С., Лукашев В. И. Технология работы вокзалов и пассажирских станций. М. : Транспорт, 1990. 319 с.
2. Власов Д. Н. Транспортно-пересадочные узлы крупнейшего города (на примере Москвы). М. : АСВ, 2009. 96 с. ISBN 978-593093-695-7.
3. Журавская М. А., Казаков А. Л., Жарков М. Л., Парскурова П. А. Моделирование пассажиропотоков в современных транспортно-пересадочных узлах мегаполиса на основе немарковской системы массового обслуживания // Транспорт Урала. 2015. № 3 (46). С. 17–23. ISSN 1815-9400.
4. Казаков А. Л., Лемперт А. А., Жарков М. Л. Моделирование транспортно-пересадочных узлов на основе систем массового обслуживания: многофазных и с ВМАР-потокком // Вестник УРГУПС. 2016. № 4 (32). С. 4–15. ISSN 2079-0392.
5. Чанцева А. Н. Строительство транспортно-пересадочных узлов в Москве: как изменился город за последние годы. URL: <http://vm.ru/news/2016/12/03/stroitelstvo-transportno-peresadochnih-uzlov-v-moskve-kak-izmenilsya-gorod-za-poslednie-godi-342393.html> (дата обращения: 01.06.2017).
6. Карпова Е. На Московском центральном кольце 17 ноября был зафиксирован рекордный суточный пассажиропоток – 312 тыс. пассажиров. URL: <http://www.gudok.ru/news/? ID=1356602> (дата обращения: 15.03.2017).
7. Что такое «Московское центральное кольцо»? URL: <http://mkzd.ru/passengers/> (дата обращения: 15.03.2017).
8. СНиП 2.07.01–89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: нормативно-технический материал. М. : Минрегион России, 2011. 110 с.
9. Семейство турникетов УТ-2000.9 распашные створки. URL: http://www.elsy.ru/services/ut2000_raspashnye_stvorki/ (дата обращения: 19.04.2017).

10. Подвижной состав МЦК. URL: <http://www.mosmetro.ru/mcc/ps/> (дата обращения: 07.04.2017).
11. Маршруты городского транспорта Москвы. URL: <http://msk.rusavtobus.ru/> (дата обращения: 19.04.2017)
12. Перехватывающие парковки. URL: http://metro-parking.ru/metro_parking/ (дата обращения: 24.04.2017).
13. В будние дни каждая машина Москвы везет в среднем 1,3 человека. URL: http://carclub.ru/news/russia/v_budnie_dni_kazhdaya_mashina_moskvy_vezet_v_srednem_13_cheloveka.html (дата обращения: 17.05.2017).
14. Итоги работы транспортного комплекса за 2016 год и планы на 2017 год. URL: http://transport.mos.ru/common/upload/docs/1485253707_Otchetza2016god.pdf (дата обращения: 19.04.2017).
15. Статистика. Пассажиропоток в метро. URL: <http://metro-spb.ru/statisticheskie-dannye.htm> (дата обращения: 19.04.17).
16. Дудин А. Н., Клименок В. И. Системы массового обслуживания с коррелированными потоками. Минск : БГУ, 2000. 176 с.
17. Вишневецкий В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М. : Техносфера, 2003. 512 с. ISBN 5-94836-011-3.

Literature

1. Pravdin N. V., Ryabukha L. S., Lukashev V. I. The technology of schedule of the stations and passenger stations [Tekhnologiya raboty vokzalov i passazhirskikh stantsiy]. M. : Transport, 1990. 319 p.
2. Vlasov D. N. Transport and transfer parts of the biggest city (for example, Moscow) [Transportno-peresadochnyye uzly krupneyshego goroda (na primere Moskvy)]. M. : ASV, 2009. 96 p. ISBN 978-593093-695-7.
3. Zhuravskaya M. A., Kazakov A. L., Zharkov M. L., Parsyurova P. A. Modeling of passenger traffic in the modern transport interchange nodes metropolis on the basis of non-Markov's queuing system [Modelirovaniye passazhiropotokov v sovremennykh transportno-peresadochnykh uzлах megapolisa na osnove nemarkovskoy sistemy massovogo obsluzhivaniya] // Transport of the Urals. 2015. № 3 (46). Pp. 17–23. ISSN 1815-9400.
4. Kazakov A. L., Lempert A. A., Zharkov M. L. Modeling transport hubs based queuing systems: multi-phase and c BMAP-flow [Modelirovaniye transportno-peresadochnykh uzlov na osnove sistem massovogo obsluzhivaniya: mnogofaznykh i c BMAP-potokom] // Herald of the USURT. 2016. № 4 (32). Pp. 4–15. ISSN 2079-0392.
5. Chantseva A. N. The construction of transport hubs in Moscow: how has been change the city in recent years [Stroitel'stvo transportno-peresadochnykh uzlov v Moskve: kak izmenilsya gorod za posledniye gody]. URL: <http://vm.ru/news/2016/12/03/stroitelstvo-transportno-peresadochnih-uzlov-v-moskve-kak-izmenilsya-gorod-za-poslednie-godi-342393.html> (data reference: 01.06.2017).
6. Karpova E. On the Moscow Central Circle on the November of 17, has reached a record daily passenger [Na Moskovskom tsentral'nom kol'tse 17 noyabrya byl zafiksirovan rekordnyy sutochnyy passazhiropotok] – 312 thousand passengers. URL: <http://www.gudok.ru/news/?ID=1356602> (reference date: 15.03.2017).
7. What does the Moscow Central Circle means [Chto takoye «Moskovskoye tsentral'noye kol'tso»?] URL: <http://mkzd.ru/passengers/> (reference date: 15.03.2017).
8. Construction rules and regulations 2.07.01–89*. Urban planning. Planning and construction of urban and rural areas: regulatory and technical material [SNiP 2.07.01–89*. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy: normativno-tekhnicheskii material]. M. : Russian Ministry of the Regional Development, 2011. 110 p.
9. Family of the turnstiles UT-2000.9 swing doors [Semeystvo turniketov UT-2000.9 raspashnyye stvorki]. URL: http://www.elsy.ru/services/ut_2000_raspashnye_stvorki/ (reference date: 19.04.2017).
10. The rolling stock of the Moscow Central Circle [Podvizhnoy sostav Moskovskogo Tsentral'nogo Kol'tsa]. URL: <http://www.mosmetro.ru/mcc/ps/> (reference date: 07.04.2017).
11. Routes of Moscows Urban Transport [Marshruty gorodskogo transporta Moskvy]. URL: <http://msk.rusavtobus.ru/> (reference date: 19.04.2017)

12. Interception parking [Perekhvatyvayushchiye parkovki]. URL: http://metro-parking.ru/metro_parking/ (reference date: 24.04.2017).
13. On weekdays, every car in Moscow carries an average of 1.3 people [V budniye dni kazhdaya mashina Moskvy vezet v srednem 1,3 cheloveka]. URL: http://carclub.ru/news/russia/v_budnie_dni_kazhdaya_mashina_moskvy_vezet_v_srednem_13_cheloveka.html (reference date: 17.05.2017).
14. Results of the work of the transport complex for 2016 and plans for 2017 [Itogi raboty transportnogo kompleksa za 2016 god i plany na 2017 god]. URL: http://transport.mos.ru/common/upload/docs/1485253707_Otchetza2016god.pdf (reference date: 19.04.2017).
15. Statistics. Passenger traffic in the subway [Statistika. Passazhiropotok v metro]. URL: <http://metro-spb.ru/statisticheskie-dannye.htm> (reference date: 19.04.2017).
16. Dudin A.N., Klimenok V.I. System of the mass services of the linking parts [Sistemy massovogo obsluzhivaniya s korrelirovannymi potokami]. Minsk : BSU, 2000. 176 p.
17. Vishnevsky V.M. The theoretical foundations of computer network set [Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya komp'yuternykh setey]. M. : the Technosphere, 2003. 512 p. ISBN 5-94836-011-3.

Статья сдана в редакцию 18 июля 2017 года

УДК 656.025.2

М. А. Журавская, Я. А. Бучельникова, А. В. Кондратьева

Пространственные решения организации ТПУ – важный элемент концепции дружелюбной транспортно-логистической среды города

UDC 656.025.2

М. А. Zhuravskaya, Ya. A. Buchelnikova, A. V. Kondratieva

Spatial decisions for Transport Hubs organization as an element of friendly urban transport concept

Аннотация

Статья посвящена вопросам пространственной организации транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) в современном городе. Сделан акцент на формирование дружелюбной транспортно-логистической среды путем создания единства городского и транспортного пространства. Проведен литературный обзор употребления термина «дружелюбный», или «дружественный» применительно к транспортной сфере в зарубежной и отечественной научной литературе. Уточнено понятие «дружелюбное транспортно-логистическое пространство».

Предложена структура транспортно-пересадочного узла.

Пространственные решения организации ТПУ разработаны с учетом двух уровней: а) макроуровень – определение места размещения такого узла на территории города и б) микроуровень – организация внутренней среды ТПУ. Для макропространственных решений определен пассажиропоток с помощью метода гравитации и выявлены наиболее перспективные остановочные пункты для трансформации их в ТПУ. Для решения внутренней организации пространства ТПУ разработан

проект «Холл транспортно-пересадочного узла» на принципах футуродизайна (отдаленность от коммерческой выгоды), что должно способствовать перемещению фокуса дизайна с экономических и эксплуатационных направлений на социально значимые, культурные и экологические аспекты.

Ключевые слова: транспортно-пересадочные узлы (ТПУ), городской общественный транспорт, дружелюбное транспортно-логистическое пространство, дружественная сеть, пространственное решение.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-53-62

Марина Аркадьевна Журавская, канд. техн. наук, доцент; кафедра «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: MZhuravskaya@usurt.ru.

Яна Алексеевна Бучельникова, бакалавр, магистрант, кафедра теории и истории архитектуры, Уральского государственного архитектурно-художественного университета, Екатеринбург, Россия. E-mail: buchelnikova.yana@mail.ru.

Анна Викторовна Кондратьева, ассистент кафедры «Мировая экономика и логистика», Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: AVKondratieva@usurt.ru.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-06-00464.

Статья рекомендована к печати М. Б. Петровым, д-ром техн. наук, заместителем директора по науке Института экономики УрО РАН. E-mail: michpetrov@mail.ru.

Marina Arkadievna Zhuravskaya, Ph.D in Engineering, Associate Professor; Department of the World Economy and Logistics of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: MZhuravskaya@usurt.ru.

Yana Alekseevna Buchelnikova, Bachelor, Master of Arts, Department of the Theory and History of Architecture, The Ural State Architectural and Art University, Yekaterinburg, Russia. E-mail: buchelnikova.yana@mail.ru.

Anna Viktorovna Kondratieva, assistant of the department of the «World Economics and Logistics», the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: AVKondratieva@usurt.ru.

The work was carried out with the partial financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project № 16-06-00464.

The article is recommended for publication by M. B. Petrov, DSc in Engineering, Deputy Director for Science of the Institute of Economics, UrB RAS. E-mail: michpetrov@mail.ru.

Annotation

Article is devoted to the spatial organization of transport hubs (TH) in a modern city. The emphasis is made on formation of friendly transport and logistic environment by creating a hub of urban and transport space. The notion of «friendly transport and logistic space» is looked at through a literature review. The struc-

ture of a transport hub is proposed. Spatial solutions for TH organization are presented at two levels: a) macrolevel – a particular placement of a hub in the city and b) microlevel – organization of internal environment of a hub. To design the internal organization of TH space the project «Hall of the transport hub» was developed which should

contribute to moving the focus of the design from economic and operational directions to socially important, cultural and environmental aspects.

Key words: transport hub (TH), urban public transport, friendly transportation and logistic space, friendly network, spatial decisions.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-53-62

Термин «дружелюбный», или «дружественный» город (friendly cities) все активнее проникает в научную среду. Ученые занимаются вопросами организации дружелюбных городов для пожилых людей (age-friendly city) [1, 2], детей (концепция CFC – child friendly city) [3], пешеходов (walking-friendly cities) [4] и даже администрации (friendly administration) [5]. Нас же интересуют вопросы организации дружелюбной транспортно-логистической среды современного города. Сегодня в российских городах проживает около 110 млн жителей, или более 74 % всего населения страны [6]. И от работы городского общественного транспорта напрямую зависит качество жизни городского населения России.

Прежде всего уточним понятие «дружелюбная транспортно-логистическая среда», опираясь на труды зарубежных и отечественных ученых [7, 8]. Феномен друженности возникает на пересечении ценностей экономической, экологической и социальной подсистем транспорта. Ранее авторы настоящей статьи отметили, что под «дружелюбным транспортно-логистическим пространством» понимается удобная и безопасная (включая и экологическую безопасность) среда с множеством передвижений и взаимодействий людей и транспорта в городской агломерации [9]. Построить такую дружелюбную среду сегодня можно не только на основе сведения различных видов городского общественного транспорта

в единый транспортный процесс, но и путем создания единства городского и транспортно-логистического пространства, устранения противоречий между транспортной инфраструктурой и городской средой, а также, что особенно важно, улучшения условий транспортной доступности для каждого пассажира. Комплексно же реализовать перечисленные требования возможно в таком значимом элементе городской инфраструктуры, как транспортно-пересадочный узел (ТПУ) [10].

ТПУ – сложная транспортно-логистическая система, в состав которой входят отдельные подсистемы, как правило, несколько видов «внешнего» транспорта, взаимодействующих с различными видами «внутреннего» транспорта [11]; модель ТПУ представлена в [12]. Авторами настоящей статьи доработана структура транспортно-пересадочного узла (рис. 1).

Мы использовали метод гравитации, в котором структура расчетных формул аналогична закону Ньютона (1) [13, 14]. Метод не требует большого объема исходной информации и при этом обладает высокой степенью точности.

$$F_{ij} = \frac{\alpha \cdot P_i \cdot P_j}{R_{ij}^n}, \quad (1)$$

где F – сила связи между районами, или пассажирообъем между районами; α , n – эмпирические константы; P_{ij} – численность населения районов, тыс. чел.; R_{ij} – расстояние между центрами районов, км.

Формула (1) позволяет оценить объем пассажирских перевозок между центрами районов или городов. Расчет выполнен для Екатеринбурга, состоящего

из семи районов. Примем, что в каждом районе первоначально нужен только один ТПУ, тогда количество линий в транспортной паутине определится

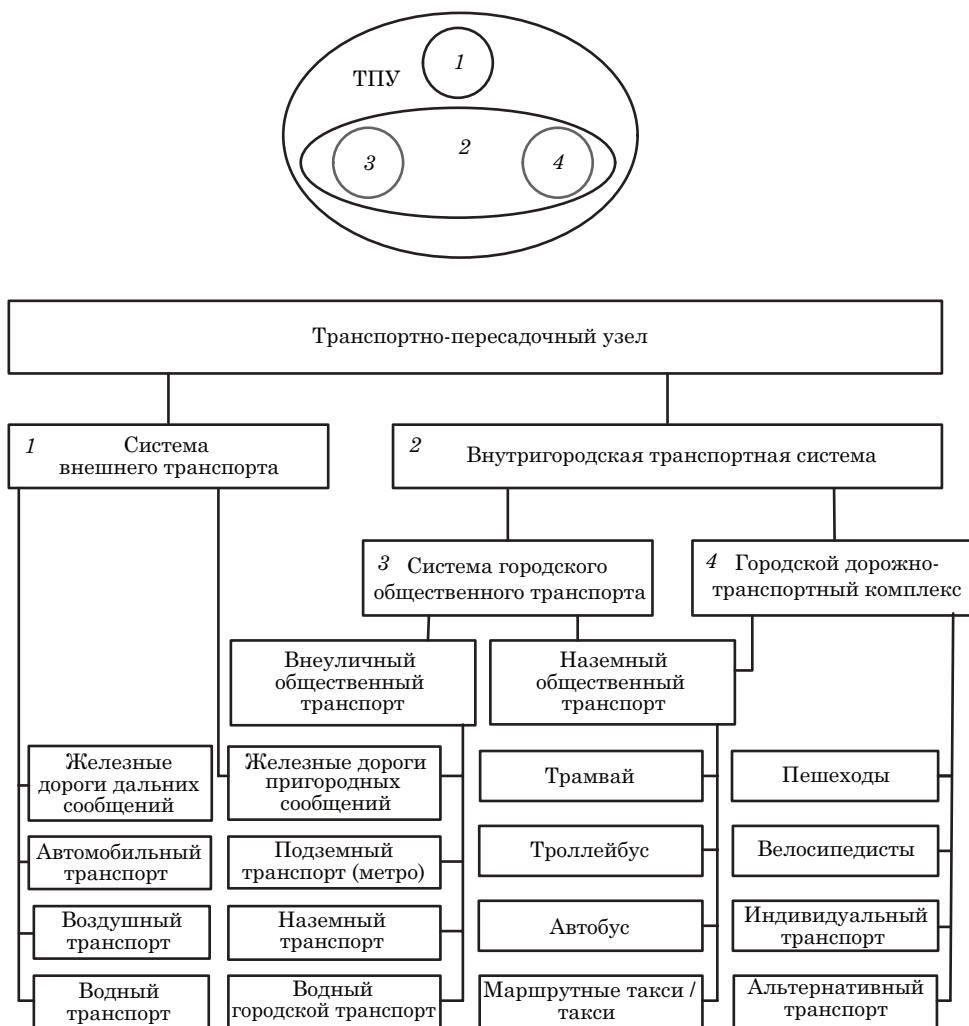


Рис. 1. Структура транспортно-пересадочного узла*

* ТПУ формируются при взаимодействии двух и более видов транспорта в пересадочном процессе. Взаимодействие может осуществляться как между наземными видами транспорта, так и внеуличными или внешними. ТПУ могут быть разными: многоуровневыми (вокзал в Берлине, где на четырех «этажах» соседствуют междугородный, пригородный и городской наземный транспорт, а также метро) или одноуровневыми (как в Цюрихе – городе, входящем в пятерку городов мира с самой дружелюбной средой проживания).

Очевидно, что изменение работы общественного транспорта в уральской столице давно назрело. Наши жители заслуживают качественного транспортного обслуживания мирового уровня. И задача грамотной организации пространства транспортно-пересадочного узла особенно остро встает при формировании дружелюбной транспортно-логистической среды города. И здесь одинаково важны как место размещения такого узла на территории города (в макропространстве), так и организация внутренней среды ТПУ.

по формуле (2) и составит 21 линию (рис. 2) [15].

$$C_k^2 = \frac{k!}{(k-2)! \cdot 2!}, \quad (2)$$

где $k = 7$ – количество районов и ТПУ на начальном этапе.

Проанализируем пассажирообъемы между районами города с помощью формулы (1) и классического инструмента логистики – метода АВС. Примем, что 20 % пассажиров при передвижении по городу используют железнодорожный транспорт на 80 % (согласно правилу Парето). Тогда коэффициент α для Железнодорожного района составит $\alpha = 1 + 0,2 \cdot 0,8 = 1,16$. Результаты расчетов представим в таблице.

Анализ пассажирообъемов между районами города на основе метода АВС позволил выявить наиболее значимые существующие остановочные пункты

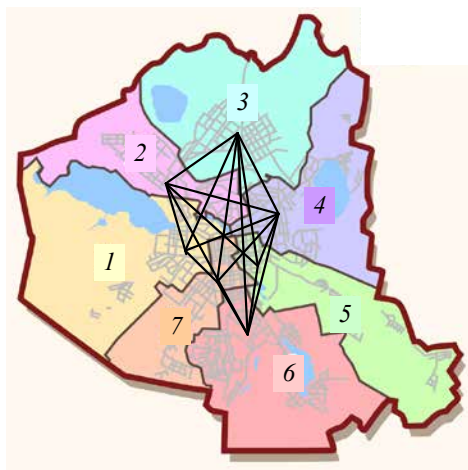


Рис. 2. «Транспортный паук» Екатеринбурга при организации ТПУ
районы: 1 – Верх-Исетский; 2 – Железнодорожный; 3 – Орджоникидзевский; 4 – Кировский; 5 – Октябрьский; 6 – Чкаловский; 7 – Ленинский

АВС-анализ пассажирообъемов между районами Екатеринбурга

Линия	Районы	P_i , чел.	P_{ij} , чел.	R_{ij} , км	α	F_{ij}	%	Нар., %	Группа
3–2	Орджоникидзевский – Железнодорожный	94,08	62,02	9	1,16	83,56	21,72	21,72	А
7–4	Ленинский – Кировский	76,95	37,91	7,5	1	51,86	13,48	35,20	
2–1	Железнодорожный – Верх-Исетский	62,02	43,58	9	1,16	38,71	10,6	45,27	
3–1	Орджоникидзевский – Верх-Исетский	94,08	43,58	13	1	24,26	6,31	51,57	
4–1	Кировский – Верх-Исетский	37,91	43,58	8,7	1	21,83	5,67	57,25	
4–3	Кировский – Орджоникидзевский	37,91	94,08	12,9	1	21,43	5,57	62,82	
4–6	Кировский – Чкаловский	37,91	79,36	12	1	20,89	5,43	68,25	
2–7	Железнодорожный – Ленинский	62,02	76,95	16,5	1,16	20,33	5,29	73,54	В
1–7	Верх-Исетский – Ленинский	43,58	76,95	13,6	1	18,13	4,71	78,25	
3–7	Орджоникидзевский – Ленинский	94,08	76,95	20,4	1	17,40	4,52	82,77	
7–6	Ленинский – Чкаловский	76,95	79,36	19	1	16,92	4,40	87,17	
4–2	Кировский – Железнодорожный	37,91	62,02	14,1	1,16	13,72	3,57	90,74	
3–6	Орджоникидзевский – Чкаловский	94,08	79,36	25,5	1	11,48	2,98	93,72	С
2–6	Железнодорожный – Чкаловский	62,02	79,36	25,8	1,16	8,58	2,23	95,95	
5–6	Октябрьский – Чкаловский	21,91	79,36	15,9	1	6,88	1,79	97,74	
1–6	Верх-Исетский – Чкаловский	43,58	79,36	22,9	1	6,60	1,71	99,45	
5–7	Октябрьский – Ленинский	21,91	76,95	23	1	3,19	0,83	100,28	
4–5	Кировский – Октябрьский	37,91	21,91	17,9	1	2,59	0,67	100,96	
3–5	Орджоникидзевский – Октябрьский	94,08	21,91	30,5	1	2,22	0,58	101,53	
2–5	Железнодорожный – Октябрьский	62,02	21,91	31,7	1,16	1,57	0,41	101,94	
1–5	Верх-Исетский – Октябрьский	43,58	21,91	28,8	1	1,15	0,30	102,24	

Екатеринбурга, которые впоследствии можно трансформировать в ТПУ; это прежде всего Железнодорожный вокзал, ул. Викулова и Высоцкого, ТГ «Дирижавль» и др. [16]. Верификация полученных результатов проведена на основе программного продукта VISUM (рис. 3), а также с учетом транспортной стратегии Екатеринбурга (рис. 4).

Крайне важна организация внутреннего пространства самого ТПУ. Для человека любые перемещения,

в особенности с пересадками, служат предметом стресса. Преодолевая трудности (например, поиск нужной платформы, ожидание рейса, хранение и перемещение багажа и др.), человек теряет большое количество энергии. Поэтому среда таких центров должна быть максимально адаптирована под человека и обеспечивать минимальные временные затраты (до 10 мин) на пересадку с одного вида транспорта на другой [17].

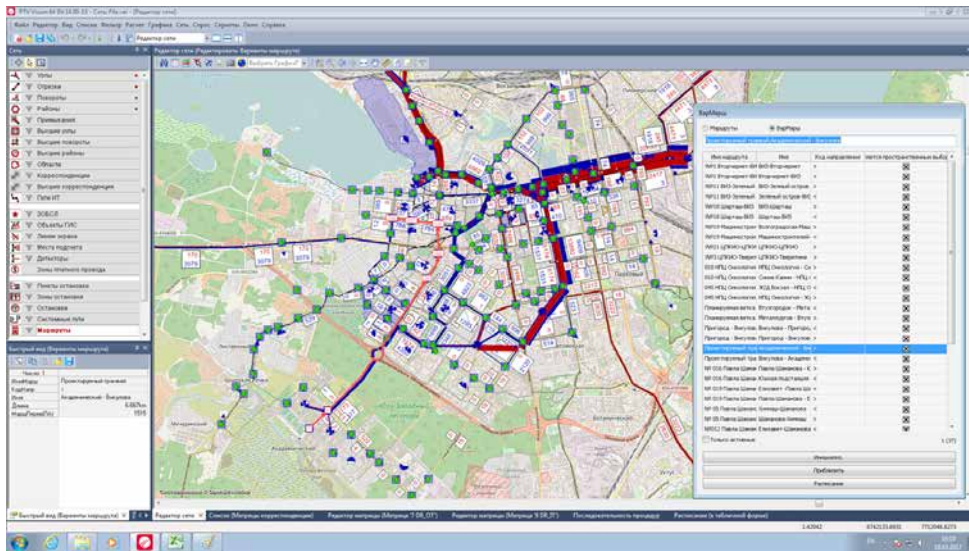


Рис. 3. Фрагмент карты маршрутной сети

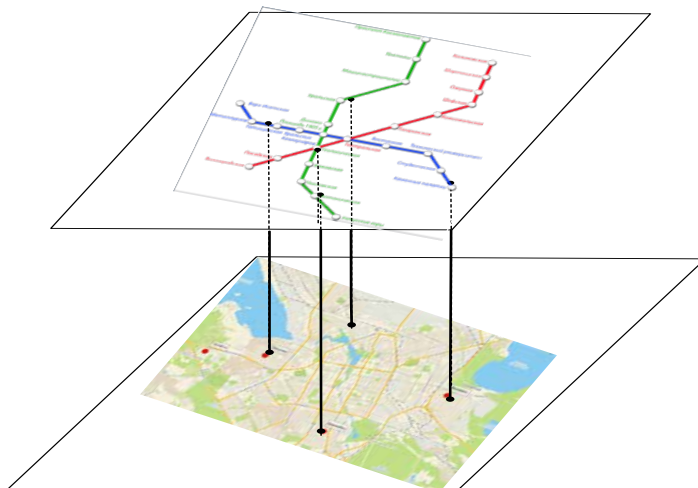


Рис. 4. Совмещенная схема перспективных станций метро и потенциальных ТПУ

Комфортные условия передвижения на общественном транспорте подтолкнул к отказу от личного автомобиля, что позволит установить в мегаполисах гуманную экологическую, или дружелюбную среду, отвечающую принципам «зеленой» логистики [18].

Транспортные узлы вбирают в себя множество функций; транспортная функция остается определяющей, однако она может быть эффективно реализована только совместно с коммуникационной, торговой, культурно-развлекательной, экологической и эстетической. Все они должны работать на создание дружелюбной для человека транспортно-логистической среды. Холл транспортно-пересадочного узла должен действовать пассажиру во всех вопросах, а зона ожидания обеспечивать восстановление сил.

В качестве примеров альтернативного направления развития пространственных решений ТПУ могут служить проекты мощных транспортных узлов; в отечественной практике – это проект реконструкции Курского вокзала в Москве (2008), проект нового ТПУ «Москва-сити» (2012), а в зарубежном опыте – проект транзитного центра «Трансбей» в Сан-Франциско (рис. 5) [19].

На нижнем подземном уровне расположена станция железнодорожного вокзала с тремя пассажирскими платформами. Спуск организован с помощью эскалаторов, выводящих пассажиров на нужную платформу. Второй подземный уровень занимает торговый этаж, обеспечивающий прибыль инвесторам центра. Распределительный холл на первом этаже имеет центральные входы и выходы к городскому наземному транспорту, здесь же располагаются стойки информации, кассы и мелкие торговые точки. Второй этаж представляет собой дорожную магистраль с городским автобусным транспортом. Спроектированная вентиляционная система здания допускает передвижение транспорта внутри без вреда для здоровья пассажиров. На эксплуатируемой кровле разбит парк. Рекреационная зона имеет отдельные входы и служит незаменимым местом отдыха не только для пассажиров и работников центра, но и для жителей района с плотной застройкой. Центр включает в себя три аналогичных модуля, соединённых переходами, транспортные устройства и открытые пространства, в котором начинаются, пересекаются и заканчиваются потоки движения



Рис. 5. Разрез транзитного центра «Трансбэй», Сан-Франциско, США [19]

людей с целью получения в этом пространстве концентрированного максимума транспортно-логистических и других услуг при минимальных затратах времени. Однако этот проект не имеет единой системы навигации и зрительных ориентиров, в нем нет организованной зоны ожидания, а административный персонал располагается вне проектируемого ТПУ и не имеет возможности наблюдать за слаженной работой центра.

Взяв за конструктивную основу проанализированный транзитный центр, авторы настоящего исследования предлагают проект ТПУ, который ориентирован на массового потребителя будущего. Это позволяет использовать последние разработки мировых учёных и концепты новых видов транспорта, созданные, протестированные, но ещё не дошедшие до массового потребления (рис. 6) [20].

На подземных этажах располагаются метро и железнодорожная станция пригородного сообщения. Первый этаж отведён под распределительный

холл. В этой точке находится максимальная концентрация средств зрительной, звуковой и тактильной навигации для полноценного информирования пассажиров. Помимо центральных входов, здесь имеются выходы к городскому и междугородному автобусному транспорту. В пространстве первого этажа создаётся дополнительный уровень – антресольный этаж, где находится обособленная зона ожидания для пассажиров пригородного автобусного и железнодорожного сообщения. Второй этаж отведён под новейшую транспортную систему «скайвэй» (разработка российских учёных компании SkyWay, ведущих активный поиск инвестиций на внедрение своего продукта в массовое пользование). Рекреационная зона на кровле здания дополняется посадочными платформами для аэротакси. Этот проект задействует различные виды транспорта, что полностью отвечает принципу мультимодальности.

Проект имеет чётко выраженную вертикальную ось, вокруг которой

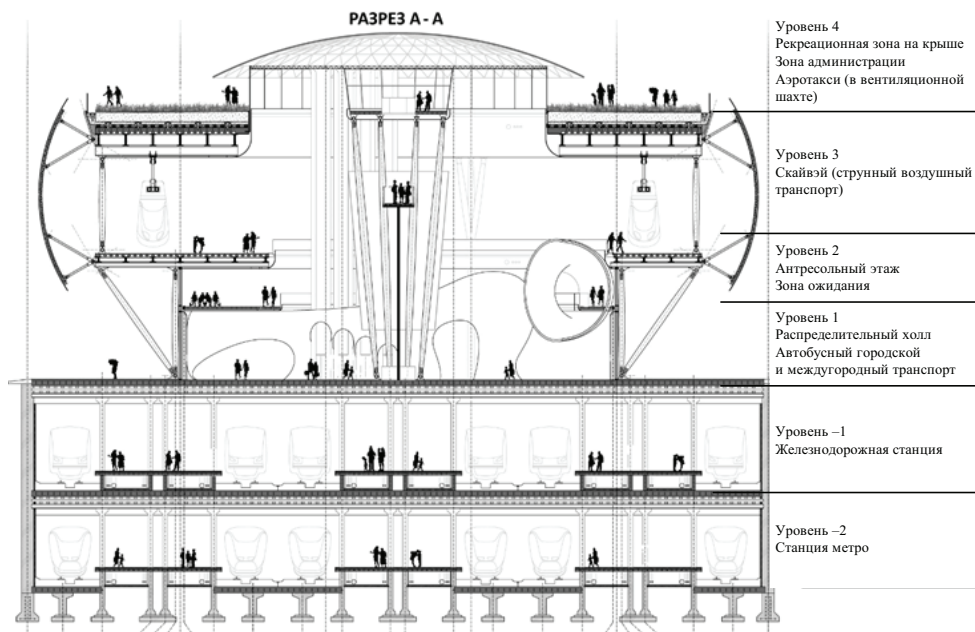


Рис. 6. Разрез проектируемого ТПУ с предложенным функциональным зонированием по этажам

складывается объёмно-пространственная композиция.

Основная идея объёмно-пространственного решения – в создании неких параметрических структур-перегородок, которые образуют сеть коридоров, направляющих пассажиров именно туда, куда им нужно. Помимо зонировочной функции, монтируемые структуры скрывают всю лишнюю информацию, выделяя визуальные ориентиры – цветные коридоры, ведущие к разным видам транспорта (рис. 7) [20].

Особенностью предлагаемого авторами проекта стал футуристический интерьер терминала ТПУ, насыщенный технологиями будущего и ориентированный на массового потребителя (рис. 8).

Предложенная стилистика организации пространства ТПУ связана с важной особенностью футуродизайна – отдаленность от коммерческой выгоды. Это позволило авторам сфокусироваться



Рис. 7. Пространственное решение напольной навигации

на социально значимых, экологических и культурно-познавательных принципах дружелюбного транспортно-логистического пространства: доступность и мобильность, уникальность и универсальность, безопасность и комфорт. ■



Рис. 8. Холл ТПУ

Литература

1. Is a healthy city also an age-friendly city? / J. Jackisch, G. Zamaro, G. Green, M. Huber // Health Promotion International. 2015. Vol. 30, № S1. P. i108–i117. ISSN 2311-164X.
2. Manchester H., Facer K. Towards the All-Age Friendly City // Working Paper 1 of the Bristol All-Age-Friendly City Group. URL: <http://www.researchgate.net/publication/281203621> (дата обращения: 29.07.2017).
3. Город, дружелюбный к детям // Концепция Московского института социально-культурных программ. URL: <http://miscp.ru/assets/docs/child-friendly-city.pdf> (дата обращения: 12.07.2017).
4. Perić D., Lesjak M., Petelin M. Perspectives of Locals and Tourists // Geographica Pannonica. 2015. Vol. 19. Issue 4. P. 212–222. ISSN 2311-164X.
5. Kisielnicki J. Friendly administration project of the procedure for personal income tax payment. Suggested changes and the role of information technology // Polish Journal of Management Studies. 2010. № 1. P. 15–22. ISSN 2081-7452.
6. «Сименс» в России: бизнес для общества // Отчет о вкладе компании в развитие экономики страны. URL: <https://www.siemens.ru/business2society> (дата обращения: 12.07.2017).

7. Olivková I. Public transport in Czech Republic // *Transport problems*. 2008. Т. 3. Р. 53–58. ISSN 2311-164X.
8. Olszewski P., Krukowski P. Quantitative assessment of public transport interchanges. URL: https://www.researchgate.net/profile/Piotr_Olszewski2/publications (дата обращения: 29.07.2017).
9. Петров М.Б., Журавская М.А., Левченко М.А. Пути и возможности формирования дружественной сети регионального и городского общественного транспорта при создании ВСМ // *Инновационный транспорт*. 2016. № 4 (22). С. 3–8. ISSN 2311-164X.
10. Журавская М.А., Казаков А.Л., Жарков М.Л., Парсюрора П.А. Моделирование работы транспортно-пересадочного узла мегаполиса как трехфазной системы массового обслуживания // *Транспорт Урала*. 2015. № 3 (46). С. 17–22. ISSN 1815-9400.
11. Интермодальные перевозки в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта : учеб. пособие / С.П. Вакуленко и др. / под ред. С.П. Вакуленко. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785890356208.html> (дата обращения: 29.07.2017).
12. Опыт разработки концепций транспортного обслуживания транспортно-пересадочных узлов // *Лаборатория градопланирования им. М.Л. Петровича*. – СПб, 2012.
13. Персианова В.А. Экономика пассажирского транспорта : учебное пособие / Проф. 2-е изд., стер. – М. : КНОРУС. 2014. 392 с. ISBN 978-5-406-03233-6.
14. Журавская М.А., Морозова О.Ю., Гашкова Л.В. Перспективы развития мультимодальных пассажирских перевозок в России (на примере направления РФ – п-ов Крым) // *Международный научный институт «Education»*. 2014. № 3–3. С. 143–147. ISSN 2413-5348.
15. Online-помощник при подготовке к экзаменам по математике. URL: <http://mathematchka.ru/school/combinatorics/combination.html> (дата обращения: 29.07.2017).
16. Журавская М.А., Коцан В.В., Парсюрора П.А. К вопросу формирования дружественной транспортной сети на основе анализа остановочных пунктов городских агломераций // *Инновационный транспорт*. 2016. № 2 (20). С. 15–21. ISSN 2311-164X.
17. Журавская М.А., Казаков А.Л., Парсюрора П.А. О размещении остановочных пунктов при осуществлении мультимодальных пассажирских перевозок // *Транспорт Урала*. 2012. № 4 (35). С. 50–53. ISSN 1815-9400.
18. Журавская М.А. «Зеленая» логистика – стратегия успеха в развитии современного транспорта // *Вестник УрГУПС*. 2015. № 1 (25). С. 38–48. ISSN 2079-0392.
19. Хайруллина Ю.С. Общие положения функционально-пространственной организации современного транспортно-коммуникационного узла // *Известия КГАСУ*. 2011. № 4 (18). С. 155–165. ISSN 2073-1523.
20. Бучельникова Я.А. Холл транспортно-пересадочного узла: выпускная квалификационная работа / Рук. С.С. Шамшуров // Екатеринбург : УрГАХУ, 2017.

Literature

1. Is a healthy city also an age-friendly city? / J. Jackisch, G. Zamaro, G. Green, M. Huber // *Health Promotion International*. 2015. Vol. 30, № S1. P. i108–i117. ISSN 2311-164X
2. Manchester H., Facer K. Towards the All-Age Friendly City // *Working Paper 1 of the Bristol All-Age-Friendly City Group*. URL: <http://www.researchgate.net/publication/281203621> (reference date: 29.07.2017).
3. The city, is friendly to children [Gorod, družhelyubnyy k detyam] // *The concept of the Moscow Institute of socio-cultural programs*. URL: <http://miscp.ru/assets/docs/child-friendly-city.pdf> (reference date: 12.06.2017).
4. Perić D., Lesjak M., Petelin M. Perspectives of Locals and Tourists // *Geographica Pannonica*. 2015. Vol. 19. Issue 4. P. 212–222. ISSN 2311–164X.
5. Kisielnicki J. Friendly administration project of the procedure for personal income tax payment. Suggested changes and the role of information technology // *Polish Journal of Management Studies*. 2010. № 1. P. 15–22. ISSN 2081-7452.
6. «Siemens' in Russia, business to society [«Simens' v Rossii: biznes dlya obshchestva] // *Company Report contribution in the development of the national economy*. URL: <https://www.siemens.ru/business2society> (reference date: 12.06. 2017).
7. Olivková I. Public transport in Czech Republic // *Transport problems*. 2008. Т. 3. Р. 53–58. ISSN 2311-164X.

8. Olszewski P., Krukowski P. Quantitative assessment of public transport interchanges. URL: https://www.researchgate.net/profile/Piotr_Olszewski2/publications (reference date: 29.06.2017).
9. Petrov M.B., Zhuravskaya M.A., Levchenko M.A. Paths and opportunity friendly sets network of regional and urban public transport during the creating HSR [Puti i vozmozhnosti formirovaniya druzhestvennoy seti regional'nogo i gorodskogo obshchestvennogo transporta pri sozdanii VSM] // Innotrans. 2016. № 4 (22). Pp. 3–8. ISSN 2311-164X.
10. Zhuravskaya M.A., Kazakov A.L., Zharkov M.L., Parsyurova P.A. Modeling of the transport interchange hub metropolis as a three-phase queuing system [Modelirovaniye raboty transportno-peresadochnogo uzla megapolisa kak trekhfaznoy sistemy massovogo obsluzhivaniya] // Transport of the Urals. 2015. № 3 (46). Pp. 17–22. ISSN 1815-9400.
11. Intermodal transport in passenger transport with rail transport [Intermodal'nyye perevozki v passazhirskom soobshchenii s uchastiyem zheleznodorozhnogo transporta]: Textbook. allowance / S.P. Vakulenko and others; Ed. S.P. Vakulenko. URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785890356208.html> (reference date: 25.07.2017).
12. Experience in the development of concepts of transport service of transport-transfer units [Opyt razrabotki kontseptsii transportnogo obsluzhivaniya transportno-peresadochnykh uzlov] // Laboratory of urban planning. M.L. Petrovich. – St. Petersburg, 2012.
13. Persianova V.A. Economics of Passenger Transport [Ekonomika passazhirskogo transporta]: Textbook / Prof. 2 nd ed., Sr. – M.: KNORUS. 2014. 392 p. ISBN 978-5-406-03233-6.
14. Zhuravskaya M.A., Morozova O. Yu., Gashkova L.V. Prospects of the development of multimodal passenger traffic in Russia (for example, the direction of Russia – peninsula Crimea) [Perspektivy razvitiya mul'timodal'nykh passazhirskikh perevozok v Rossii (na primere napravleniya RF – p-ov Krym)] // International Scientific Institute «Education». 2014. № 3–3. Pp. 143–147. ISSN 2413-5348.
15. Online-Assistant in preparing for exams in mathematics [Online-pomoshchnik pri podgotovke k ekzamenam po matematike]. URL: <http://mathematichka.ru/school/combinatory/combinacion.html> (reference date: 29.07. 2017).
16. Zhuravskaya M.A., Kotsan V.V., Parsyurova P.A. To the question of formation of a friendly transport network on the basis of analysis of stop points of urban agglomerations [K voprosu formirovaniya druzhestvennoy transportnoy seti na osnove analiza ostanovochnykh punktov gorodskikh aglomeratsiy] // Innotrans. 2016. № 2(20). Pp. 15–21. ISSN 2311-164X.
17. Zhuravskaya M.A., Kazakov A.L., Parsyurova P.A. On the location of stopping points in the implementation of multimodal passenger transport [O razmeshchenii ostanovochnykh punktov pri osushchestvlenii mul'timodal'nykh passazhirskikh perevozok] // Transport of the Urals. 2012. № 4 (35). Pp. 50–53. ISSN 1815-9400.
18. Zhuravskaya M.A. «Green» logistics – the strategy of success in the development of modern transport [Zelenaya] logistika – strategiya uspekha v razvitii sovremennogo transporta] // Herald of the USURT. 2015. № 1 (25). Pp. 38–48. ISSN 2079-0392.
19. Khairullina Yu. S. General provisions of the functional-spatial organization of a modern transport and communication hub [Obshchiye polozeniya funktsional'no-prostranstvennoy organizatsii sovremennogo transportno-kommunikatsionnogo uzla] // Izvestiya KGASU. 2011. № 4 (18). Pp. 155–165. ISSN 2073-1523.
20. Buchelnikova Ya. A. Hall of the transport-transfer junction: final qualifying work [Kholl transportno-peresadochnogo uzla: vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota] / Ruk. S.S. Shamshurov // Yekaterinburg : USUAA, 2017.

Статья сдана в редакцию 1 августа 2017 года

УДК 338.47

М. Ю. Шерешева, М. С. Оборин, С. О. Дунаева

Анализ производственно-транспортной инфраструктуры регионов в целях формирования транспортно-логистических сетей

UDC 338.47

M. Yu. Sheresheva, M. S. Oborin, S. O. Dunayeva

Analysis of the procedural-transport infrastructure of regions for the formation of transport and logistic networks

Аннотация

В статье изучаются понятие «логистическая сеть», ее значение для развития экономики на различных уровнях — от глобального до локального. Значение транспортной доступности для развития территорий неоспоримо — только на основе логистики можно говорить об эффективной организации

производства и росте качества жизни. Транспортная удаленность представляет собой существенное препятствие для преобразования социально-экономического пространства малых городов, потому что не позволяет эффективно перераспределять ресурсы и привлекать инвесторов, затрудняет сбыт продукции собственного

производства, блокирует модернизацию существующих предприятий. Создание эффективных логистических сетей будет объективно способствовать реализации целей, задач и показателей, определенных комплексными программными документами по развитию приоритетных сфер экономики и монопредприятий.

Марина Юрьевна Шерешева, д-р экон. наук, профессор; кафедра «Прикладная институциональная экономика» Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, директор Центра исследований сетевой экономики, зав. лабораторией институционального анализа экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова; Москва, Россия. E-mail: m.sheresheva@gmail.com.

Матвей Сергеевич Оборин, д-р экон. наук, доцент; кафедра «Экономический анализ и статистика» Пермского института (филиала) ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова»; профессор, кафедра «Мировая и региональная экономика, экономическая теория» ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»; г. Пермь, Россия. E-mail: recreachin@rambler.ru.

Светлана Олеговна Дунаева, аспирант; кафедра «Маркетинг» Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова; Москва, Россия. E-mail: sodunaeva@yandex.ru.

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-18-01324) «Устойчивое развитие экономики территорий на основе сетевого взаимодействия малых городов и районных центров».

Статья рекомендована к печати В. М. Сай, д-ром техн. наук, профессором; кафедра «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: vsay@usurt.ru.

Marina Yurevna Sheresheva, DSc in Economics, Professor; Department of the Applied Institutional Economics, the Lomonosov Moscow State University, director of the Center for Network Economics Studies, The Laboratory of the Institutional Analysis of the Faculty of Economics, The Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russia. E-mail: m.sheresheva@gmail.com.

Matvey Sergeevich Oborin, DSc in Economics, Science, Associate Professor; Department of the Economic Analysis and Statistics of the Perm Institute (branch) of the Federal State Educational Establishment of the Russian Federation of the «Russian Economic University named after G.V. Plekhanov»; Professor, Department the «World and Regional Economics, Economic Theory» of the Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education of the «Perm State National Research University»; Perm, Russia. E-mail: recreachin@rambler.ru.

Svetlana Olegovna Dunayeva, graduate student; Department of the Marketing, The Moscow State University. M.V. Lomonosov Moscow State University; Moscow, Russia. E-mail: sodunaeva@yandex.ru.

The study was conducted with the financial support of the Russian Science Foundation (Project № 17-18-01324) «Sustainable economic development of territories based on networking of small cities and towns».

The article is recommended for publication by V.M. Sai, DSc in Engineering, Professor; Department of the «Path and railway construction» of the Ural State University of Railways. E-mail: vsay@usurt.ru.

В настоящей статье приводятся возможности экономического развития малых городов на основе интеграции в логистическую сеть (на примере Тульской и Владимирской областей). Индустриальные парки в малых городах создают условия, благоприятствующие привлечению производств с доступом к транспортной инфраструктуре, которая обеспечит интеграцию на региональном и международном уровнях. Расширение сетевых взаимосвязей по различным аспектам промышленного, транспортного и логистического видов деятельности повышает деловую активность.

Ключевые слова: малые города, логистическая сеть, экономический рост, экономическая интеграция, цепи поставок, транспортная инфраструктура.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-63-79

Annotation

The article explores the concept of «logistics network», its importance for the development of the economy at various levels, from global to local. The value of transport accessibility for the development of territories is undeniable – only based on logistics, you can talk about effective organization of production and increasing quality of life. The transport distance is a significant obstacle to the transformation of socio-economic area of small towns, because they do not efficiently allocate resources and attract investors, it impedes the sale of own products, blocks the modernization of existing enterprises. The creation of an efficient supply network will objectively promote the implementation of goals, objectives and targets set by the comprehensive policy documents on the deve-

lopment of priority sectors of the economy and mono-sized enterprises.

This article presents the possibilities of economic development of small towns based on the integration into the logistics network are given (on the example of the Tula and Vladimir regions). Industrial parks in small towns create an environment conducive to attracting industries with access to transport infrastructure, which will provide integration at the regional and international levels. Expansion of network relationships on various aspects of industrial, transport and logistics activities increases business activity.

Key words: small-town, logistics network, economic growth, economic integration, supply chain, transportation infrastructure.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-63-79

Современные мировые процессы урбанизации свидетельствуют об огромном значении малых городов для устойчивого развития страны. Малые города* через контакты с центром могут получать значительный импульс в развитии, поскольку по сложившимся механизмам взаимоотношений центр обеспечивает диффузию нововведений, в том числе социальных, а также задает нормы общественных гарантий и социального благоустройства [1]. Сетевая интеграция на региональном и более высоких уровнях способна выступить движущей силой экономического роста малых городов и районных центров. В обеспечении этого движения функционируют логистические сети, использующие создаваемые транспортной инфраструктурой возможности поставок продукции.

Развитие транспортного сообщения, направленного на повышение гибкости в сфере грузовых перевозок, создает благоприятные условия для расширения производственной деятельности и, как следствие, приводит к экономическому росту региона. Наличия только физических объектов транспортной инфраструктуры недостаточно для выстраивания конкурентоспособной логистической сети, для которой необходима структура взаимоотношений между участвующими в управлении товарно-материальными потоками экономическими агентами. Развитые индустриальные парки в малых городах создают максимально благоприятные условия для ведения производственной деятельности.

Ключевые признаки логистической сети: участие от трех компаний

* Под малыми городами подразумеваются города с численностью до 50 тыс. чел.

контрагентов; согласование, а не объединение среди участников своих функций и установление долгосрочных взаимных отношений; осуществление операций на основании заключенного между компаниями контракта (классический, неоклассический и отношенческий).

Логистическая сеть представляет собой совокупность равноправных и независимых партнеров, между которыми установлены взаимосвязи по экономическим потокам, основанные на взаимных обязательствах и ответственности, функционирующие на основе общей ресурсной базы [2]. Ключевое отличие сетевого объединения от системного – характер взаимосвязей. В случае сетей взаимоотношения приобретают горизонтальный характер, то есть сотрудничество между экономическими агентами на одном уровне цепи создания стоимости. Технологический прогресс, в частности, в сфере транспортировки, а также сокращение торговых барьеров привели к фрагментации производства в глобальном масштабе.

Логистика влияет на экономический рост, конкурентоспособность стран и регионов [3]. Переход от «фордистской» модели производства, где все виды экономической деятельности осуществляются одной фирмой, с расположением в одном месте или в местах наибольшей близости [4], привел к появлению «торговли задачами» [5]. Этот термин относится к международной системе разделения труда и сопоставим с такими понятиями, как «вертикальная специализация», «оффшоринг», «аутсорсинг», «совместное производство» и «делокализация». На этом фоне получила развитие концепция управления цепями поставок (УЦП). Одно из определений рассматривает УЦП как комплекс задач по интеграции организационных единиц в рамках цепи поставок, а также координацию материальных, информационных и финансовых потоков, чтобы удовлетворить спрос конечного покупателя

с целью улучшения конкурентоспособности цепочки поставок в целом [6]. Глобальные производственные сети – это «глобально организованная цепь взаимосвязанных функций и операций фирмы или внефирменными институтами, посредством которой осуществляется производство и распределение товаров и услуг» [7]. Данная концепция зиждется на принципах, заложенных в цепочках стоимости, цепочках поставок, глобальных продуктовых цепочках, кластерах и акторно-сетевой теории. Представители Манчестерской школы расширили понятие «глобальная товарная цепочка» в сторону производственной сети за счет более высокой степени взаимосвязанности. Д. Эрнст представил глобальные производственные сети как организационную инновацию, которая объединяет сквозь межфирменные и национальные границы отдельные цепочки стоимости при одновременном процессе интеграции вертикальных слоев участников сети [8]. Совокупность цепей поставок, имеющих горизонтальные связи между собой по соответствующим уровням, относится к понятию «сеть поставок». Сети поставок могут формироваться как со стороны поставщиков, так и со стороны потребителей. Логистическая сеть – это совокупность взаимосвязей между экономическими агентами, обеспечивающими движение товарно-материальных потоков в рамках сетей поставок.

Реализация конкурентных преимуществ компании возможна при формировании устойчивых партнерств и сетей долгосрочного сотрудничества среди множества агентов рынка, участвующих в создании продуктов и услуг [9]. Новый этап экономического роста, базирующийся на сервисной экономике, актуализирует задачи, решаемые в сфере логистики [10, 11]. Задачей сервисной логистики выступает удовлетворение запросов потребителей по заданным маркетингом характеристикам. Такой подход относят к понятию «маркетинговая логистика»,

которая обеспечивает инфраструктуру для реализации задач цепей поставок [12].

На выбор месторасположения производства влияет, в частности, доступ к транспортной инфраструктуре, позволяющей при минимальных издержках поставлять комплектующие и заниматься сбытом собственной продукции. Например, ориентированная на экспорт производимая продукция в регионах Балтийского бассейна тяготеет

к поставкам морским видом транспорта. С другой стороны, центральные регионы России ориентируются на имеющиеся альтернативные сухопутные маршруты сбыта товаров. Логистическая сеть, формируемая на основе транспортной инфраструктуры и системы взаимоотношений между грузоотправителями и перевозчиками, обеспечивает условия для реализации конкурентных преимуществ компании при сбыте продукции. Наличие

Таблица 1

Функции транспортно-логистической сети по уровням государственного управления [10; 11]

Уровень	Функции
Федеральный	<p>Формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного опережающего развития эффективной транспортной инфраструктуры</p> <p>Обеспечение доступности и качества транспортно-логистических услуг в области грузовых перевозок на уровне потребностей развития экономики страны</p> <p>Обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами</p> <p>Интеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны</p> <p>Повышение уровня безопасности транспортной системы.</p> <p>Снижение негативного воздействия транспортной системы на окружающую среду [9]</p>
Региональный	<p>Формирование секторов транспортно-логистических технологий в единой транспортной сети без разрывов и узких мест</p> <p>Обеспечение транспортных услуг на уровне, гарантирующем социальную стабильность, развитие межрегиональных связей и повышение надежности магистрального сообщения</p> <p>Эффективная реализация транзитного потенциала, приведение уровня качества и безопасности перевозок к мировым стандартам</p> <p>Модернизация и развитие транспортной на основе улучшения технического состояния транспортной инфраструктуры региона</p> <p>Повышение безопасности транспортной инфраструктуры, включая аэропорты, железнодорожные станции, автовокзалы и автостанции</p>
Муниципальный	<p>Увеличение пропускной способности улично-дорожной сети, строительство путепроводов и мостов, соединяющих изолированные участки транспортной сети городских агломераций</p> <p>Развитие улично-дорожной сети городов в увязке с развитием смежных федеральных трасс, а также региональных и муниципальных автодорог в пригородной зоне городских агломераций</p> <p>Комплексное сбалансированное развитие транспортной сети городских агломераций с приоритетом инфраструктуры транспорта общего пользования</p>

Составлено по: «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.».

недалеко расположенной портовой инфраструктуры или сухопутных международных транспортных коридоров создает возможности для экономического сотрудничества с удаленными регионами мира.

Отраслевым документом стратегического планирования в сфере транспорта является «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.» (ТС) [13]. Важный инструмент управления реализацией этой программы – увязка региональных и муниципальных стратегий и программ развития транспорта, а также транспортных разделов региональных программ социально-экономического развития с ТС.

Приоритетное направление государственной транспортной политики – комплексное развитие транспортных систем городских агломераций в тесной увязке интересов, целей и возможностей развития федеральных, региональных и муниципальных транспортных систем на основе транспортно-экономического баланса (таблица 1). Региональные транспортные стратегии призваны детализировать и уточнить

ряд мер и механизмов реализации ТС РФ до 2030 г. в регионах.

Приведенный в таблице 2 анализ доступности объектов дорожной инфраструктуры показывает, что многие малые города имеют непосредственное сообщение с региональными центрами на основе автомобильного и железнодорожного сообщения федерального или регионального значения. Лишь пять из представленных 49 городов находятся на удаленном расстоянии от железнодорожного и автомобильного сообщения регионального значения. Доступ к инфраструктуре позволяет не только осуществлять экономическую интеграцию с городскими агломерациями, но и развивать новые виды логистической деятельности.

Рассмотрим транспортно-логистические сети в Тульской и Владимирской областях (рис.1), Пермском крае и то, как на основе развития индустриальных парков расширяются возможности экономического роста малых городов.

Эти регионы находятся недалеко от Москвы, что повышает их инвестиционную привлекательность и благоприятствует размещению новых производств



Рис. 1. Карта муниципальных образований Владимирской области [17]

Таблица 2

Характеристика транспортно-логистических сетей малых городов Владимирской, Тульской областей и Пермского края [10; 11]

Малые города Владимирской обл.	Численность на 01.01.2015	Доступ к транспортной инфраструктуре	Малые города Тульской обл.	Численность на 01.01.2015	Доступ к транспортной инфраструктуре	Малые города Пермского края	Численность на 01.01.2015	Доступ к транспортной инфраструктуре
Курлово	6348	3***	Чекалин	964	3	Чермоз	3597	2
Костерево	8641	2**	Советск	7347	3	Чердынь	4674	2
Суздаль	9978	1*	Липки	9011	2	Усолье	5979	1
Судогда	10794	2	Болохово	9144	2	Оханск	7096	1
Камешково	12722	1	Белев	13448	1	Гремячинск	9430	1
Пороховец	13233	1	Венев	14198	1	Горнозаводск	11575	1
Струнино	13829	1	Плавск	15992	2	Александровск	13353	1
Петушки	13915	1	Ясногорск	15872	1	Очер	14091	3
Карабаново	14923	3	Суворов	17829	1	Красновишерск	15733	3
Меленки	14302	1	Киреевск	24911	1	Кизел	16642	2
Лакинск	14895	1	Климовск	26591	1	Нытва	18878	1
Покров	17762	1	Богородицк	31363	1	Губаха	21160	1
ЗАТО ¹ Радужный	18369	1	Ефремов	36773	1	Оса	21201	1
Собинка	18510	1				Верещагино	22328	1
Юрьев-Польский	19031	1				Кульмак	30739	2
Кяржач	27788	1				Чернушка	32687	1
Вязники	37846	1				Добрянка	33291	1
Кольчугино	44125	1				Чусовой	45719	1
18 городов			13 городов			18 городов		

* наличие автомобильных дорог федерального и регионального значения, железнодорожного сообщения;

** наличие автомобильных дорог регионального значения, железнодорожного сообщения;

*** удаленность от железнодорожного сообщения, автомобильных дорог федерального и регионального значения.

¹ ЗАТО – закрытое административно-территориальное образование. В соответствии с постановлением правительства РФ «Об утверждении перечня закрытых административных территориальных образований и расположенных на их территориях населенных пунктов» (с изменениями на 19 апреля 2017 г.), насчитывается 40 объектов.

Таблица 3

Ключевые экономические показатели [25; 26; 27]

Показатель	Владимир- ская обл.	Тульская обл.
Численность населения (январь 2016 г.)	1 397 168	1 506 446
Малые города, кол-во	18	13
Валовый региональный продукт, 2015 г., млн руб.	357 913	476 649
Рейтинг среди регионов ЦФО РФ по объему ВРП (2015 г.)	8	5
Количество индустриальных парков, всего заявленных (действующих) [10]	26 (4)	7 (1)
Объем перевозок автомобильным транспортом в 2015 г., млн т	2,6	4,9
Объем перевозок железнодорожным транспортом в 2015 г., млн т	1,7	11,7
Плотность автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального и местного значения с твердым покрытием (на конец 2016 г.; км дорог на 1000 км ² территории)	340	394

Составлено по: Росстат. www.gks.ru. (дата обращения: 20.07.2017).

крупных промышленных холдингов (таблица 3).

Владимирская область располагается в самом центре Восточно-Европейской долины, в 198 км от Москвы. Регион граничит и тесно взаимодействует с Московской, Ивановской,

Нижегородской, Рязанской и Ярославской областями. Соседние регионы являются экономически развитыми субъектами Федерации, что обеспечивает многосторонние связи Владимирской области по сырью и готовой продукции (рис. 2).



Рис. 2. Регионы Центрального федерального округа [17]

Во Владимирской области хорошо развита транспортная инфраструктура, что способствует развитию внешних связей. Владимирская область занимает важное место в системе международных перевозок России. Через Владимирскую область проходит панъевропейский транспортный коридор № 2, соединяющий ЦФО со странами Европы. В формируемой системе международных транспортных коридоров (МТК) на территории России панъевропейский транспортный коридор № 2 полностью включен в состав Транссиба и обеспечивает основные связи между Европой и Азией, пересекает всю территорию страны в широтном направлении, имеет протяженность свыше 12 тыс. км. Область служит транзитной зоной транспортных потоков из центра России на Урал, в Сибирь, что создает огромные преимущества в развитии зон, примыкающих к основным транспортным артериям и узлам. Основная транспортная артерия (железные и автодороги) проходит с запада на восток от Москвы на Владимир и далее на Нижний Новгород, Казань и Екатеринбург.

Характеристики объемов внешней торговли регионов представлены в таблицах 4–7. Выделены ведущие номенклатуры товаров, участвующих в экспортных и импортных операциях регионов, а также ключевые направления

осуществления внешнеторговой деятельности. Значения представлены в процентном соотношении. Первые два столбца характеризуют структуру торговли, последний – изменение за рассматриваемый период (2015–2016 гг.). Соответственно, сумма по первым столбцам формирует 100 %, а отрицательные значения последнего столбца говорят о снижении торговли по рассматриваемой товарной номенклатуре или направлению.

Основной экспортируемой товарной категорией выступают стекло и изделия из него (10 %). Крупный стекольный завод в Гусь-Хрустальном и ряд других заводов, специализирующихся на стеклотаре, обеспечивают ведущие позиции региона в стекольной отрасли. Основной импорт приходится на пластмассы и изделия из них, поставляемые из Германии и Нидерландов (таблица 4).

Партнерами по экспорту выступают страны ЕАЭС (Казахстан и Беларусь), а также Индия. В 2016 г. ключевым направлением импорта для региона стал Китай, опередив Германию и Италию (таблица 5).

Промышленный комплекс Владимирской области характеризуется многоотраслевой направленностью, до 90 % выпускаемой продукции относится к обрабатывающим видам производства. В регионе представлены компании металлургической, станкостроительной,

Таблица 4

Товарные категории внешней торговли Владимирской области [28]

ТОП-5 категорий экспорта (2016), %				ТОП-5 категорий импорта (2016), %			
	2015	2016	прирост		2015	2016	прирост
Секретный код	26	22	–22	Пластмассы и пластмассовые изделия	17	17	–2
Стекло и стеклянные изделия	9	10	9	Какао и какаопродукты	15	14	–9
Реакторы ядерные	7	10	27	Реакторы ядерные	16	13	–21
Древесина и древесные изделия	9	10	6	Игрушки	4	7	59
Какао и какаопродукты	6	8	25	Органические хим. соединения	5	5	11
Прочие	43	41	–11	Прочие	43	45	3
Всего	100	100	–6	Всего	100	100	–1

Источник: ФТС РФ <http://stat.customs.ru> (дата обращения: 20.07.2017).

Таблица 5

Внешнеторговые партнеры Владимирской области [28]

ТОП-5 экспортеров (2016), %				ТОП-5 импортеров (2016), %			
	2015	2016	прирост		2015	2016	прирост
Казахстан	14	14	18	Китай	14	16	21
Индия	16	13	3	Германия	17	15	0
Беларусь	12	13	–8	Италия	12	14	–23
Алжир	1	9	23	Турция	8	7	–16
Украина	7	4	7	Нидерланды	9	6	–12
Прочие	50	48	–20	Прочие	41	41	2
Всего	100	100	–6	Всего	100	100	–1

Источник: ФТС РФ <http://stat.customs.ru> (дата обращения: 20.07.2017).

химической, стекольной и фармацевтической видов отраслей. Высоко развито производство электроники, современных изоляционных и строительных материалов, текстильное и швейное производство. На долю области приходится свыше 46 % российского выпуска сортовой посуды, 25 % оконного стекла и 21 % стеклотары [14].

К действующим промышленным паркам относятся «Струнино» (г. Струнино, 13 541 чел.), «Ставрово» (поселок городского типа, пгт Ставрово, 7 529 чел.), Владимирский и Ставровский промышленные парки.

Промышленный парк «Струнино» становится ключевым звеном в развитии

экономики всего Александровского района [15]. Транспортная доступность на основе автомобильного и железнодорожного транспорта создает привлекательность для размещения производственных и логистических структур. Парк примыкает к Ярославскому шоссе (М8) и Большому транспортному кольцу (А107), связывающему Москву, Владимир, Иваново, Ярославль, Нижний Новгород. Вблизи находятся станции Струнино (1 км) и Александров (14 км) Московской железной дороги. Ближайшие рынки сбыта: Москва (98 км), Владимир (125 км), Ярославль (178 км), Нижний Новгород (370 км) и Иваново (215 км) (рис. 3).



Рис. 3. Промышленный парк «Струнино» [17]



Рис. 4. Индустриальный парк «Ставрово» [17]

«Ставрово» располагается в пгт Собинского района (7,5 тыс. чел.). Парк имеет выгодное расположение: в 160 км от Москвы по ФАД-М7 «Волга», в 13 км от трассы Москва – Нижний Новгород. В 16 км находится железнодорожная станция Колокша на линии Владимир – Москва.

Владимирский индустриальный парк расположен на площадях бывшего завода «Автоприбор». Расстояние от парка до МКАД – 140 км. Внешняя инфраструктура Владимирского индустриального парка включает в себя железнодорожные ветки нормальной колеи, примыкающие к ветке ОАО «Владимирский химический завод» и к Горьковской железной дороге, автомобильные дороги с твердым покрытием. Основой парка являются предприятия, работающие

в автокомпонентной отрасли. В качестве резидента выступает совместное российско-израильское предприятие ООО АРК [16].

Ставровский индустриальный парк находится в 25 км от Владимира и 160 км от Москвы (рис. 4). Ключевой член парка – ПАО «Ставровский завод автотракторного оборудования» [17].

Тульская область граничит на севере и северо-востоке с Московской областью, расстояние до Москвы – 195 км. По территории Тульской области проходят две федеральные трассы (М2 «Крым» и М4 «Дон»), а также дороги регионального значения (Р132 «Калуга – Рязань», Р140 «Тула – Новомосковск»).

Тульская область экспортирует в основном черные металлы (таблица 6);

Таблица 6

Товарные категории внешней торговли Тульской области [28]

ТОП-5 экспортируемых категорий (2016), %				ТОП-5 импортируемых категорий (2016), %			
	2015	2016	прирост		2015	2016	прирост
Секретный код	37	42	11	Реакторы ядерные	16	24	62
Черные металлы	19	18	–10	Пластмассы и изделия из них	14	12	–2
Удобрения	19	15	–23	Жиры и масла животного происхожд.	7	9	52
Органические хим. соединения	7	6	–12	Съедобные фрукты и орехи	6	7	15
Продукты неорганической химии	3	2	–33	Вата, войлок, фетр и пр.	4	4	8
Прочие	14	16	6	Прочие	54	44	–10
Всего	100	100	–3	Всего	100	100	9

Источник: ФТС РФ <http://stat.customs.ru>. (дата обращения: 20.07.2017).

Таблица 7

Внешнеторговые партнеры Тульской области [28]

ТОП-5 экспортеров (2016), %				ТОП-5 импортеров (2016), %			
	2015	2016	прирост		2015	2016	прирост
Алжир	4	13	205	Германия	16	15	1
США	15	11	–32	Китай	12	13	25
Ирак	22	10	–58	Индонезия	8	10	33
Индия	4	7	47	Япония	1	6	572
Эфиопия	0	6	100	Италия	4	5	32
Прочие	54	54	–3	Прочие	59	50	–6
Всего	100	100	–3	Всего	100	100	9

Источник: ФТС РФ <http://stat.customs.ru> (дата обращения: 20.07.2017).

на долю США, Испании и Германии приходится 67 % экспорта данной продукции.

Ключевой партнер по импорту – Германия (за счет поставок товаров из категории «Реакторы ядерные, котлы, оборудование и механические устройства и их части»; в 2016 г. Китай в два раза увеличил экспорт тех же видов товаров (таблица 7).

В рейтинге Агентства стратегических инициатив Тульская область занимает четвертую позицию, уступая лишь Татарстану, Чувашии и Москве по уровню инвестиционной привлекательности [18]. Тульская область исторически является центром российской оборонной промышленности, а Тула считается оружейной столицей. Предприятия региона производят около 2,5 % продукции оборонного назначения от общего объема производства в нашей стране. В регионе функционирует более 30 оборонных предприятий (разработчики и производители).

В регионе находится ведущий мировой поставщик товарного чугуна, предприятие УК «Промышленно-металлургический холдинг» (УК ПМХ), ПАО «Тулачермет». По итогам 2016 г. был достигнут рекордный объем производства: 2,21 млн т (+7,4 % к предыдущему году) [19].

В Щекинском районе Тульской области действует индустриальный парк

«Первомайский» (пгт Первомайский, 9 440 чел.), использующий преимущества наличия готовой инфраструктуры крупного предприятия – Первомайского филиала ОАО «Щекиноазот». «Первомайский» располагается вблизи от федеральной автострды Москва – Симферополь и недалеко от железнодорожной станции Казначеевка. Имеются подъездные пути с погрузочно-разгрузочными площадками (рис. 5).

В 2016 г. в регионе создана особая экономическая зона (ОЭЗ) «Узловая» (г. Узловая, 52 377 чел.). Здесь работают предприятия легкой и химической промышленности. Инфраструктурное обеспечение благоприятствует развитию ОЭЗ. Вблизи находятся автомобильная трасса федерального значения М4 «Дон», автомобильная дорога общего пользования регионального значения Р140 (Тула – Новомосковск, железнодорожная станция Маклец, электрическая подстанция «Северная» и др. [20].

Индустриальный парк «Узловая» располагается между основными трассами региона, которые связывают Тулу с крупными промышленными городами Новомосковск и Узловая (рис. 6) [21]. Также развивается индустриальный парк «Венев» (170 км от Москвы).

В регионе развивается креативный кластер «Октава». Согласно графику, в 2017 году на базе завода планируется запуск первой стадии



Рис. 5. Индустриальный парк «Первомайский» [17]



Рис. 6. Индустриальный парк «Узловая» [15]

ключевых проектов – это Высшая техническая школа, Музей станкостроения, «Кванториум», «Октава 2.0», коворкинг (co-working – оборудованные зоны для совместной работы), общественные пространства [22]. Завод ПАО «Октава» является лидером в сфере производства акустической техники как для военной и гражданской промышленности [23].

На территории Пермского края располагается 18 малых городов

с преимущественно промышленной специализацией, объединенных транспортно-логистическими сетями (рис. 7).

Среднее расстояние между населенными пунктами в анализируемых субъектах РФ [25; 26; 27] представлено в таблице 7.

Данный показатель в Пермском крае вдвое превышает значение во Владимирской и Тульской областях, что свидетельствует о большей протяженности дорог.

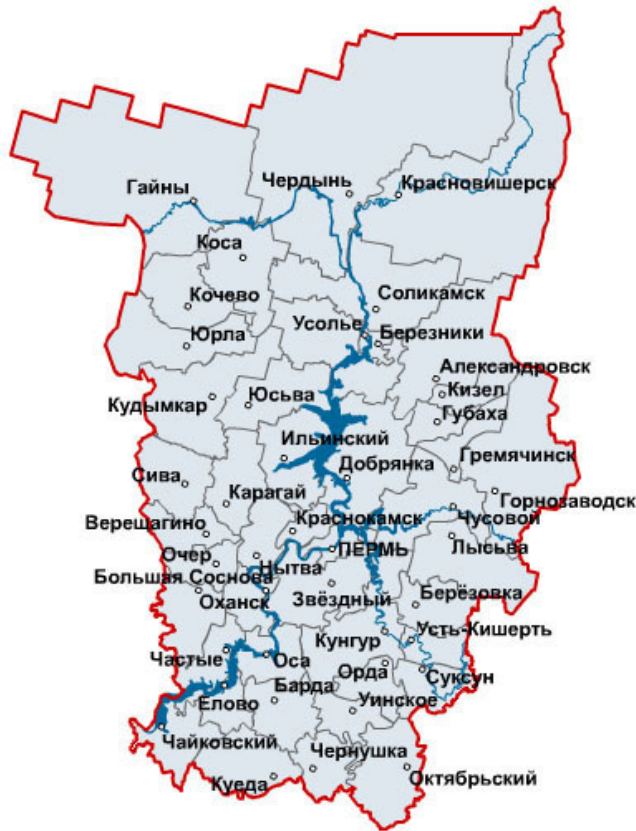


Рис. 7. Транспортно-логистические сети малых городов Пермского края [17]

Таблица 7

Субъект РФ	Площадь территории, км ²	Число городских поселений	Среднее расстояние между населенными пунктами
Владимирская область	29084	23	35,56
Тульская область	25679	19	36,76
Пермский край	160200	34	68,64

На территории Пермского края функционируют несколько индустриальных парков: «Осенцы» (Пермь), «Красный» (Краснокамск), «Парма» (Пермь), целью которых является оптимизация промышленных площадей и повышение эффективности промышленной деятельности (рис. 8).

Таким образом, создание благоприятствующих экономической интеграции условий для производственной деятельности повышает привлекательность населенного пункта. Доступ к ресурсам на основе повышения мобильности как в отношении входящих товаров, так и готовой продукции становится возможным при интеграции малых городов в логистические сети. Доступ к транспортной инфраструктуре, автомагистралям и железнодорожным путям общего пользования, наличие путей необщего пользования, относящихся к крупному промышленному предприятию, оказывают положительное влияние на инвестиционную привлекательность регионального центра.

Анализ промышленной и транспортной инфраструктуры Тульской и Владимирской областей, Пермского края

способствует формированию сетевых организационных структур, которые позволяют развивать имеющийся потенциал и расширять взаимодействие с региональным центром (г. Пермь), а также включать депрессивные территории в логистические сети.

Транспортно-логистические сети Пермского края направлены на обслуживание промышленных предприятий, однако большая протяженность дорог и удаленность от крупных федеральных трасс малых городов затрудняет эффективное распределение ресурсов и диверсификацию экономики. Оптимизация промышленных территорий на базе заводов путем создания технопарков идет более медленными темпами, чем планировалось, поскольку транспортная доступность не соответствует запланированным объемам поставок и не обеспечивает удобство для потребителей из других регионов (кроме города Пермь, который является крупным региональным центром).

Развитие промышленных производств тяготеет к имеющейся транспортной инфраструктуре. Развитие индустриальных парков в малых городах



Рис. 8. Индустриальный парк «Осенцы» [17]

муниципальных образований Владимирской и Тульской областей создает благоприятные условия для размещения промышленных производств. Наличие подведенной транспортной инфраструктуры, интегрированной в сети на более высоком уровне, формирует

возможности для включения малых городов в эффективные логистические сети, что позволит повысить доступность для потребителей продукции и услуг, благоприятно скажется на развитии производственной и социальной инфраструктуры. ■

Литература

1. Бондарская О. В. Малый город как пространственная социально-экономическая система // Социально-экономические явления и процессы. 2014. № 7. С. 17–22. ISSN 1819-8813.
2. Евтодиева Т. Е. Сравнительная характеристика системной и сетевой форм организации логистики // ПСЭ. 2011. № 1. С. 169–170.
3. LPI Report 2016. URL: https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI_Report_2016.pdf (дата обращения: 1.08.2017).
4. Feenstra R. C. Integration of Trade and Disintegration of Production in the Global Economy // Journal of Economic Perspectives. № 12 (4). Pp. 31–50.
5. Gene M. Grossman & Esteban Rossi-Hansberg. Trading Tasks: A Simple Theory of Offshoring // American Economic Review, American Economic Association. 1978. Vol. 98(5). Pp. 97.
6. Stadtler H., Sringer C. Supply Management and Advanced Planning. – Berlin Heidelberg. P. 9–10.
7. Henderson J., Dicken P., Hess M., Coe N., Wai-Chung Yeung H. Global production networks and the analysis of economic development // Review of International Political Economy. 2002. Pp. 436–464.
8. Gaurav A. Park, Patrick Low N., Supply Chain. Perspectives and Issues // A Literature Review Fung Global Institute and World Trade Organization. 2013. Pp. 42–51.
9. Сетевой бизнес и кластерные технологии / Науч. ред. В. П. Третьяк, М. Ю. Шерешева. М. : ИД «Высшая школа экономики», 2011.
10. Дунаев О. Н., Нестерова Д. В. Логистика как инструмент перехода к новому этапу экономического роста // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 6 (49). С. 28–33. ISSN 1994-831X.
11. Дунаев О. Н. Логистика – технология управления для нового этапа экономического роста // Логистика и управление цепями поставок. 2015. № 6 (71). С. 84–90. ISSN 1727-6349.
12. Кирюков С. И. Эволюция теории управления маркетинговыми каналами // Вестник С.-Петерб. университета. Сер. : «Менеджмент». 2011. № 2. С. 95–112. ISSN 1605-7953.
13. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года : проект. – М., 2013.
14. Статистика внешней торговли. ФТС РФ. URL: <http://stat.customs.ru> (дата обращения: 1.08.2017).
15. Индустриальные парки. URL: <http://www.prompark.ru/> (дата обращения: 1.08.2017).
16. Резиденты Владимирского индустриального парка. URL: <http://vipark.ru/index.php/rezidents.html>. (дата обращения: 1.08.2017).
17. Индустриальные парки России. URL: <http://www.prompark.ru/> (дата обращения: 1.08.2017).
18. Национальный рейтинг. URL: <https://asi.ru/investclimate/rating/> (дата обращения: 1.08.2017).
19. Промышленно-металлургический холдинг, операционные результаты за 12 месяцев 2016 г. URL: <http://www.metholding.ru/press/releases/operatsionnye-rezultaty-pmkh-za-4-kvartal-i-12-mesyatsev-2016-goda/> (дата обращения: 1.08.2017).
20. ООЗ «Узловая». URL: <http://uzlovaya.ru/#news> (дата обращения: 1.08.2017).
21. Индустриальные парки и технопарки России. Индустриальный парк «Узловая». URL: <http://russiaindustrialpark.ru/industrialnyu-park-uzlovaia> (дата обращения: 1.08.2017).
22. Тула: проекты кластера на базе завода «Октава» запустят в 2017 г. URL: <https://regnum.ru/news/it/2217605.html> (дата обращения: 1.08.2017).

23. ПАО «Октава». URL: <http://www.oktavatula.ru/> Дата обращения: 20.07.2017 г.
24. Отчет за 2016 год о реализации Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года. URL: https://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203# (дата обращения: 1.08.2017).
25. Статистические данные Росстата. URL: www.gks.ru (дата обращения: 1.08.2017).
26. ВладимирСтат. URL: www.vladimirstat.gks.ru (дата обращения: 1.08.2017).
27. ТулаСтат. URL: www.tulastat.gks.ru (дата обращения: 1.08.2017).
28. Статистика внешней торговли ФТС РФ. URL: <http://stat.customs.ru> (дата обращения: 1.08.2017).

Literature

1. Bondarskaya O.V. Small city as the spatial socio-economic system [alyy gorod kak prostranstvennaya sotsial'no-ekonomicheskaya Sistema] // Socio-economic phenomena and processes. 2014. № 7. Pp.17–22. ISSN 1819-8813.
2. Evtodieva T. E Comparative characteristics of the system and network forms of logistics organization [Sravnitel'naya kharakteristika sistemnoy i setevoy form organizatsii logistiki] // PSE. 2011. № 1. Pp. 169–170.
3. LPI Report 2016. URL: https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI_Report_2016.pdf (reference date: 1.08.2017).
4. Feenstra R. C. Integration of Trade and Disintegration of Production in the Global Economy // Journal of Economic Perspectives. № 12 (4). Pp. 31–50.
5. Gene M. Grossman & Esteban Rossi-Hansberg. Trading Tasks: A Simple Theory of Offshoring // American Economic Review, American Economic Association. 1978. Vol. 98(5). Pp. 97.
6. Stadtler H., Sringer C. Supply Chain Management and Advanced Planning. – Berlin Heidelberg. P. 9–10.
7. Henderson J., Dicken P., Hess M., Coe N., Wai-Chung Yeung H. Global production networks and the analysis of economic development // Review of International Political Economy. 2002. Pp. 436–464.
8. Gaurav A. Park, Patrick Low N., Supply Chain. Perspectives and Issues // A Literature Review Fung Global Institute and World Trade Organization. 2013. Pp. 42–51.
9. Network business and cluster technologies / Scientific. Ed. V.P. Tretyak, M. Yu. Sheresheva. M. : Publishing House «Higher School of Economics», 2011. Setevoy biznes i klasternyye tekhnologii / Nauch. red. V.P. Tretyak, M. YU. Sheresheva. M. : ID «Vysshaya shkola ekonomiki», 2011.
10. Dunaev O.N., Nesterova D.V. Logistics as an instrument of transition to a new stage of economic growth [Logistika kak instrument perekhoda k novomu etapu ekonomicheskogo rosta] // Transport of the Russian Federation. 2013. № 6 (49). Pp. 28–33. ISSN 1994831X.
11. Dunaev O.N. Logistics – management technology for a new stage of economic growth [Logistika – tekhnologiya upravleniya dlya novogo etapu ekonomicheskogo rosta] // Logistics and supply chain management. 2015. № 6 (71). Pp. 84–90. ISSN 1727-6349.
12. Kiryukov S.I. Evolution of marketing channel management theory [Evolutsiya teorii upravleniya marketingovymi kanalami] // Bulletin of St. Petersburg University. Ser. : «Management». 2011. № 2. Pp. 95–112. ISSN 1605-7953.
13. Transport strategy for the period up to 2030 [Transportnaya strategiya RF na period do 2030 goda] : the project. – M., 2013.
14. Statistics of the foreign trade [Statistika vneshney trgovli]. FCS of the Russian Federation. URL: <http://stat.customs.ru> (reference date: 1.08.2017).
15. Industrial parks [Industrial'nyye parki]. URL: <http://www.prompark.ru/> (reference date: 1.08.2017).
16. Residents of the Vladimir's industrial park [Rezidenty Vladimirskogo industrial'nogo parka]. URL: <http://vipark.ru/index.php/rezidents.html>. (reference date: 1.08.2017).
17. Industrial parks of Russia [Industrial'nyye parki Rossii]. URL: <http://www.prompark.ru/> (reference date: 1.08. 2017).
18. National rating [Natsional'nyy reyting]. URL: <https://asi.ru/investclimate/rating/> (reference date: 1.08. 2017).
19. Industrial Metallurgical Holding, operating results for the 12 months of 2016 [Promyshlennometallurgicheskiy kholding, operatsionnyye rezul'taty za 12 mesyatsev 2016 g.] URL:

- <http://www.metholding.ru/press/releases/operatsionnye-rezultaty-pmkh-za-4-kvartal-i-12-mesyatsev-2016-goda/> (reference date: 1.08.2017).
20. Special economic zone Uzlovaya [OEZ «Uzlovaya»]. URL: <http://uzlovaya.ru/#news> (reference date: 1.08. 2017).
 21. Industrial parks and technological park in Russia. Industrial Park «Uzlovaya» [Industrial'nyye parki i tekhnoparki Rossii. Industrial'nyy park «Uzlovaya»]. URL: <http://russiaindustrialpark.ru/industrialnyy-park-uzlovaya> (reference date: 1.08.2017).
 22. Tula: cluster-based projects at the plant «Octave» launched in 2017 [Tula: proyekty klastera na baze zavoda «Oktava» zapustyat v 2017 g.] URL: <https://regnum.ru/news/it/2217605.html> (reference date: 01.08.2017).
 23. PJSC «Octave» [PAO «Oktava»]. URL: <http://www.oktavatula.ru/> (reference date: 20.06.2017).
 24. Report for 2016 on the implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 [Otchet za 2016 god o realizatsii Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda]. URL: https://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203# (reference date: 1.08.2017).
 25. Statistical data of Rosstat [Statisticheskiye dannyye Rosstata]. URL: www.gks.ru (reference date: 1.08. 2017).
 26. VladimirStat. URL: www.vladimirstat.gks.ru (reference date: 1.08.2017).
 27. TulaStat. URL: www.tulastat.gks.ru (reference date: 1.08.2017).
 28. Foreign trade statistics of the FCS of the Russian Federation [Statistika vneshney trgovli FTS RF]. URL: <http://stat.customs.ru> (reference date: 1.08.2017).

Качество иллюстраций соответствует качеству
предоставленных оригиналов.

Статья сдана в редакцию 2 августа 2017 года

Управление. Экономика

УДК 314.7.044

К. В. Корсаков

Необходимость социальной адаптации, интеграции и аккультурации трудящихся-мигрантов в Российской Федерации

UDC 314.7.044

K. V. Korsakov

The need for social adaptation, integration and acculturation of migrant workers in the Russian Federation

Аннотация

Статья посвящена социально-правовой и экономикоресурсной проблеме, связанной с большими объемами неконтролируемой трудовой миграции в Российскую Федерацию. В настоящее время эта проблема отчетливо проявляется во многих отраслях экономики нашего государства. Не миновала она и транспортную отрасль, что вызывает особое беспокойство, так как функционирование этой отрасли напрямую связано с безопасностью людей, пользующимися транспортными услугами. Нелегальная трудовая миграция практически «окупировала» сферу автомобильного транспорта; из-за

нехватки рабочей силы это проявляется и в сфере железнодорожного транспорта. В России этот процесс сформировал подпольный рынок нелегальных услуг для трудящихся-мигрантов, распространились различные незаконные формы эксплуатации и криминального насилия в отношении мигрантов, фиксируются акты преступной деятельности, совершенные самими мигрантами, в обществе усиливаются негативное восприятие и нетерпимость по отношению к трудящимся-мигрантам. Все это обостряет межнациональные и межконфессиональные отношения, увеличивает уровень ксенофобии и национализма.

Рассматриваемая автором статьи научно-практическая проблема усугубляется низкой степенью общественной адаптации, аккультурации и интеграции трудящихся-мигрантов в российскую социально-культурную среду из-за недостаточного знания ими русского языка, культуры, основ права, обычаев и традиций, а равно отсутствием межкультурного диалога и информационного обмена, масштабных общероссийских проектов и программ, направленных на помощь и поддержку трудящихся-мигрантов. Для успешной социальной интеграции, аккультурации и адаптации трудящихся-мигрантов в России предлагается

Константин Викторович Корсаков, канд. юрид. наук, доцент; Институт философии и права УрО РАН; Екатеринбург, Россия. E-mail: korsakovekb@yandex.ru.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 17-03-50021 «Научное изучение проблем социальной адаптации, интеграции и аккультурации трудящихся-мигрантов в Российской Федерации».

Статья рекомендована к печати О. А. Пучковым, д-ром юрид. наук, профессором; кафедра «Теория государства и права» Уральского государственного юридического университета. E-mail: argun061@gmail.com.

Konstantin Viktorovich Korsakov, PhD in Law, associate professor; Institute of Philosophy and Law of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia. E-mail: korsakovekb@yandex.ru.

This article was prepared with the support of the grant of RFFR № 17-03-50021 «The scientific study of the problems of social adaptation, integration and acculturation of migrant workers in the Russian Federation».

Article is recommended for printing by O. A. Puchkov, DSc in Law, professor; «Theory of the State and Right» department of the Ural state legal university. E-mail: argun061@gmail.com. (проверить с переводчиками)

создавать multifunctional центры содействия трудовой миграции, оснащенные соответствующей материальной базой, инфраструктурой и функционалом. Эти центры должны включать в себя курсы изучения русского языка, российской истории, основ права, поведенческой этики и культуры, а также уполномоченные и действующие на основании миграционного законодательства общественные приемные по социально-правовой поддержке и психолого-консультативной помощи нуждающимся трудящимся-мигрантам.

В статье указывается на необходимость повышать интеграционный потенциал принимающего трудящихся-мигрантов российского общества путем межкультурного диалога и подчеркивается, что в нашей стране имеются существенные упущения, связанные с недостаточным участием в реализации миграционной политики муниципальных органов власти, некоммерческих неправительственных организаций и социально ответственных частных коммерческих структур. По мнению автора, эти институты, в отличие от федерального центра, максимально приближены к своим территориям и их проблемам, а потому способны постоянно отслеживать настроения местного населения и оперативно на них реагировать, разрешать конфликтные ситуации и укреплять идеи толерантности.

Ключевые слова: трудящиеся-мигранты, трудовая миграция в России, иностранные работники, защита прав мигрантов, социальная адаптация мигрантов,

миграционная политика, регулирование вопросов миграции.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-80-87

Annotation

The article is devoted to social, legal and economic-resource problem with the large volumes of uncontrolled migration to the Russian Federation. Currently, this problem is clearly seen in many sectors of the economy of our state. Not passed it, and the transport sector, which is of particular concern, since the functioning of this industry is directly related to the safety of people using transport services. In Russia this process has formed an underground market for illegal services for migrant workers, spread various illegal forms of exploitation and criminal violence against migrants, recorded acts of criminal activity committed by the migrants themselves in society reinforces negative perceptions and intolerance towards migrant workers. All this exacerbates interethnic and interfaith relations, increases the level of xenophobia and ethnicism.

Considered by the author of scientific-practical problem is compounded by a low degree of social adaptation, acculturation and integration of migrant workers in the Russian socio-cultural environment due to insufficient knowledge of Russian language and culture, the foundations of law, customs and traditions, as well as lack of intercultural dialogue and information exchange, large-scale nationwide projects and programs designed to help and support migrant workers.

For successful social integration, acculturation and adaptation of migrant workers in Russia are invited to create multifunctional centers for the promotion of labor migration, equipped with the appropriate material resources, infrastructure and functionality.

These centers should also include courses of Russian language, Russian history, the foundations of law, behavioral ethics and culture, as well as authorized and operating on the basis of immigration legislation public reception on social and legal support, psychological and counseling to needy migrant workers.

The article points to the need to increase the integration capacity of the receiving migrant workers Russian society through intercultural dialogue and stressed that in our country there are significant omissions related to the lack of participation in the implementation of the migration policy of municipal authorities, non-profit non-governmental organizations and socially responsible private commercial structures. According to the author, these institutions, unlike the federal government, as close as possible to their territories and their problems, and therefore are able to constantly monitor the mood of the local population and quickly respond to them, resolve conflict and strengthen the idea of tolerance.

Key words: migrant workers, labor migration in Russia, foreign workers, protection of migrants rights, social integration of migrants, Migration policy, the regulation of migration issues.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-80-87

В России объективно сложилась тяжелая трудоворесурсная ситуация, связанная с острой нехваткой трудовых человеческих ресурсов, рабочей силы. Согласно официальным прогнозам Федеральной службы государственной статистики России, именно на 2017–2022 гг. придется самый существенный провал в численности работоспособного населения нашей страны: оно сократится примерно на 4,5–5 млн человек, и это при том, что за прошлый темпоральный отрезок – 2011–2016 гг. – оно уже уменьшилось почти на 4 млн.

Ростат прогнозирует, что сокращение работоспособной части населения затормозится только после 2025 г. и будет составлять до 1 млн человек за пятилетний период. Однако такое улучшение будет наблюдаться временно – лишь до 30-х годов XXI века, после чего в российском государстве вновь начнет такой же острый дефицит рабочей силы, что и сейчас [9, с. 42].

Такая ситуация требует привлечения рабочей силы из стран зарубежья, представленной трудящимися-мигрантами, а они и составляют самую большую часть миграционного трафика. Об этом говорит ежегодное число оформляемых разрешений на работу и патентов: вплоть до своего упразднения Федеральная миграционная служба Российской Федерации выдавала около 4 млн разрешений на работу и патентов в год. Число же нелегальных мигрантов в силу эффекта латентности и отсутствия возможности точного подсчета колеблется по оценкам экспертов-социологов от 8 до 10 млн (расчеты основаны на объемах денежных переводов, осуществляемых трудящимися-мигрантами) [8, с. 44].

Подавляющую часть (более 90 %) въезжающих в Россию работников-мигрантов (в российской научной литературе понятия «трудящийся-мигрант» и «работник-мигрант» используются как тождественные) – это граждане Таджикистана, Узбекистана, Киргизии, Казахстана и Украины [8, с. 45].

По количеству работающих как на законных основаниях, так и нелегально трудящихся-мигрантов Россия занимает второе место в мире после США [11, с. 116]. В США сейчас такие же острые проблемы в сфере незаконной миграции, в частности, потому, что нелегальная миграция из Южной и Центральной Америки тесно связана с нарко-трафиком. Большие средства, которые США тратят на защиту и укрепление государственной границы, относятся к противодействию контрабанде наркотиков и снижению уровня незаконной миграции.

Но Россия получает и будет получать и дальше немалую экономическую выгоду от созидательной деятельности трудящихся-мигрантов (так, например, крупные государственные проекты – подготовка саммита АТЭС (АРЕС) во Владивостоке на острове Русский и Зимней олимпиады 2014 г. в Сочи, строительство нефтепроводов, газопроводов, транспортных магистралей, мостов, подготовка к Чемпионату мира по футболу 2018 г. и т. п. реализуются с активным привлечением со стороны государства труда иностранных рабочих).

Работники-мигранты – это не только мощный трудовой ресурс, но и существенный источник для увеличения численности временного населения, что позитивно сказывается на российской экономике, финансовой системе и демографии. Мигранты оказываются участниками товарно-денежных отношений, стимулируют развитие торговли, сферы работ и услуг, аренды жилья, кредитно-банковской сферы и т. д. Многие трудятся в сфере транспорта и пассажирских перевозок, в частности, в мегаполисах и крупных городах России большую часть водителей маршрутных автобусов и такси составляют именно трудящиеся-мигранты.

Мигранты выступают и потенциальными гражданами нашего многонационального государства, так как в конституционном и гражданском законодательстве России предусмотрена возможность как постоянного проживания

для иностранцев, так и принятия ими гражданства по истечении определенного времени и при соблюдении установленных в законе требований и условий.

Явление незаконной трудовой миграции характерно для всех мигрантоемких стран, но в России ее уровень приобрел социально неприемлемый и опасный характер. Одно из главных отличий незаконной миграции в России в условиях безвизового режима с государствами Средней Азии (в сравнении с другими принимающими трудящихся-мигрантов странами) – незаконная занятость мигрантов в первую очередь в теневом (нелегальном) секторе экономики. Ущерб, наносимый российскому бюджету от непоступления налогов вследствие нелегальной занятости трудящихся-мигрантов, примерно в шесть раз превышает доходы бюджета от их легального труда, а в области незаконной трудовой миграции ежегодно проворачивается почти 80 млрд руб. [10, с. 112].

Заработок же самих мигрантов-нелегалов составляет малую толику, а все остальное – это огромные доходы противоправно действующих работодателей, коррумпированных должностных контролирующих органов и криминальных структур. Средства, поступающие в преступные сообщества, тратятся на криминальную деятельность, в том числе экстремистскую и террористическую, включая финансирование таких террористических преступных группировок и бандитских формирований, как «Исламское государство» (ИГИЛ, ДАИШ), Хизб ут-Тахрир, Аль-Каида и др.

В различных регионах России идет активный процесс образования субкультурных мигрантских анклавов, в основном на окраинах и в окрестностях городов-миллионеров, который можно обозначить терминами «сегрегация» и «геттоизация» [4, с. 88]; расширяется рынок теневых посреднических услуг в сфере трудовой миграции, растут коррупция и злоупотребления в структурах и органах, занимающихся миграционными вопросами, при очевидной неразвитости

институтов гражданского общества, гражданской активности и традиций общественного контроля в этой области социальных отношений.

По результатам социологического опроса 1000 жителей Свердловской области, проблема незаконной миграции беспокоит и волнует большинство наших граждан (77,4% респондентов), причем немалая их часть (48,1%) связывает с ней рост уровня преступности и экстремизма, а другая часть – снижение зарплат рабочих и рост безработицы (39,7%). Существенная часть (43,9%) считает, что нет никакой необходимости в трудящихся-мигрантах, а 68,8% опрошенных видят чрезмерным присутствие мигрантов в регионе. 72,4% респондентов высказались за идею введения визового режима с государствами Средней Азии, Азербайджаном, Грузией и Арменией.

Использование в России дешевой рабочей силы – мигрантов-нелегалов – сохраняет крайне низкий уровень оплаты, тормозит рост производительности труда, поощряет нечестную конкуренцию на рынке рабочей силы, а равно снижает во многих регионах страны возможности занятости представителей автохтонного населения на работах, не требующих высокого уровня образования и высокой квалификации. Во многом из-за этого сегодня в России заметно возрастает межнациональная напряженность, обостряются межрелигиозные противоречия, мигранто- и ксенофобия, бытовой национализм и шовинизм [1, с. 65].

С другой же стороны, большинство гастарбайтеров не может обеспечить легальный статус, что провоцирует их криминализацию, маргинализацию, обнищание и виктимизацию. Другими словами, грубо нарушаются их права, интересы и свободы, гарантированные Международной конвенцией о защите прав всех трудящихся-мигрантов и членов их семей [5, с. 51; 6 с. 72]; мигранты не защищены от криминального обмана, физического и психического насилия, невыплаты зарплаты,

криминальной эксплуатации вплоть до принудительного и рабского труда, гомотрафика – торговли людьми [3, с. 20]. Все эти негативные явления и процессы наряду с сохраняющимся с начала XX столетия низким уровнем социального обеспечения и юридической защиты естественным образом влекут подозрительность, дистанцированность, настороженность, недоверчивость, озлобленность, неприязненное и негативное отношение к россиянам со стороны трудящихся-мигрантов, оказывающихся один на один с трудными жизненными ситуациями.

Российские криминологи фиксируют увеличение социальных конфликтов на почве межнациональных отношений (наиболее резонансные из них произошли в Москве, Кондопоге, Владивостоке, Санкт-Петербурге, Сыктывкаре). Самая часта причина – великое множество на улицах российских городов гастарбайтеров, придерживающихся других поведенческих стандартов, правил и обыкновений, имеющих другую внешность, общающихся на другом языке. Эти многочисленные факторы в условиях экономического кризиса повышают степень национальной нетерпимости и ксенофобии, особенно среди малообразованной и люмпенизированной части российского населения, приводят к поддержке праворадикальных сообществ и националистических движений, к антимигрантским настроениям, «русским маршам», лозунгам вроде «Россия – для русских!» и иным протестным радикальным формам.

Очень часто на вполне законопослушных трудящихся-мигрантов из Средней Азии как на хорошо различимых внешне иноземцев часть россиян переносит негативные установки и эмоции, вызываемые у них преступной деятельностью северокавказских террористов, смертников, бандитов, ваххабитов и криминальных сообществ, к которым первые отношения не имеют. А отечественные СМИ (зачастую не стесняясь) формируют отрицательный образ трудящихся-мигрантов как виновников

многих российских проблем, в частности, высокой преступности. Официальная же уголовная статистика говорит об обратном [2, с. 70].

Действительно, приток в нашу страну под видом трудящихся-мигрантов лиц с правонарушающим поведением и преступным опытом усиливает криминальный фон, однако подлинной причиной усиливающихся конфликтов между мигрантами и автохтонным населением на почве межэтнических и религиозных отношений заключается в культурно-социальной дистанции между приезжающими мигрантами и россиянами. Малоразвитые культурно, плохо владеющие русским языком (им недостаточно владеют 61 % трудящихся-мигрантов), исповедующие ислам (87 % трудящихся-мигрантов – это практикующие мусульмане), не знающие даже основ российского законодательства и менее социально адаптивные мигранты крайне плохо социализируются.

Именно недостаточность и неразвитость целенаправленной деятельности по социальной адаптации, аккультурации и интеграции трудящихся-мигрантов в принимающее их российское общество, на наш взгляд, становится причиной распространения социально-бытовых конфликтов и сохранения напряженности между коренным населением и мигрантами. Причем такой работы либо нет совсем, либо это полумеры как в принимающем государстве, так и в тех государствах, откуда они ежегодно прибывают в Россию.

В России – острый дефицит действенных программ общественной адаптации и интеграции мигрантов всех типов в социум, которые смогли бы решить множество скопившихся проблем в области адаптации, аккультурации и интеграции трудящихся-мигрантов, их социализации и приспособления к принимающему обществу, соблюдения ими поведенческих стандартов, обычаев, традиций, приличий и иных нормативов, принятых в этом обществе.

В настоящее время в рамках экспериментальных проектов центры

содействия трудовой миграции существуют в ряде субъектов Российской Федерации (в частности, в деревне Суханово Московской области, в Республике Коми и Оренбургской области); они полностью оправдали себя на практике и позволили достигнуть хороших результатов. Но с местных работодателей, привлекающих на работу трудящихся-мигрантов, за нахождение и обучение в данных центрах взимается денежная плата, которую те впоследствии компенсируют из доходов мигрантов. Естественно, что остро нуждающиеся в финансовых средствах мигранты не хотят находиться в центрах из-за взысканий, поборов и затрат. Мы убеждены, что такие центры должны финансироваться исключительно государством и муниципалитетами, а не перевешивать бремя своего существования на плечи тех, для кого они созданы, то есть самих трудящихся-мигрантов.

Еще один негативный фактор: в этих экспериментальных (пилотных) центрах могут находиться и получать необходимую помощь и поддержку только те трудящиеся-мигранты, у которых уже есть разрешение на работу, патенты, которые уже занимаются трудовой деятельностью на территории России. Это предполагает, что мигрант самостоятельно получил документ, подтверждающий знание русского языка, российской истории и права, полис добровольного медицинского страхования и медицинскую справку по установленной форме, а также прошел дактилоскопирование. Мы же полагаем, что такие центры должны не только помогать, но активно участвовать в получении разрешительных документов,

а не требовать их императивный набор при поступлении в них трудящихся-мигрантов.

Помимо создания многофункциональных центров содействия трудовой миграции в Россию, по нашему мнению, следует учредить должность омбудсмена по правам трудящихся-мигрантов либо миграционного комиссара, которые занимались бы на постоянной основе защитой прав, свобод и законных интересов трудящихся-мигрантов. Во многих демократических государствах такие должности созданы и оправдывают себя. Важный шаг в решении обозначенных нами остросоциальных проблем – принятие утвержденной Концепции государственной миграционной политики до 2025 г. (в ст. 7 которой ее разработчиками абсолютно справедливо закреплено, что «привлечение иностранных работников в соответствии с потребностями российской экономики является необходимостью для ее дальнейшего поступательного развития»).

Активно обсуждавшийся российской общественностью в 2014–2015 гг. законопроект «О социальной и культурной адаптации и интеграции иностранных граждан в Российской Федерации», посвященный вопросам правового регулирования отношений в области социальной и культурной адаптации и интеграции иностранных граждан, включая трудящихся-мигрантов, и предусматривающий заключение с последними так называемых интеграционных и адаптационных контрактов, до сих пор (!) не принят.

Помимо функций*, ныне закрепленных за Федеральным агентством по делам национальностей Российской

* Функции Федерального агентства по делам национальностей Российской Федерации: выработка и реализация государственной национальной политики, нормативно-правовое регулирование и оказание государственных услуг в сфере национальной политики, осуществление мер, направленных на укрепление единства многонационального народа России, обеспечение межнационального согласия, этнокультурного развития народов Российской Федерации, защиты прав национальных меньшинств и коренных малочисленных народов России, взаимодействие с национально-культурными автономиями, казачьими обществами и иными институтами гражданского общества, разработка и реализация государственных и федеральных целевых программ в сфере межнациональных отношений; контроль за реализацией государственной национальной политики; осуществление государственного мониторинга в сфере межнациональных и межконфессиональных отношений, профилактика дискриминации по признакам расовой, национальной, религиозной или языковой принадлежности, предупреждение попыток разжигания расовой, национальной и религиозной розни, ненависти либо вражды.

Федерации (создан 31.03.2015), следовало бы наделить его конкретным функционалом, широкими полномочиями и обязанностями в области социальной адаптации, аккультурации и интеграции мигрантов.

Необходимо всемерно повышать и интеграционный потенциал принимающего трудящихся-мигрантов российского общества путем межкультурного диалога. Но в России имеются существенные упущения, связанные с недостаточным участием в реализации отечественной миграционной политики муниципальных органов власти, некоммерческих неправительственных организаций и социально ответственных частных коммерческих структур. Не случайно в Западной Европе, в частности, в Швеции, Дании и Норвегии, именно местные органы власти и региональные сообщества (местные общины) являются основными субъектами реализации миграционной политики [9, с. 11].

Муниципальным органам власти следует активизировать и интенсифицировать деятельность по разработке, принятию и осуществлению специальных программ аккультурации и интеграции трудящихся-мигрантов, включающих возможность получения ими и членами их семей образования в российских регионах; по привлечению некоммерческих неправительственных организаций, авторитетных представителей национальных диаспор, землячеств, сообществ трудящихся-мигрантов и национально-культурных автономий для разрешения противоречий и конфликтов, возникающих между сообществами трудящихся-мигрантов и местными

жителями; по проведению совместных праздничных, культурных, научно-популярных, спортивных и пр. мероприятий с участием широких масс трудящихся-мигрантов и представителей автохтонного населения.

Для сглаживания межрелигиозных и культурно-бытовых противоречий, а также адаптационной и ресоциализационной работы с трудящимися-мигрантами, которые исповедуют мусульманскую веру или же являются носителями многовековой исламской культуры, необходимо активно привлекать представителей духовенства и авторитетных и уважаемых религиозных и общественных деятелей-мусульман и исламских ученых – улемов (алимов), мулл, имамов, муфтиев, шейхов и кадиев.

В настоящий момент требуется значительно усилить меры антинационалистической пропаганды и агитации путем проведения бесплатных образовательных и просветительских мероприятий в коллективах трудящихся, в учебных заведениях, на предприятиях и в организациях со сложной межэтнической и конфессиональной обстановкой, увеличить выпуск материалов массовой печати, видео- и киноиндустрии, социальной телерекламы и разнообразной продукции масс-медиа, направленных как на популяризацию, развитие и укрепление идей и принципов толерантности, взаимопонимания, интернационализма, добрососедских отношений, так и на изжитие стереотипов и установок ксенофобии, национализма и экстремизма, поведенческих моделей пренебрежительного и негативного отношения к трудящимся-мигрантам. ■

Литература

1. Алибекова З. Р. Согласование интересов страны-реципиента и трудящихся-мигрантов // Вестник Российского университета дружбы народов. 2009. № 3. С. 64–69. ISSN 2313-2272.
2. Ибрагимова Р. А. Нелегальная миграция в Российской Федерации // Тенденции и закономерности развития современного российского общества : сб. м-лов Всеросс. научн. – практ. конф. с международн. участием : В 2-х ч. ; Ч. 2. Казань : КазГУ, 2016. 127 с.
3. Корсаков К. В. Адекватность и соразмерность превенции – залог эффективности борьбы с современной организованной преступностью // Правоохранительные органы: теория и практика. 2015. № 1. С. 19–22. ISSN 1995-4700.
4. Корсаков К. В. Городское пространство в ракурсе уголовно-правовой науки // Вестник УрГУПС. 2016. № 1. С. 86–93. ISSN 2079-0392.

5. Корсаков К. В. Предупреждение преступных деяний корыстной направленности на железнодорожном транспорте в Российской Федерации // Вестник УрГУПС. 2011. № 4. С. 50–55. ISSN 2079-0392.
6. Корсаков К. В., Шелконогова Е. В. Виктимологическая профилактика преступлений, совершаемых на транспорте в условиях предкриминальных ситуаций // Вестник УрГУПС. 2012. № 3. С. 70–75. ISSN 2079-0392.
7. Матвеевская А. С. Социальная адаптация иммигрантов в Швеции : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. канд. географ. наук. СПб, 2013. 24 с.
8. Мукомель В. И. Мигранты на рынке труда // Трудовая миграция: тенденции, политика, статистика. М. : Диалог, 2012. 94 с. ISSN 2073-1447.
9. Рыбаковский Л. Л. Трудовые мигранты и их вклад в пополнение трудового потенциала России // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2011. № 1. С. 47–55. ISSN 2072-3016.
10. Халиуллина А. И., Шагиева Л. А. Нелегальная миграция в России и методы борьбы с ней // Молодой ученый. 2016. № 28. С. 711–713. ISSN 2072-0297.
11. Ястребова А. Ю. Международно-правовые основы регулирования статуса трудящихся-мигрантов на универсальном и региональном уровне // Московский журнал международного права. 2015. № 4. С. 116–126. ISSN 0869-0049.

Literature

1. Alibekova Z. R. Balance the interests of the recipient country and working labor migrants [Soglasovaniye interesov strany-retsipiyenta i trudyashchikhsya-migrantov] // Herald of the Russian Peoples' Friendship University. 2009. № 3. Pp. 64–69. ISSN 2313-2272.
2. Ibragimova R. A. Illegal labor Migration in the Russian Federation. // Trends and patterns of the development of modern Russian society [Nelegal'naya migratsiya v Rossiyskoy Federatsii // Tendentsii i zakonomernosti razvitiya sovremennogo rossiyskogo obshchestva]: Sat. m. All-Russ. scientifically-practical. Conf. with international. participation : In 2 hours ; Part 2. Kazan : KazGU, 2016. 127 p.
3. Korsakov K. V. Adequacy and proportionality of prevention – the guarantee of effectiveness of the fight against modern organized crime [Adekvatnost' i sorazmernost' preventsii – zalog effektivnosti bor'by s sovremennoy organizovannoy prestupnost'yu] // Law enforcement agencies: theory and practice. 2015. № 1. p. 19–22. ISSN 1995-4700.
4. Korsakov K. V. Urban space in the perspective of criminal and legal science [Gorodskoye prostranstvo v rakhse ugolovno-pravovoy nauki] // Herald of USURT. 2016. № 1. Pp. 86–93. ISSN 2079-0392.
5. Korsakov K. V. Prevention of criminal acts of mercenary orientation in rail transport in the Russian Federation [Preduprezhdeniye prestupnykh deyanii korystnoy napravlenosti na zheleznodorozhnom transporte v Rossiyskoy Federatsii] // Herald of USURT. 2011. № 4. Pp. 50–55. ISSN 2079-0392.
6. Korsakov K. V., Shchelkonogova E. V. Victimological prevention of crimes committed in transport in pre-criminal situations [Viktimologicheskaya profilaktika prestupleniy, sovershayemykh na transporte v usloviyakh predkriminal'nykh situatsiy] // Herald of USURT. 2012. № 3. Pp. 70–75. ISSN 2079-0392.
7. Matveevskaya A. Social adaptation of the labor immigrants in Sweden [Sotsial'naya adaptatsiya immigrantov v Shvetsii]: abstract remotely. ... on the candidates for a degree candidate of geographical sciences. St. Petersburg, 2013. 24 p.
8. Mukomel V. I. Labor migrants in the labor market [Migranty na rynke truda] // Labor migration: trends, politics, and statistics. M. : Dialogue, 2012. 94 p. ISSN 2073-1447.
9. Rybakovsky L. L. Labor migrant and their contribution to the completion of the labor potential of Russia [Trudovyye migranty i ikh vklad v popolneniye trudovogo potentsiala Rossii] // Proceedings of the higher educational institutions. The Volga region. Social Sciences. 2011. № 1. Pp. 47–55. ISSN 2072-3016.
10. Khaliullina A. I., Shagieva L. A. Illegal migration in Russia and the methods of dealing with them [Nelegal'naya migratsiya v Rossii i metody bor'by s ney] // Young scientist. 2016. № 28. Pp. 711–713. ISSN 2072-0297.
11. Yastrebova A. Y. International legal basis for regulating the status of migrant workers on the universal and regional level [Mezhdunarodno-pravovyye osnovy regulirovaniya statusa trudyashchikhsya-migrantov na universal'nom i regional'nom urovne] // Moscow magazine of international law. 2015. № 4. Pp. 116–126. ISSN 0869-0049.

Статья сдана в редакцию 1 июня 2017 года

Организация образовательного процесса

УДК 159

*В. М. Воронин, М. М. Ицкович, З. А. Наседкина, С. В. Курицын,
А. А. Кошчев, Ю. А. Москвина, Н. Н. Улижева*

Когнитивная наука и образование

UDC 159

*V. M. Voronin, M. M. Itskovich, Z. A. Nasedkina, C. V. Kuritsin,
A. A. Koshcheev, Y. A. Moskvina, N. N. Ulizheva*

Cognitive science and education

Владимир Митрофанович Воронин, д-р психолог. наук, профессор; кафедра общей психологии и психологии личности Уральского федерального университета; кафедра «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Марк Матусович Ицкович, канд. психолог. наук, доцент; кафедра общей психологии и психологии личности Уральского федерального университета; Екатеринбург, Россия. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Зинаида Афанасьевна Наседкина, канд. техн. наук, доцент; кафедра энергетики и транспорта Российского государственного профессионально-педагогического университета; Екатеринбург, Россия. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Сергей Владимирович Курицын, психолог-исследователь, кафедра общей психологии и психологии личности Уральского федерального университета; Екатеринбург, Россия. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Антон Алексеевич Кошчев, ассистент; кафедра «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: AAKoscheev@usurt.ru.

Юлия Александровна Москвина, преподаватель; кафедра «Иностранные языки и межкультурные коммуникации» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: moskvina_yuliya@bk.ru.

Нина Николаевна Улижева, старший преподаватель; кафедра «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: NULizheva@usurt.ru.

Статья рекомендована к печати Э. Э. Симанюк, д-р психолог. наук, профессором; кафедра «Общей психологии и психологии личности» Уральского федерального университета. E-mail: apyfmprk@rambler.ru.

Публикуется в авторской редакции.

Vladimir Mitrofanovich Voronin, Doctor of the Psychology Sciences, Professor; Department of the General Psychology and Psychology of a Personality of the Ural Federal University; Department of «Management of operational work» of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Mark Matusovich Itskovich, Candidate of the psychology's science, Associate Professor; Department of the General Psychology and Psychology of Personality of the Ural Federal University; Yekaterinburg, Russia. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Zinaida Afanasyevna Nasedkina, PhD, Associate Professor; Department of the Energy and Transport of the Russian State Vocational and Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Sergei Vladimirovich Kuritsyn, psychologist-researcher, Department of General Psychology and Psychology of Personality of the Ural Federal University; Yekaterinburg, Russia. E-mail: zanvnm@yandex.ru.

Anton Alekseevich Koscheev, Assistant; Department of the «Management of operational work» of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: AAKoscheev@usurt.ru.

Julia Aleksandrovna Moskvina, lecturer; Department of the «Foreign Languages and Intercultural Communication», The Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: moskvina_yuliya@bk.ru.

Nina Nikolaevna Ulizheva, senior lecturer; Department of the «Management of operational work» of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: NULizheva@usurt.ru.

The article is recommended for publication by E. E. Simanyuk, doctor of the psychological sciences, professor; Department of the «General Psychology and Psychology of Personalit» of the Ural Federal University. E-mail: apyfmprk@rambler.ru.

Published in the author's edition.

Аннотация

Роль человека в больших транспортных человеко-машинных системах не снизилась после появления на железных дорогах автоматической блокировки, диспетчерской централизации, ЭВМ и других совершенных устройств. Все эти средства повышают информационную насыщенность контура управления, его возможности, но реализация этих возможностей пока остается функцией человека, а технологическая сложность принятия решений при этом растет. И так как все большая часть сообщений теперь формируется и представляется техническими средствами, человек вынужден работать с общей абстрактной моделью объекта управления, учитывающей машинный характер вводимых в нее сообщений. Он должен постоянно дополнять общую модель частными моделями, достаточно точно описывающими свойства технических средств. Отсюда непрерывно увеличивается мощность общего множества состояний системы и число элементов, к которым эти состояния относятся. Переход на скоростное и высокоскоростное движение приводит к росту параметров объектов управления и к общей насыщенности среды этими объектами, т. е. происходит усложнение обстановки, в которой находится объект управления. Все это приводит и к росту требований к человеку из-за существенно уменьшающегося времени для принятия им решений и их реализации. В этой связи возрастают требования к подготовке специалистов высшей квалификации, что, в свою очередь, требует привлечения новых методов и средств.

Когнитивные науки представляют собой междисциплинарный синтез наук, связанных единой проблематикой. Главная особенность и новация когнитивных наук в исследовании познания состоит в многодисциплинарном диалоге, порождающем общую почву у философии науки, нейронаук, теории информации, лингвистики, психологии. Актуальность проблематики когнитивных исследований определяется и особенностями развития современного общества. Такое объединение становится возможным в современных условиях шестого технологического уклада (the sixth technological order), который предусматривает наряду с развитием нанотехнологий (nanotechnology) интенсивное развитие когнитивных наук. Этот уклад характеризуется прежде всего тем, что на смену информационному обществу приходит общество, основанное на знании, и человек сегодня уже обладает такой мощной базой знаний, такой технологической силой, что неадекватное их применение может привести к очень серьезным последствиям. Наука постепенно интегрируется в организованную по новым принципам систему взаимодействия науки и технологии, главная черта которой — социально-практическая ориентированность. Отметим, что когнитивные модели и методологические подходы широко распространились в науке вообще, стали неотъемлемыми инструментами профессионалов в различных областях, причем не только на исследовательском, но и на практическом уровне. Без них все сложнее представить современные инженерные науки, теорию управления,

медицину, педагогику социологию, политологию, экономику. В этой связи перед высшим образованием стоит задача разработки комплексного подхода, который позволил бы перевести на новый качественный уровень междисциплинарные исследования, включающие гуманитарные, естественные и точные науки. Сейчас в таком качестве выступает именно когнитивный подход, который предусматривает и решение традиционных для определенной науки проблем, но методами, учитывающими когнитивный аспект. В этот аспект включаются процессы восприятия, мышления, познания, понимания и принятия решений. Поэтому этот подход антропологический, и это первая причина, по которой именно когнитивный подход необходимо сделать методологическим основанием новой образовательной программы. Вторая причина: изучение когнитивной сферы не может ограничиваться рамками одной дисциплины, поэтому и возникает необходимость интеграции когнитивных исследований в различных областях. Ее осуществление невозможно без поддержки серьезной исследовательской программой, т. к. названная задача интеграции на данный момент далека от своего решения, что во многом определяется дисциплинарными границами.

В статье приводится проблематика исследовательской программы. Важнейшим условием таких исследований является рефлексия собственных способов работы и попытка соотнести их с когнитивными проблемами. Также приводится содержание образовательной программы, которая предусматривает, с одной стороны,

обучение конкретным дисциплинам, а с другой, обучение методологическим стратегиям смежных дисциплин. Предполагается, что специалисты будут способны проблемно мыслить, осознанно подходить к выбору исследовательских стратегий, устанавливать междисциплинарные контакты на основе определенных методологических и теоретических предпосылок, осуществлять когнитивно-ориентированные проекты с коллегами, специализирующимися в других областях гуманитарного, точного и естественного знаний.

Ключевые слова: когнитивная наука, когнитивный подход, коннекционизм, исследовательская программа, образовательная программа.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-88-97

Abstract

Cognitive sciences present an interdisciplinary synthesis of sciences, connected by one problem field. The main peculiarity and novation of cognitive science in the study of cognition is in the multidisciplinary dialogue, that creates a common ground of the philosophy of science, neuroscience, theory of information, linguistics, psychology. The relevance of the problem field of the cognitive research is determined also by the features of modern society in its development. This unity becomes possible in the modern conditions of the sixth technological order, that covers the development of nanotechnology along with the intense deve-

lopment of cognitive sciences. This mode is characterized firstly by the fact, that the informational society is changed to the society, based on knowledge, and the human now has such a powerful base of knowledge, such technological power, that its incorrect implication may cause very serious results. The science is gradually integrating into a newly organized system of interrelation between science and technology, the main feature of which is social-practical focus. Let us draw our attention to the fact, that cognitive models and methodological approaches had widely spread in all the science itself, became important instruments of professionals in various fields, both in the research and practice. Without them, it is hard to imagine contemporary engineering sciences, theory of administration, medicine, pedagogics, sociology, political sciences, economy. In this connection, the higher education has a valuable aim to develop a complex approach, which could bring to a new quality level multidisciplinary research, including humanities, natural and precise sciences. And nowadays, the cognitive approach is used as this approach, and it also provides the solution for traditional problems of sciences, using the methods that include cognitive aspects. These aspects are formed of processes of perception, thinking, cognition, comprehension and decisionmaking. That is why this approach is anthropologic – and this is the first reason, why exactly the cognitive

approach is necessary to use as the methodological base of the new educational program. The second reason – the studying and research of cognitive sphere cannot be limited by one discipline, and the necessity of integration of cognitive research in various fields is growing. The fulfilling of this important task is impossible without the support of serious research program, as the named task of integration is far from solution nowa-days, that is affected greatly by discipline borders.

The report contains the problem field of the research program. The most important aspect of research is the reflection of methods of work and an attempt to relate them to cognitive problems. Also, the contents of the educational program are presented, that envisages, on one hand, the learning of exact disciplines, and on the other – the learning of methodological strategies of adjacent disciplines. It is assumed, that specialists will be able to: think problematically, wisely choose the research strategies, establish interdisciplinary contacts basing upon some methodological and theoretical background, implement “cognitive-oriented” projects with the colleagues, specializing in various different fields of humanities, precise and natural sciences.

Keywords: cognitive science, cognitive approach, connectionism, research program, educational program.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-88-97

About cognitive sciences and their relation to education

Cognitive sciences represent a vast interdisciplinary synthesis of sciences, connected within one problem field. Today, together with the term «interdisciplinarity», terms such as «multidisciplinarity» and «transdisciplinarity» are also used, having their exact, precise meaning. Multidisciplinarity is presented as the characteristic of a research, when a phenomenon is researched simultaneously in multiple scientific disciplines, that at the same time save their sovereignty, specific vocabulary of terms. The transdisciplinarity means the coordination of knowledge not only in the field of fundamental researches, but also includes an integration of applied knowledge. Interdisciplinarity means a cooperation of various sciences in the understanding of an object within the circulation of same terms, formation of integral research programs.

The main feature and innovation of cognitive sciences in the research of cognition is in the multidisciplinary dialogue, which creates a common ground for the philosophy of science, neuroscience, theory of information, linguistics, psychology. The importance of the problem field of cognitive research nowadays is defined also by the features of modern society in its development. Such integration is possible in modern time of the sixth technological order, that covers the development of nanotechnology and intense growing of cognitive sciences. This step of a social development is characterized, first of all, by the fact, that the informational society is changing to the society of knowledge, and nowadays humanity already has such a powerful base of knowledge and technical abilities, that it's wrong use could create very serious unwanted results. Science is integrating in the newly organized system of interaction of science and technics. This phenomenon is called technoscience, the main feature of which is social and practical orientation. Let us notice,

that cognitive models and methodologic approaches are widely spread in all sciences, became one of the most important instruments of professionals in various fields, and not only on a theoretic, but on a practical level too. Without them, it is hard to imagine contemporary engineering sciences, the theory of management, medicine, pedagogics, sociology, political sciences, economics. Not less important is to their penetration in the management of transport.

Contemporary stage of the development of cognitive science is called neuronetic or connectivistic, because of the paradigm, that is basic in mathematical modelling of thinking and behavior for many years – connectionism, an approach, where the model is composed in a complex net with simple elements. The most widespread, but not the only one, form of connectionism, is neural network, where formal neurons are composed together. The model of formal neuron and neural network was introduced by McCulloch and Pitts [1]. The last decade had brought principally new network models of a brain. Their formation and extremely fast development are possible because of two factors: creation of high sensitive equipment, that allows gathering big amounts of high quality data, and creation of powerful computers, which allows processing this data. It has been discovered, that in a many biological and social systems the structure of interrelations between these elements is described by complex networks with similar properties. The brain networks are not the exception. Two complementary fields of theoretical-graph research of brain networks had formed, and named «structural and functional connectomics» [2, 3].

The research of cognition nowadays is not simplified to what happens in the brain, it includes the constant interaction of an organism and its environment. Cognitive system is researched as a whole of brain, body, external environment. The consciousness is not identified with the brain and cognitive processes are

understood not as isolated processes within the human, but as a result of interaction between system and environment. The researches more often come to the necessity of analysis of cognitive processes as a whole, supposing the interrelation of multiple cognitive agents between each other, and also with cultural and natural environment. According to the connectionists, the basis of functioning of the neural network is not in the abstract logical thinking, but a recognition of patterns. As famous theoretics of cognitive science notice, thinking proceeds within the synthesized patterns, not logics, and then in its action it may go off the limits of syntax or mechanical relations [4, p. 152]. According to this statement, the high education now is facing a task of development of complex approach, which would bring multidisciplinary research, including humanities, natural and precise sciences, to a new level. However, cognitive researches are so wide in the fields of their interest and works, that it is more exact to talk about cognitive approach: the researches of various fields, including traditional problems of science, but with methods, that consider cognitive aspects, that include processes of perception, thinking, cognition, comprehension and explanation. Since this focus upon the cognitive sphere, the approach must be *anthropologic* – and that is the first reason, why we suppose that the cognitive approach exactly fits as methodological basis for the new anthropologic educational program. The second reason, as we had already mentioned, is *interdisciplinarity* of cognitive researches. It is obvious, that learning the various topics of cognitive scientific fields cannot be put in a single discipline. From the beginning of its formation cognitive science had begun to make interrelations and contacts between a list of scientific topics simultaneously. With the help of specialists from many fields of knowledge, cognitive science had started to unite, from the one side, old traditional fundamental sciences – mathematics, linguistics, psychology and

philosophy, and on the other hand – add new and parallel growing sciences – the theory of information, various methods of mathematical modeling, computational science, neuroscience. Cognitive approach is used in artificial intelligence (AI), researches of individual psychic processes, researches of language, real discourse and real communication, in cultural studies, social studies, history – to our opinion, there is an obvious need of *integration* of cognitive research in these fields. Such integration is the superior task of our *educational* program. Of course, its realization is impossible without the assistance of a serious *research* program, because the task of integration, named before, is nowadays not only unsolved, but moreover, not yet stated, that is mostly determined by borders of disciplines.

Research program

There are two groups of questions to answer in the research work. The first group may be composed out of questions of such matters: who will be educated, what material will be included in the educational process and how it will be organized and fulfilled, to acquire highly skilled professionals in the field of cognitive science. These specialists must know methodological strategies of adjacent sciences, can think problematically, select the topics of their own field of interest in a new way, qualitatively choose the strategies of the research, create interdisciplinary contacts on the base of methodological and theoretical backgrounds, fulfill «cognitive-oriented» projects with the colleagues, specializing upon different fields of humanities, natural and precise sciences. The second group of questions shows the problematic field for the research in cognitive science. Here are enlisted these matters: what science will create the basis of system of cognitive disciplines, how the choice of cognitive problems is made in each discipline and how these choices are affected by their «inner basis» and scientific traditions», what are the crossingovers of

disciplines on a full scale field of cognitive researches, for example, in the field of education, how the disciplines understand these question and try to solve them, how can we create the understanding of a problem between two fields from the «third» point of view (for example, the crossing between the problem of mental representations in communicative pragmatics and sociology from a view of philosophy of consciousness; or the crossing of problems of categorization in language and research of worldviews in sociology; or the crossing of problems of mental representations in psychology and in AI from a side of neuroscience). The most important condition of such researches is an understanding of our own methods of work and an attempt to relate them to cognitive problems. Let us make a stop on the problem, that has an unusually important meaning for an educational program: what science can be the basis factor of a system of cognitive disciplines.

Besides the multiple attempts of solving the integrational problem [5, 6], that is present in cognitive science, it is still no framework, that could unite all the constituents of this science, basing on the main principles, united object of the research. This is also true for the theory of cognitome, by K. V. Anokhin, that depicts the full system of subjective experience, formed in an organism evolutionally and in the process of development [7]. It is hard to agree to his statement that the united object of cognitive science must be mathematically formalized, mainly in near future. At the same time, we do not underestimate the role of AI and we agree to the necessity of adding it to other cognitive disciplines. Also we cannot agree to the opinion about the role of cognitive linguistics as a system forming factor in cognitive disciplines [8]. This point of view comes from the statement, that «human acquires knowledge mainly from two sources: 1) from real world contact; 2) from a discourse. So as knowledge, so as discourse represent the world through mental structures, and at the same time a

discourse makes that through language» [9]. A question of no answer is asked there: «what source of knowledge gives us more realistic understanding of a world – a straight contact with reality of a discourse?», meaning the discourse is the answer. But this statement cannot prove, that the research of discourse must be held within cognitive linguistics. In various books and monographies, written by R. Solso, J. Anderson and others, also as in our book [10], together with наряд the consideration of mental processes such as «attention, memory, perception, problem solving, creativity, and thinking», the use of language and comprehension of discourse is discussed. The main principle, that must be used in the selection of the discipline that will form a system of cognitive disciplines, is the presence of strong interrelations between all or most of the disciplines. This principle is fully reached by cognitive psychology, that has strong interrelations between other five disciplines, that form the core of cognitive science. As we ran remember, it consists of cognitive psychology, computational disciplines (including AI, the theory of information, the theory of decision making and theoretical informatics), neurosciences, epistemology, linguistics and anthropology.

Educational program Introduction

The research, shown above, must become the basis of educational program, the main aims of which would be the education of specialists that could: see similar problems of different sciences from the cognitive approach, use the methods of cognitive approach and also connected disciplines, be able to state precise research tasks within cognitive researches. The cognitive approach needs the understanding of scientific language, terminological apparatus of multiple disciplines, therefore the research in cognitive science needs a different, multidisciplinary approach. The main principle of an educational program is not

only the education with exact disciplines, but also the development of skills of methodological and scientific history thinking. The educational program must include these statements:

1. Cognitive Science is the inter-disciplinary study of mind and cognition;

2. It uses approaches and insights from psychology, computer science, philosophy, neuroscience, and linguistics, among other disciplines to develop information processing accounts of cognitive and mental functions;

3. Central topics include perception, memory, reasoning, motor control, language, and the nature of consciousness;

4. Research in the cognitive science program is problem-oriented.

Bachelors education

As a result of years of research and teaching of basics of cognitive science to future bachelors and masters, we had come to the conclusion, that education of highly skilled professionals in the field of cognitive science must be held within three levels. The first level is the bachelor degree. Two possible ways of education are present here.

The first variant supposes, that students-bachelors, that are learning mathematical, engineering and humanitarian specialities by the program of cognitive science education, are given the basic chapters of cognitive psychology, making an accent on the elements of higher-order human thought and understanding. This education is completed by a coursework. Later on, the graduates can continue their education in the master's degree program to acquire the degree of a master in cognitive science.

The second variant supposes that students acquire the bachelors degree in cognitive sciences. The educational program includes the following disciplines: Fundamentals of cognitive psychology, Fundamentals of cognitive neuroscience, Basics of artificial intelligence, Behavior and the human brain and Systems of perception, Computational technology and

cognition, Evolution and development of human cognition, Mathematics and logic. The program supposes not only lectures, but also a variety of research works and laboratory studies, that allows students to prepare better for the research work in a master's program. After these students graduate as bachelors in cognitive science, they can continue their education in the master's degree program to acquire the degree of a master in cognitive science, AI, educational technologies, philosophy.

Master's/doctoral program

«Psychology of cognition and cognitive engineering»

The central and the most important component of our educational program is the masters/doctoral program, that is supposed for five years of education, two or three years of which (depending on a student's educational background) are given for the graduation of master of cognitive science and two or three years for the graduation of PhD of cognitive science. Graduates of our program may consider joining a professional organization such as the Cognitive Science Society to access professional development resources.

The program «Psychology of cognition and cognitive engineering» is principally multidisciplinary and integrative, supposing that the specialists could have both: wide views of natural and humanitarian topics and problems in the field of psychology and the knowledge of contemporary engineering disciplines; a strong knowledge of effective scientific methodology of cognitive sciences; good skills in contemporary informational technologies.

The main aim of education of highly skilled professionals in the field of cognitive science within the program of «Psychology of cognition and cognitive engineering» is the creation of a personality, that has a system of competencies, knowledge and professional skills, that are necessary and enough for the completion of tasks of development, production, selling and use of the new products and services, which

are formed by the actual and supposed properties of market. The graduate, according to his qualification, could work as a professional both in production and scientific fields, and also in the field of education. He can fulfill his tasks on the production sites, in fields of transport, in scientific and research organizations, in mass media and in the field of education.

The graduate is needed in the organizations of various profiles, for example:

- in the development of automatic computational systems of modeling of different technological and organizational processes;
- in the development of intellectual computational systems of analysis and processing of various data;
- in the creation of self-educating computer systems of image recognition and technical diagnostics;
- in the development of intellectual computational systems for organizations of various forms and profiles;
- in the creation of adaptive training systems;
- in the development of intellectual systems of transport management and logistics;
- in the development of diagnostic methods of functional state of operators of large systems.

The program includes three blocks of disciplines.

The first block consists of 9 modules. The basic part of the first module, named «The methodological basis of cognitive science» includes the following disciplines: «Theoretical and methodological problems of cognitive science», «Intellectual property», «Methodology of science and philosophy». The variative part is formed of the «Theory of informational processes and systems». The basis of the second module, named «Contemporary psychological researches» includes the following disciplines: «Actual problems of cognitive and engineering psychology», «Teaching psychology and cognitive sciences for higher technical schools», «Professional international language», and the **variative** part: «Cognitive

development», «Psychological problems of speech communication in the system of human-computer», «Psychology of task and problem solving», «Modelling of psychic processes», «Practical appliance of cognitive researches». These disciplines form the professional psychological cycle.

Mathematical, linguistic and technical disciplines of a professional cycle form the third module: «Mathematical instruments and technical realization of intellectual systems» and module 4: «Linguistic aspect of intellectual systems». These modules include: «Special mathematical apparatus (natural and artificial neural nets, fuzzy logic and genetic algorithms)», «Theory and practice of creation of expert systems» (**basic** part), «Mathematical and logical tools of intellectual systems», «Autonomous Artificial Intelligence», «Computer linguistics», «Cognitive linguistics» (**variative** part).

Modules 5, 6, 7, 8, 9 are named: «Psychological researches» «Engineering-psychological researches», «Linguistic tools of intellectual systems», «Technical realization of intellectual systems», «Realization of intellectual systems without programming». They include disciplines on student's choice: «Psychophysiology and methods of psychophysiological research», «Social distribution of cognition», «Computational technologies in science and education», «Contemporary methods of visualization of information», «Organization of group work», «Psycholinguistics», «Computer programming for the artificial intelligence», «Analysis and synthesis of speech», «Expert system modules», «Decision making», «Intellectual management systems», «Applied education»

Block 2. The program includes two fields of (scientific-productive and scientific-research prediploma practice) and scientific research work.

Block 3. The resulting state graduation includes the state exam and the presentation of qualificational research work.

Now let us make some commentaries upon the program. The disciplines, which are included in the basic part, are

necessary for the educational process, and **variative** disciplines are chosen by the dean or head of the program. Disciplines, included in the modules 5, 6, 7, 8, 9 are chosen by students.

Ph.D. program in cognitive science puts the emphasis on research and require students to choose an area of concentration from which they base their dissertation research. She include comparative cognitive studies of animals, humans, and machines. In order to fulfill this aim, the disciplines «Applied education» and «Autonomous Artificial Intelligence» are included in the program. A great deal of a student's time is spent in research and laboratory work learning and examining cognitive science philosophies, methodologies, and technologies. As a result of our master's/doctoral program students will become familiar with the basic approaches of psychology, neuroscience, philosophy, computer science, and linguistics. Electives will allow students to gain specialized knowledge in a particular problem area of cognitive science. A special guidance is developed for helping students in their choice of disciplines. With guidance of an advisor in the program, the student will design a course of study concentrating on a particular problem that can be tackled by a variety of methods, such as computer simulations of psychological processes, computational linguistics, philosophy, and psychology.

What should be applied and developed in education in the light of cognitive science

The cognitive science aims to develop the technology of gathering and implementing of knowledge, the topic of transformation of education as

a process of translation of knowledge to the education as the ability of thinking professionally is discussed. In the speech of R. Schank on The IV International conference of cognitive science [11], the assumptions about the possibilities of transformation of educational systems, basing upon the achievements of modern cognitive science in the understanding of a nature of thinking, were given. His program includes sixteen fundamental cognitive processes. Six of them form a group of conscious processes (modeling, experimentation, prediction, describing, managing, judgment); three are sub-conscious processes (step by step: knowing how to perform a complex action, artistry: knowing what you like, values: deciding between things you care about); three – analytic processes (diagnosis, planning, causation); four – a group of mixed processes (assessment, negotiation or the ability to negotiate, influence, teamwork). This principles must be developed as the basis of education, starting from early ages and then to schools, universities.

The amount of principles, as we think, is not of great importance, and not all of them are equal, but three of them are of big importance as they are fundamental in forming the ability to think. These are, firstly, the descriptive function, as the ability to describe and act accordingly, secondly, the ability to form a diagnosis as an intellectual process, in which the ability of understanding what is happening and how it is happening, and thirdly, it is the planning, as a key process of any activity. The education must be given as the development of cognitive skills, that will find a use in our life, and definitely not be the obedience to learn rules formulas «by heart». The education must give not only facts and knowledge, but also cognitive skills. ■

Литература

1. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bull. Math. Biophys. 1943. V. 5. Pp. 115–133.
2. Bullmore E., Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems // Nature Reviews Neuroscience. 2009. № 10. Pp. 186–198.
3. Baronchelli A., Ferrer-i-Cancho R., Pastor-Satorras R., Chater N., Christiansen M. H. Networks in Cognitive Science // Trends in Cognitive Sciences. 2013. Vol. 17. № 7. Pp. 348–360.

4. Edelman G.M., Tononi G. Consciousness: How Matter Becomes Imagination. London: Penguin Books, 2001. P. 152.
5. Marr D. Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. San Francisco: W.H. Freeman. 1982. P. 415.
6. Bermúdez J.L. Cognitive Science: an introduction to the science of the mind. New York: Cambridge University Press. 2014. P. 533.
7. Анохин К. В. Когнитом: в поисках общей теории когнитивной науки // 6-я Международн. конф. по когнитивной науке (Калининград, 23–27 июня 2014 г.). – Калининград, 2014. 752 с. ISBN 978-9955-488-86-6.
8. Заботкина В. И. От интеграционного вызова в когнитивной науке к интегрированной методологии // 7-я Международн. конф. по когнитивной науке (Светлогорск, 20–24 июня, 2016). – М. : Изд-во «Институт психологии РАН», 2016. С. 273–275. ISBN 978-5-9270-0325-5.
9. Dijk, Teun A. van. Discourse and knowledge: a sociocognitive approach. Cambridge : Cambridge University Press. 2014. P. 407.
10. Воронин В.М., Наседкина З.А. Психология и педагогика : учеб. пособ. для студентов технических специальностей всех форм обучения / Екатеринбург : УрГУПС, 2014. 512 с. ISBN 978-5-94614-297-7.
11. Schank R. From subject based education to cognition based education: what cognitive science tells us about what we really need to learn // 4-я Международн. конф. по когнитивной науке (Томск, 22–26 июня 2010 г.); В 2 т. – Томск : Томский государственный университет, 2010. Т. 1. – 283 с. ISBN 5-94621-316-4.

Literatura

1. McCulloch W. S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bull. Math. Biophys. 1943. V. 5. Pp. 115–133.
2. Bullmore E., Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems// Nature Reviews Neuroscience. 2009. № 10. Pp. 186–198.
3. Baronchelli A., Ferrer-i-Cancho R., Pastor-Satorras R., Chater N., Christiansen M.H. Networks in Cognitive Science // Trends in Cognitive Sciences. 2013. Vol. 17. № 7. Pp. 348–360.
4. Edelman G.M., Tononi G. Consciousness: How Matter Becomes Imagination. London: Penguin Books, 2001. P. 152.
5. Marr D. Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. San Francisco : W.H. Freeman. 1982. 415 p.
6. Bermúdez J.L. Cognitive Science: an introduction to the science of the mind. New York : Cambridge University Press. 2014. 533 p.
7. Anokhin K. V. Cognit: in search of a general theory of cognitive science [Kognitom: v poiskakh obshchey teorii kognitivnoy nauki] // The 6th International Conference on Cognitive Science (Kaliningrad, June 23–27, 2014). Kaliningrad, 2014. 752 p. ISBN 978-9955-488-86-6.
8. Zabotkina V. I. From integration challenge in cognitive science to integrated methodology [Ot integratsionnogo vyzova v kognitivnoy nauke k integrirovannoy metodologii] // 7th International Conference on Cognitive Science (Svetlogorsk, June 20–24, 2016). – М. : Publishing House «Institute of Psychology RAS», 2016. Pp. 273275. ISBN 978-5-9270-0325-5.
9. Dijk, Teun A. van. Discourse and knowledge: a sociocognitive approach. Cambridge : Cambridge University Press. 2014. 407 p.
10. Voronin V.M., Nasedkina Z.A. Psychology and Pedagogy: a textbook for students of technical specialties of all forms of studies [Psikhologiya i pedagogika: uchebnoye posobiye dlya studentov tekhnicheskikh spetsial'nostey vsekh form obucheniya] / Yekaterinburg : USURT, 2014. 512 p. ISBN 978-5-94614-297-7.
11. Schank R. From subject based education to cognition based education: what cognitive science tells us about what we really need to learn // 4-th International. Conf. on cognitive science (Tomsk, June 22–26, 2010); In 2 volumes – Tomsk : Tomsk State University, 2010. Т. 1. 283 p. ISBN 5-94621-316-4.

Статья сдана в редакцию 3 августа 2017 года

Транспорт: философские параллели

УДК 130.2

Е. П. Пьяных

Роль железной дороги в формировании и развитии общества

UDC 130.2

Е. P. Pyanykh

The role of the railway in the formation and development of society

Аннотация

Статья посвящена анализу транспортных коммуникаций как фактора социальных трансформаций. Доиндустриальный этап цивилизационного развития может быть охарактеризован понятием «абстрактное общество», для которого характерны территориальная локализация (пределы освоения пространства ограничены физическими возможностями передвижения), неустойчивость, эпизодичность, локальность индивидуальных и групповых коммуникаций. Развитие транспортных коммуникаций, прежде всего железнодорожного сообщения, обеспечило массовое и доступное со-общение (взаимодействие) людей, придав тем самым абстрактной социальной ткани качества системности, открытости и мобильности.

Благодаря развитию сети железных дорог абстрактное географическое пространство становится социальным: обретает качества структурированности, рациональности, коммуникабельности. Регулярное сообщение позволяет упорядочить имеющиеся и сформировать новые хозяйственные связи. Железнодорожное сообщение совмещает транспортную сеть с сетью социальной, поскольку освоение территорий невозможно без их обустройства.

Освоение географического пространства означает также установление геополитического контроля над территорией и – что особенно важно – удаленными регионами; обеспечивая доступные и регулярные массовые коммуникации, железная дорога задает обществу качества подлинной социальности: устойчивые

и постоянные взаимосвязи и взаимодействия, единство, открытость, мобильность, что и делает общество конкретной реальностью. Без развитой сети железных дорог государство лишается также полноценного политического контроля, что вызывает серьезные риски, в том числе и геополитические.

Ключевые слова: пути сообщения, транспорт, железнодорожное сообщение, железная дорога, перемещение, коммуникация, абстрактное общество, конкретное общество.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-98-107

Annotation

This article analyzes the transport communication as a factor of social transformation. Pre-industrial stage of development of civilization can be characterized by the

Елена Павловна Пьяных, канд. философ. наук, доцент; кафедра философии и истории Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: lena.cogito@yandex.ru.

Статья рекомендована к печати А.Ю. Кузнецовым, канд. философ. наук, доцентом кафедры прикладной социологии Уральского федерального университета им. первого президента России Б. Н. Ельцина. E-mail: kuznezov0403@mail.ru.

Elena Pavlovna Pyanykh, PhD in Philosophy, Associate Professor; Department of the Philosophy and History of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: lena.cogito@yandex.ru.

The article is recommended for publication by A.Yu. Kuznetsov, PhD in Philosophy, Associate Professor, Department of Applied Sociology, Ural Federal University. the first president of Russia Boris N. Yeltsin. E-mail: kuznezov0403@mail.ru.

term «abstract society», which is characterized by territorial localization (limits development space limited physical mobility), instability, episodic, localization of individual and group communications. The development of transport communications, especially Railways, has ensured widespread and accessible communication (interaction) of people, giving thus abstract the social fabric of a quality consistency, openness and mobility.

Through the development of the railway network, abstract geographical space

becomes *social*: obtains quality structured, rational, sociability. Regular communication allows streamlining the existing and establishing new economic ties. Railway communication combines transport network with a social network, as the development of territories is impossible without their arrangement.

The development of geographic space also means the establishment of geopolitical control over the territory and, what is especially important, remote regions, providing accessible and regular mass communications, the railway

sets the society the qualities of genuine sociality: stable and permanent interrelations and interactions, unity, openness, mobility, which makes society a concrete reality.

Without the development of railways network state loses also full political control, which causes serious risks, including geopolitical.

Key words: line of communication, vehicular traffic, rail communication, Railway, transportation, communication, abstract society particular society.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-98-107

Транспортные коммуникации были и остаются важнейшим фактором организации и развития общества. От наличия или отсутствия возможностей перемещений по стране зависят многие политически и социально значимые процессы: единство и целостность государства, мобильность граждан, доступность социальных благ, качество жизни в целом. Ведь транспорт – это не только комплекс инженерно-технических сооружений и средств, служащих для перемещения грузов и пассажиров в пространстве. Транспорт – это прежде всего сетевые структуры, которые, подобно нервной системе, пронизывают и связывают города и регионы, страны и континенты [1].

Техника, безусловно, привлекала внимание многих мыслителей (М. Хайдеггер, Л. Мэмфорд, Ж. Эллюль и др.), феномен машины анализировался в его взаимодействии с человеком и обществом. Но именно транспорт стал объектом философской рефлексии сравнительно недавно, в конце XX – начале XXI вв. В настоящее время в отечественной гуманитарной науке формируется соответствующий вектор исследований (Г. А. Гольц, Е. Ю. Смотрицкий, И. В. Агиенко, В. И. Казакова и др.). Социально-гуманитарные исследования проблем транспорта получают

признание и развитие в рамках социокультурного дискурса техники: «ТТС (транспортно-технологическая система) как артефакт уже изначально заключает в себе коммуникативную природу, что позволяет ей обретать социальный и культурный смысл вне непосредственной связи с технологическими процессами» [2].

Будучи техническим артефактом, транспорт представляет собой явление социальное, поскольку функционирует и получает свой смысл в социальном контексте. Социальная сущность транспорта выражается не только в его соответствующих функциях: экономической, политической, собственно социальной, культурной и др. Транспортные коммуникации сыграли серьезную роль в формировании социума в его современном понимании, придав абстрактному обществу качества социальности. Необходимо отметить также, что возможности транспортных систем на каждом этапе развития общества соответствовали определенным социальным потребностям и наоборот, последние во многом стимулировались развитием путей сообщения.

Эволюцию общества как сферу бытия человека и результат его деятельности анализируют десятки различных теорий, самыми известными из

которых остаются формационная парадигма (К. Маркс), взявшая за основу экономическое развитие, цивилизационная парадигма (О. Шпенглер, А. Тойнби, Н. Данилевский и др.), индустриально-технологические теории, объясняющие социальные изменения как производные в той или иной степени от изменений в технологии материального производства (У. Ростоу, Д. Белл и др.). В качестве критерия социальных изменений рассматривается конкретный фактор, и в большинстве теорий этот фактор носит материальный характер: промышленное развитие, изменение технологий и сфер производства и т.п.

К сфере материального производства относится и транспорт. С древних времен человек испытывал потребность в перемещении, индивидуальном и коллективном, с торговыми, военными, политическими, хозяйственными и другими целями. Перемещение в пространстве и наличие транспортных систем сыграли в социальном развитии немалую роль. Можно утверждать, что транспортные системы – особенно железные дороги – сыграли важнейшую роль в эволюции общества из феномена абстрактного в конкретную реальность, пронизанную многообразными связями.

Философское определение общества гласит: оно есть «...особая надприродная реальность, включающая человека, целесообразную деятельность людей, ее результаты и складывающиеся между ними отношения. Общество – это развернутая в пространстве и развивающаяся во времени сфера бытия человека, среда и продукт его жизнедеятельности» [3]. Это и множество подобных определений акцентируются на деятельности на основе социальной жизни, которая и формирует многообразные общественные отношения и структуры.

Понятие «общество» употребляется применительно к различным историческим его типам: первобытному, рабовладельческому, феодальному и др. Каждому типу соответствуют определенные

экономический уклад, политическая и идеологическая надстройка, социальная структура и т.п. Также каждая ступень общественного развития продуцирует соответствующий ее потребностям тип пространственных коммуникаций; последний, в свою очередь, обеспечивается возможностями перемещения.

Как отмечалось выше, следует различать абстрактное и конкретное понимание общества. Общество в абстрактном значении – это индивидуумы, не связанные в единую социальную ткань постоянными взаимосвязями. Для такого общества характерна, во-первых, территориальная локализация (пределы освоения пространства ограничены физическими возможностями передвижения); во-вторых, неустойчивость, эпизодичность и локальность индивидуальных и групповых коммуникаций.

Абстрактное общество является доминантой человеческой истории, поскольку средства массовых коммуникаций получили повсеместное распространение только с конца XIX в. Речь идет прежде всего о транспортных коммуникациях, поскольку телефонная связь, равно как и Интернет, с их возможностями стали доступны гораздо позднее.

Общество в его конкретном значении характеризуется качеством системности; последнее во многом задается постоянными и доступными массовыми коммуникациями. Качество системности, по сути, эквивалентно качеству социальности. Индивиды, используя возможности массовых коммуникаций, создают тем самым систему социальных отношений и взаимодействий, образуя конкретное общество и нацию. Массовые коммуникации являются основой перемещения не только грузов и людей, но также идей и ценностей, стандартов жизни, социального опыта.

Сделаем краткий обзор основных исторических этапов с точки зрения развития средств массовой коммуникации.

Воспользуемся известной периодизацией Д. Белла, разделившего мировую историю на доиндустриальную (традиционную), индустриальную

и постиндустриальную стадии. Переход от одной стадии к другой сопровождается изменением технологий, экономического, политического, социального укладов. Традиционное общество является аграрным и консервативным, ему соответствуют рабовладельческий и феодальный этапы в истории; индустриальное в своей основе имеет крупное машинное производство и утверждает преимущественно ценности капиталистической формации; в постиндустриальном обществе доминирует сфера услуг и ценность теоретического знания. Каждый тип общества формирует и развивает соответствующие потребности и возможности перемещения людей в пространстве. Традиционное общество не формирует средств массовой коммуникации; возникновение последних совпадает хронологически с индустриальной стадией.

Самый долговременный этап в развитии человечества – это этап так называемого праобщества, совпадающий с первобытным состоянием: несколько десятков, сотен человек, ведущих кочевой образ жизни. В рамках одной общины или рода люди были объединены общими потребностями, но сами первобытные «ячейки» разъединены в пространстве.

Поскольку основные потребности членов данного праобщества носили витальный характер (прокормиться, чтобы выжить и размножиться), постольку перемещение в пространстве было связано с их удовлетворением. Основные занятия – собирательство, охота и рыболовство – не требовали масштабной и долговременной кооперации действий.

Данные виды деятельности не нуждались в специальных средствах перемещения и обеспечивались естественным способом передвижения – пешим ходом либо волоком, позднее – при помощи плотов и подобных сооружений для перемещения по воде. Не способствовала объединению первых человеческих общин в единое целое и необходимость перемещаться из рода в род в поисках половых партнеров. Взаимоотношения

между членами праобщества в силу их эпизодичности и кратковременности являлись собой лишь зачатки подлинно социальных связей. Мир для членов такого общества ограничивается возможностями пешего перехода в светлое время суток. Данное праобщество фактически совпадает с Человечеством.

Переход к традиционному обществу сопровождается развитием экономического уклада аграрного типа. Организация социума значительно усложняется. Люди переходят к оседлому образу жизни, осваивают территорию и закрепляются на ней, ориентируясь на длительное существование. Все это требует плановых и упорядоченных совместных действий. Политически данная потребность реализуется в возникновении специализированного управляющего института – государства, воплощенного в бюрократическом аппарате.

Усложнение общественной жизни увеличивает потребности в пространственном перемещении. Хозяйственные отношения и торговые связи предполагали перемещение грузов и людей; военные нужды – людских и оружейных ресурсов. Политическая жизнь требовала передвижения глав государственных образований и чиновников всех родов, трансляции политической воли по всей территории государства, контроля окраинных территорий.

Перемещения в пространстве обеспечивались в основном сухопутными средствами (мускульная сила, особенно конная тяга) и морскими (гребные и парусные суда торгового и военного назначения).

На этапе традиционного общества транспорт не выделился в отдельную хозяйственную отрасль; имеющиеся средства передвижения были весьма уязвимыми. Например, гибель гонца, несущего важное известие, могла иметь негативные политические или военные последствия; торговые сухопутные и морские обозы и караваны были также подвержены различным рискам – от погодных до расхищений в дороге. Долговременность перемещений затрудняла

своевременное решение тех или иных задач и удовлетворение соответствующих потребностей. На данном этапе развития человечества более или менее регулярные пространственные перемещения диктовались в основном государственными потребностями. Социальной мобильности, в основе которой лежит, как правило, личная мотивация, традиционное общество не знало: соответствующая социальная структура закрепляла индивида в определенной ячейке, лишая его возможности изменения статуса. Поэтому характер людских перемещений носил сугубо «деловой» характер: только объективные потребности и ничего личного. Основной социальной единицей служила сельская община – образование консервативное, немобильное и достаточно изолированное. Города, в силу отсутствия потребностей и возможностей массовых коммуникаций, не могли претендовать на роль социо- и нациообразующих факторов.

В феодальный период доиндустриальной эпохи продолжается экстенсивное и интенсивное освоение пространства посредством известных видов сухопутного и водного транспорта, обслуживающих преимущественно экономические и военно-политические нужды.

Таким образом, с точки зрения интересующей нас проблемы традиционное общество может быть охарактеризовано следующим образом:

- неразвитость надежных и доступных путей сообщения (суда не обеспечивали массового и относительно безопасного перемещения людей), как следствие, неустойчивость масштабных социальных связей;
- неимение стимулов и возможностей социальной мобильности;
- отсутствие необходимости и потребности в пространственной трансляции эстетических ценностей и стандартов жизни, поскольку искусство и культура не имеют массового характера;
- неразвитость структур гражданского общества: традиционное общество не знает ценности «Я» и широкого

обмена социально и лично значимой информацией.

Поскольку не образуются экономические, политические, социокультурные связи и идеологические конструкции надэтнического характера, преждевременно говорить о нации и национальном единстве. Такое общество в своих сущностных чертах продолжает оставаться абстрактным образованием.

Складывание транспортных систем и развитие массовых коммуникаций начинается на этапе индустриального общества. В XVII веке была изобретена паровая машина, что дало жизнь не только кораблям, но в последующем и паровозам. Транспорт становится самостоятельной хозяйственной отраслью с четко определенными функциями.

Напомним, что первые железные дороги с паровой тягой были построены в Англии и США в 1830 году, затем эстафету подхватили развитые европейские страны и Россия. К концу XIX и в начале XX века железные дороги, в том числе и с электрической тягой представляли собой густую сеть на территории Европы, и особенно США. В России во второй половине XIX века также бурно строились железные дороги, что было связано с бурным развитием промышленности.

Именно железнодорожное сообщение положило начало развитию средств массовых коммуникаций и переходу общества в конкретное качество.

Преимущества железнодорожного транспорта, особенно для территориально протяженных стран, трудно переоценить. К таковым принято относить: всепогодность, способность осуществлять массовые перевозки людей и грузов при относительно высоких скоростях и низких издержках, относительно свободное размещение, надежность, регулярность, универсальность вне зависимости от времени года, суток, условий погоды [4].

Также железнодорожное сообщение отличается сравнительной безопасностью, социальной доступностью, емкостью и важной геополитической ролью.

Данные особенности позволили железнодорожному сообщению довольно быстро стать средством массовых коммуникаций. Излишне напоминать, что автомобильное, морское и авиасообщение значительно уступают ему в надежности, всепогодности и доступности. Кроме того, именно железные дороги получили хронологически более раннее массовое распространение.

Развитие железнодорожного сообщения играет одну из ключевых ролей в становлении конкретного общества, т. е. общества современного типа — системного, открытого и мобильного.

Во-первых, социальным становится само пространство. Покрываясь сетью железных дорог, *абстрактное* географическое пространство расширяется широтно и меридионально. Пространство становится конкретным, освоенным, обретает *социальную* сущность. Социальное пространство обладает качествами структурированности, предсказуемости, целесообразности, рациональности, что делает возможным массовое и доступное сообщение. Таким образом пространство становится коммуникабельным, обеспечивая формирование многообразных и устойчивых связей и возможности политического контроля территорий.

Именно пути сообщения делают государственную территорию наглядной: географическая карта государства с нанесенными на нее железными дорогами является картой экономической, политической, поскольку политическое и экономическое единство невозможно без путевого каркаса.

Во-вторых, регулярное сообщение позволяет упорядочить имеющиеся и сформировать новые хозяйственные связи. Исторически железнодорожное сообщение развивается параллельно индустриализации. Растущая капиталистическая экономика требовала освоения ресурсов, обмена товарами и рабочей силой. Развитие железных дорог обеспечило прирост ресурсной базы и способствовало вовлечению в экономический, хозяйственный оборот новых

территорий и людских ресурсов. Благодаря регулярным перевозкам хозяйственные связи обрели межрегиональный характер, стали упорядоченными, регулярными и надежными, что означало формирование единого рынка. Рынок как экономическая реальность в принципе невозможен без развитой системы перевозок, а сам транспорт становится не просто производительной силой, но инструментом глобальной экономики.

В-третьих, пути сообщения социализируют пространство благодаря взаимосвязанным процессам развития социальной инфраструктуры и социальной мобильности. Железнодорожное сообщение совмещает транспортную сеть с сетью социальной, поскольку освоение территорий невозможно без их обустройства. Будучи одновременно социальной сетью, железная дорога соединяет регионы и населенные пункты, различающиеся условиями и комфортностью проживания. Данная сеть приводится в движение процессами социальной мобильности. Рыночные отношения разрушили традиционную сельскую общину, что заставило вчерашних крестьян перемещаться в города. Тем самым ускорились и обрели новое качество миграционные процессы. Если в доиндустриальном обществе данные процессы были преимущественно локальными и хаотичными, то, благодаря наличию развитого железнодорожного сообщения (которое само по себе является и причиной, и следствием индустриализации) миграции приобрели целенаправленный и достаточно массовый характер.

Развитие железнодорожной инфраструктуры, особенно пригородного сообщения, фактически устранило границы между городом и сельским поселением: стала возможной маятниковая миграция — постоянное или сезонное перемещение людей из одного населенного пункта в другой с целью заработка или получения каких-либо услуг. Перемещения людей приобрели трансграничный, а в настоящее время уже глобальный характер. Движение

людей и капитала стало главным фактором формирования транснационального сообщества.

Перемещения людей внутри границ государства, а также трансграничные имеют ряд позитивных и негативных следствий.

Например, массовые и постоянные перемещения сельского населения в города как основные центры экономики привели к безудержной урбанизации в развитых странах. С одной стороны, рост городов и городских поселений повысил качество жизни проживающих в них людей, с другой, породил экологические и транспортные проблемы. Урбанизация стимулировала развитие экономической и социальной инфраструктуры, но при этом произошло демографическое «оголение» аграрных территорий, что поставило их на грань вымирания. Решение данных проблем становится задачей государственной политики.

Трансграничное железнодорожное сообщение облегчает межгосударственную мобильность населения: трудовую, образовательную, туристическую, упрощая знакомство с другими культурами, ценностями и жизненными стандартами. Таким образом, «транспорт стал важнейшим инструментом глобализации, способствуя превращению человека из жителя деревни или города в гражданина страны, а затем – и всего мира, делая мироощущение индивида планетарным, а планету – соразмерной индивиду» [5].

Пути сообщения социализируют не только пространство, но и людей, его населяющих. Строительство железных дорог обеспечило более комфортный доступ к объектам социальной сферы (образовательным, медицинским, культурным учреждениям), туристическим объектам. Транспорт обеспечивает и трансляцию эстетических ценностей (гастроли театров, цирков, деятелей искусства), и стандартов жизни: транспортная доступность всегда была одним из важных показателей качества расселения. Таким

образом, «социальная коммуникация посредством транспортных систем может иметь различные и сочетаемые цели: гостевые, туристические (упоминались выше), образовательные, культурные и др. и реализует таким образом цели социального и культурного обмена. Возможность свободного передвижения по стране позволяет развивать профессиональную, культурную и прочую кооперацию. Участие в различных конференциях, съездах, симпозиумах, курсах повышения квалификации, выставках, презентациях и т. п. позволяет обмениваться социальным опытом. Пути сообщения в этом смысле как бы сжимают географическое и социальное пространство, делая возможным общение граждан. Социальная кооперация и передача социально-значимой информации в свою очередь способствуют развитию гражданского общества – сфере реализации самостоятельной инициативы граждан [6].

Железнодорожный транспорт в условиях рыночной экономики неизбежно становится активным участником конкурентной борьбы с другими видами транспорта за объемы и качество перевозок. Оставив в стороне сугубо технологическую и экономическую стороны данной конкуренции, необходимо констатировать: формируются и непрерывно изменяются социальные стандарты перевозок. Поскольку само перемещение в пространстве перестало быть некоей вынужденной мерой, оно стало рассматриваться как ценность само по себе, безотносительно к цели, приобрело романтический статус путешествия. Поэтому одним из важных направлений деятельности железнодорожных компаний стал маркетинг: клиентам предлагается все более широкий спектр услуг, призванных обеспечить комфортное путешествие, оставить массу приятных впечатлений. Обслуживание пассажиров, комплекс услуг, предоставляемых в процессе путешествия поездом, не являются безликими процессами, они очеловечены сообразно потребностям и возможностям

пассажиров. Так, РЖД предлагают пассажирам различные типы и классы обслуживания (вагоны класса «люкс» (VIP), СВ, купейные, плацкартные и их разновидности). Авиакомпании также различают бизнес-класс, эконом-класс, туристический класс. Такая дифференциация услуг кроме уровня комфорта дает пассажирам возможность подчеркнуть собственный статус, соответствие определенным социальным стандартам.

В-четвертых, освоение географического пространства означает также установление геополитического контроля над территорией и, что особенно важно, над удаленными регионами (окраинами). Абстрактное географическое пространство, становясь огосударственным и социально освоенным, неизбежно делится на геополитические поля, и в этом делении железнодорожное сообщение также играет немаловажную роль. Например, пограничное геополитическое поле – это «территория, находящаяся под контролем данного государства, но недостаточно демографически, экономически, политически освоенная» [7]. Поскольку в территориальном освоении важную роль играют железные дороги, то именно их строительство позволяет снизить и устранить риски, связанные с пограничными полями. Для России таковыми являются прежде всего ресурсные сибирские и дальневосточные регионы. Протяженная сухопутная территория РФ практически не оставляет путей альтернатив – железнодорожное либо автомобильное сообщение. Последнее уступает по универсальности и всепогодности, поэтому именно железные дороги являются своеобразным геополитическим каркасом, удерживающим в единстве и целостности огромную территорию. Трудно представить себе районы Дальнего Востока, Западной и Восточной Сибири в составе Российского государства, не будь Транссибирской магистрали. Трансиб играет роль своеобразного «стержня», на который нанизана вся российская территория

с запада на восток. Сохранение и поддержание территориального единства государства – одна из важнейших геополитических функций железнодорожного сообщения.

Наряду с единством территориальным принципиальное значение имеет единство национальное. Нация является продуктом индустриального общества, поскольку ее основу составляют политические, хозяйственные и идеологические связи. Нация, в отличие от этноса, соответствует, в нашей типологии, *конкретному* обществу, поскольку именно последнее складывается при установлении прочных социальных связей и взаимодействий. «Наличие развитых транспортных коммуникаций способно повлиять на национальное самосознание: перемещения по стране с различными целями формирует в сознании граждан образ единого государства и единой нации. Если такое перемещение (путешествие) недоступно, то нация неизбежно раскалывается территориально» [8]; в этом случае возникают угрозы сепаратизма и угрозы государственной целостности и безопасности.

Железнодорожному сообщению как важному фактору социального развития и инструменту геополитического контроля противопоставляется в классической геополитике морское сообщение. По мнению многих исследователей, на протяжении всей человеческой истории реализуется дуалистическое противостояние талассократии (морского могущества) и теллутократии (сухопутного могущества). На практике это выражается в перманентном соперничестве двух крупных государств или сверхдержав, одна из которых является морской (островное или полуостровное положение), другая сухопутной. Власть суши и власть моря обеспечиваются в немалой степени и транспортной составляющей. По поводу власти моря известный американский адмирал А. Мэхен (1840–1914) в своей работе «Влияние морской силы на историю» отмечал, что путешествие и перевозка товаров водными

путями были легче и дешевле, чем сухопутными. Торговля стимулирует развитие флота, в свою очередь, торговый флот, нуждаясь в охранительном сопровождении, побуждает к развитию флот военный [9]. Для обслуживания флота необходима людская сила, причем большое значение, по мнению Мэхена, имеет национальный характер, которому свойственны смелость, предприимчивость, терпеливость в страданиях, развитое национальное чувство [10]. «Национальный характер, в свою очередь, влияет на развитие морской силы способностью нации основывать цветущие колонии. Колонист отождествляет свои интересы с интересами нового местожительства, и сразу же заботится о развитии ресурсов своей новой страны» [11]. Развитие морского флота, таким образом, влечет за собой серьезные политические последствия, более того, морская держава способна установить геополитический контроль над целыми регионами земного шара. Мощный авианосный флот США служит именно этой цели.

Другой представитель классической англо-саксонской геополитики, Х. Маккиндер «...на заре XX века ... опасался

сильной России, владеющей мощным флотом и развитой сетью железных и автомобильных дорог» [12]. Маккиндер, будучи представителем талассокартии, понимал, что для протяженной сухопутной страны именно железнодорожное сообщение составляет мощный каркас, обеспечивающий территориально, экономически, социально-политически государственную целостность. Поэтому стратегия развития железных дорог, наряду с трубопроводным транспортом, является частью общей геополитической стратегии государства.

Таким образом, проведенный социально-философский анализ позволяет сделать следующий вывод: обеспечивая доступные и регулярные массовые коммуникации, железная дорога задает обществу качества подлинной социальности: устойчивые и постоянные взаимосвязи и взаимодействия, единство, открытость, мобильность, что и делает общество конкретной реальностью. Без развитой сети железных дорог государство лишается также полноценного политического контроля, что вызывает серьезные риски, в том числе и геополитические. ■

Литература

1. Якунин В. И. Политология транспорта. М., 2006. С. 6. ISBN 978-5-282-02721-1.
2. Казакова В. И. Социокультурный дискурс развития транспортных систем // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Сер. : «Социальные науки». 2007. № 2 (7). С. 49. ISSN 1993-1778.
3. Философский словарь / под ред. И. Т. Фролова. М., 2001. С. 390. ISBN 5-250-02742-3.
4. Преимущества перед другими видами транспорта. URL: <http://transportine.ru/inets-716-1.html>. (дата обращения: 28.06.2017).
5. Мачерет Д. А. Влияние транспорта на предметную среду цивилизации // Мир транспорта. № 6. 2012. С. 8. ISSN 1992-3252.
6. Пьяных Е. П. Железная дорога в философском измерении // Вестник УрГУПС. № 1 (33). 2017. С. 98–107. ISSN 2079-0392.
7. Нартов Н. А. Геополитика : учебник для вузов. – М. : ЮНИТИ. 1999. С. 24.
8. Пьяных Е. П. Железная дорога в философском измерении // Вестник УрГУПС. № 1 (33), 2017. С. 102. ISSN 2079-0392.
9. Мэхен А. Т. Влияние морской силы на историю. СПб, 1896. С. 1–2.
10. Там же. С. 57.
11. Нартов Н. А. Геополитика : учебник для вузов. – М. : ЮНИТИ. 1999. С. 61.
12. Там же. С. 62.

Literature

1. Yakunin V. I. Political science of the transport [Politologiya transporta]. M., 2006. P. 6. ISBN 978-5-282-02721-1.

2. Kazakova V.I. Socio-cultural discourse of the development of transport systems [Sotsiokul'turnyy diskurs razvitiya transportnykh system] // Herald of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. Ser. : «Social sciences». 2007. № 2 (7). 49 p. ISSN 1993-1778.
3. Philosophical dictionary [Filosofskiy slovar'] / ed. I.T. Frolova. M., 2001. 390 p. ISBN 5-250-02742-3.
4. Advantages over other modes of transport [Preimushchestva pered drugimi vidami transporta]. URL: <http://transportine.ru/inets-716-1.html>. (reference date: June 28, 2017).
5. Makheret D.A. Influence of transport on the subject environment of civilization [Vliyaniye transporta na predmetnuyu sredu tsivilizatsii] // Mir transport. № 6. 2012. p. 8. ISSN 1992-3252.
6. Pyanykh E.P. Railway in the Philosophical Dimension [Zheleznaya doroga v filosofskom izmerenii] // Herald of USURT. № 1 (33). 2017. pp. 98–107. ISSN 2079-0392.
7. Nartov N.A. Geopolitics [Geopolitika] : the textbook for high schools. – M. : UNITY. 1999. P. 24.
8. Pyanykh E.P. Railroad in the Philosophical Dimension [Zheleznaya doroga v filosofskom izmerenii] // Herald of USURT. № 1 (33). 2017. P. 102. ISSN 2079-0392.
9. Mahan A.T. Influence of Sea Power upon History [Vliyaniye morskoy sily na istoriyu]. St. Petersburg, 1896. Pp. 1–2.
10. In the same place p.57.
11. Nartov N.A. Geopolitics [Geopolitika] : the textbook for high schools. – M. : UNITY. 1999. P. 61.
12. In the same place p. 62.

Статья сдана в редакцию 15 июля 2017 года

Аспирантская тетрадь

УДК 656.212

А. А. Гунбин

Исследование интервалов на разделительных элементах сортировочной горки при скатывании отцепов дифференцированной длины

UDC 656.212

A. A. Gunbin

Investigation of intervals on separate elements hump rolling at length unhook differentiated

Аннотация

В статье анализируются факторы, влияющие на образование пространственно-временных интервалов между смежными отцепами дифференцированной длины на первых разделительных элементах сортировочных горок. Определена доля вагонопотока, перерабатываемого на сортировочных горках станции Инская, в отцепях дифференцированной длины. Рассмотрены существующие способы определения точки отрыва одно- и многовагонных отцепов. Предложена методика определения положения точек отрыва на перевальной части горки для отцепов дифференцированной длины при роспуске. Приведены формула расчета, схема определения координат точек отрыва смежных отцепов и изложен порядок определения

временных интервалов между смежными отцепами дифференцированной длины при имитационном моделировании процесса роспуска. Выполнено моделирование процесса роспуска состава с сортировочной горки. В качестве объекта исследования рассмотрена горка большой мощности. Разработана матрица модельных экспериментов. Приведены расчетные схемы определения временного интервала по первым разделительным элементам и построены зависимости пространственно-временных интервалов на первых разделительных элементах сортировочной горки от скорости надвига для различных сочетаний отцепов дифференцированной длины и различной композиции вагонов внутри каждого отцепа. Подобрана регрессионная модель для определения

зависимости временных интервалов между смежными отцепами дифференцированной длины на разделительных элементах от скорости надвига. Определены общие закономерности образования пространственно-временных интервалов между смежными отцепами.

Ключевые слова: сортировочная горка, отцепы дифференцированной длины, точка отрыва, имитационное моделирование, перевальная часть горки, интервалы между смежными отцепами.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-108-117

Annotation

The article analyzes the factors that influence the formation of space-time intervals between adjacent different-length hooks on the first separation elements of the sorting hills. Determined share

Антон Андреевич Гунбин, преподаватель; кафедра «Железнодорожные станции и узлы» Сибирского государственного университета путей сообщения; Новосибирск, Россия. E-mail: gunbin_gdsu@mail.ru.

Статья рекомендована к печати С. А. Бессоненко, д-ром техн. наук, профессором, зав. кафедрой «Управление эксплуатационной работой» Сибирского государственного университета путей сообщения. E-mail: bessonenko@stu.ru.

Anton Andreevich Gungbin, lecturer; Department of the «Railway stations and nodes» of the Siberian State University of Railway Transport; Novosibirsk, Russia. E-mail: gunbin_gdsu@mail.ru.

The article is recommended for publication by S. A. Bessonenko, DSc in Engineering, Professor, Head of the Department. Department of «Operational Management» of the Siberian State University of Communications. E-mail: bessonenko@stu.ru.

of car traffic volume processed at the humps Inskaya station, unhook differentiated length. The existing methods for determining the point of separation single- and multi-car unhooked. A method for determining the position of the separation points on the saddle portion slides for differentiated unhook length during dissolution. Given the calculation formula, the scheme of determining the coordinates of the breaking points of the interconnecting unhooked and set out the procedure for determining time intervals between adjacent

uncoupling differentiated length in a simulation of the dissolution process. Modeling the process of dissolution of the composition with a hump. As a research object, a large-capacity hill was considered. Developed a matrix of model experiments. Calculated circuit determining the time interval from the first separating element and constructed according to the space-time slots on the first separating element of thrust hump speeds for various combinations of length and unhook differentiated railcars different composition within

each unhooked. A regression model was chosen to determine the dependence of the time intervals between adjacent different length hooks on the separation elements on the thrust velocity. Defines the general laws of formation of the space-time intervals between adjacent unhooked.

Key words: hump track, unhook differentiated length, breakaway point, service-simulating test, the saddle part of the hump, intervals between adjacent unhook.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-108-117

Для определения параметров сортировочных горок выполняются технологические расчеты по определению и анализу пространственно-временных интервалов между отцепами на разделительных элементах [1]. Для этого моделируется роспуск расчетных бегунов различного сочетания с сортировочной горки.

В зависимости от мощности горки за расчетные бегуны принимаются одиночные порожние и груженные вагоны [2]. При этом расчетные бегуны с «предельными» характеристиками (ОП и ОХ-100) используются для решения задач по определению высоты сортировочной горки и проверки мощности тормозных средств, а сочетания расчетных бегунов – для оптимизационных расчетов конструкции продольного профиля.

Использование бегунов ОП и ОХ-100 в сочетании с неблагоприятными и благоприятными условиями скатывания для определения допустимых границ диапазона изменения высоты горки представляется логичным и обоснованным [3].

Применение в расчетах интервалов между отцепами на разделительных элементах сочетаний расчетных бегунов, установленных нормами (одиночных вагонов), может значительно отличаться от реальных условий эксплуатации

сортировочных горок. Для оценки этих условий выполнен анализ структуры отцепопотока, перерабатываемого на сортировочных горках станции Инская (таблица 1).

Согласно данным таблицы 1, среднее количество вагонов в отцепе – 3,9, одиночных вагонов, пропускаемых через горку, – 12,49 %. Значительная часть отцепов многовагонные.

И здесь возникает задача исследования влияния процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки на конструкцию продольного профиля, в частности, на условия образования интервалов на разделительных элементах.

Для исследования используется горочное сортировочное устройство, конструктивные параметры которого соответствуют всем требованиям правил и норм проектирования [1].

При решении поставленной задачи необходимо определить влияние на образование интервалов на разделительных элементах следующих факторов: местоположение точек отрыва отцепов от надвигаемого состава на горбе горки; время до начала свободного скатывания следующего отцепа.

Существующие способы определения точки отрыва основаны на использовании аналитического расчета для

Таблица 1

Доля вагонопотока, перерабатываемого на сортировочной горке в отцепях дифференцированной длины

Кол-во вагонов в отцепе	Доля от общего вагонопотока, %	Кол-во вагонов в отцепе	Доля от общего вагонопотока, %
1	12,49	14	1,47
2	8,53	15	1,31
3	6,68	16	0,84
4	4,71	17	1,19
5	5,59	18	1,15
6	4,51	19	0,44
7	2,94	20	0,70
8	2,70	21	0,73
9	2,88	22	1,15
10	2,62	23	0,13
11	2,12	24	1,40
12	1,89	25	30,74 ¹
13	1,06	—	—
Средняя длина отцепа, ваг.			3,90

¹ С учетом более длинных групп вагонов, пропускаемых в парк с делением на части.

одновагонных отцепов и графоаналитического метода для многовагонных [4]. Но такие методы не обладают высокой степенью точности, поскольку рассматривают отцеп в виде материальной точки или гибкой нерастяжимой нити. Метод определения точек отрыва с использованием шарнирно-осевой модели вагона, представленный в [5, 6], применим только для одновагонных отцепов.

Наши исследования производились методом имитационного моделирования скатывания отцепов в программном комплексе «Скат-отцеп» [7]. При этом используется шарнирно-осевая модель многовагонного отцепа, учитывающая упругие связи межевагонных соединений [8].

Момент отрыва многовагонного отцепа определяется выполнением условия:

$$\sum_{i=1}^n \overline{F}_i^{\text{уск}} - \sum_{i=1}^n \overline{F}_i^{\text{зам}} \quad (1)$$

где $\overline{F}_i^{\text{уск}}$ – результирующее значение ускоряющих сил для i -го вагона в отцепе, Н; $\overline{F}_i^{\text{зам}}$ – результирующее значение замедляющих сил для i -го вагона в отцепе, Н; n – количество вагонов в отцепе.

Укрупненная схема распределения сил при определении момента отрыва представлена на рис. 1.

Определение времени от момента отрыва i -го отцепа до момента отрыва $(i + 1)$ -го отцепа производится по формуле:

$$t_{\text{отр}} = \frac{S_{i+1}^{\text{по}} - S_{i+1}^{\text{то}}}{v_{\text{надв}}}, \quad (2)$$

где $S_{i+1}^{\text{по}}$ – координата положения последней колесной оси $(i + 1)$ -го отцепа в момент отрыва i -го отцепа, м; $S_{i+1}^{\text{то}}$ – координата положения последней колесной оси в момент отрыва $(i + 1)$ -го отцепа, м; $v_{\text{надв}}$ – реализуемая скорость надвига, м/с.

Расчетная схема для определения координат точек отрыва смежных отцепов приведена на рис. 2.

Расчет производится для различных сочетаний двух отцепов для определения временного интервала ($t_{\text{рез}}$) по первому разделительному элементу (стрелочному переводу) и первому замедлителю нулевой тормозной позиции. Расчетные схемы определения временных интервалов приведены на рис. 3, 4.

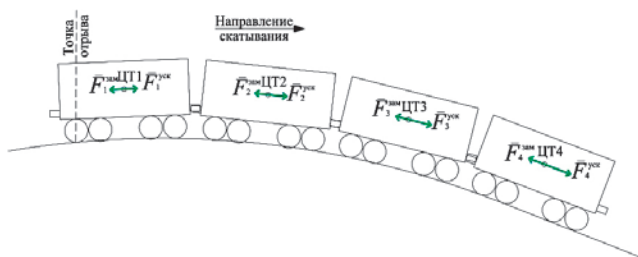


Рис. 1. Укрупненная схема распределения сил при определении момента отрыва

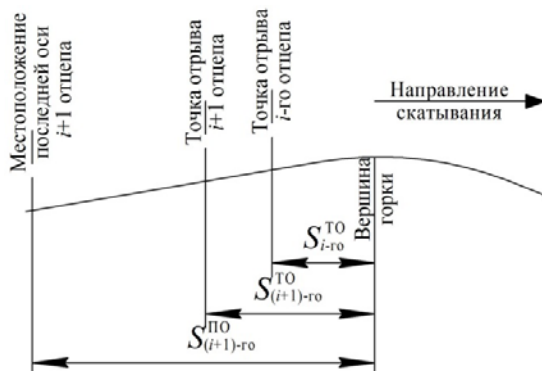


Рис. 2. Расчетная схема для определения координат точек отрыва смежных отцепов

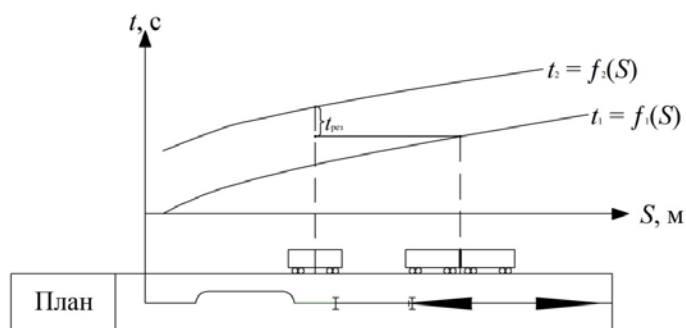


Рис. 3. Расчетная схема определения временного интервала по первому стрелочному переводу

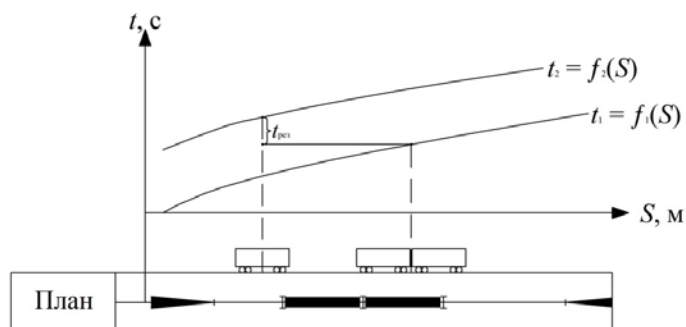


Рис. 4. Расчетная схема определения временного интервала по первому вагонному замедлителю нулевой тормозной позиции

Таблица 2

Матрица плана модельных экспериментов

Порядковый номер отцепа при скатывании	Вариант распределения вагонов в отцепах				
	первый	второй	третий	четвертый	пятый
Серия экспериментов 1					
Отцеп 1	1 Л	2 Л	4 Л	6 Л	8 Л
Отцеп 2	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т
Серия экспериментов 2					
Отцеп 1	1 Л	1 Т – 1 Л	2 Т – 2 Л	3 Т – 3 Л	4 Т – 4 Л
Отцеп 2	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т	1 Т
Серия экспериментов 3					
Отцеп 1	1 Л	1 Т – 1 Л	2 Т – 2 Л	3 Т – 3 Л	4 Т – 4 Л
Отцеп 2	1 Т	2 Т	4 Т	6 Т	8 Т
Серия экспериментов 4					
Отцеп 1	1 Л	1 Т – 1 Л	2 Т – 2 Л	3 Т – 3 Л	4 Т – 4 Л
Отцеп 2	1 Т	1 Л – 1 Т	2 Л – 2 Т	3 Л – 3 Т	4 Л – 4 Т

Примечание: 1 Л – отцеп, состоящий из одного порожнего полувагона; 1 Т – отцеп, состоящий из одного груженого полувагона; 3 Т – 3 Л – отцеп состоит из трех порожних полувагонов (Л) в «голове» и трех груженных полувагонов (Т) в «хвосте» отцепа.

Исследование зависимости интервалов на разделительных элементах сортировочной горки выполнено для различной скорости надвига и параметров отцепопотока с использованием в расчетах отцепов дифференцированной длины и с различным распределением массы внутри отцепа.

Расчет производится для следующих условий: тип вагона – полувагон (Л – порожний, массой 22 т; Т – груженный, массой 85 т); максимальное количество вагонов в отцепе – 8; маршрут скатывания – трудный путь; условия скатывания – неблагоприятные; скорость надвига – 0,8, 1,0, 1,2, 1,4, 1,7, 2,0, 2,22 м/с.

В зависимости от возможных сочетаний отцепов разработан план экспериментов на модели. Эксперименты разделены на четыре серии, в зависимости от композиции отцепа. В каждом эксперименте моделировалось скатывание отцепов определенной композиции в одном сочетании. Полная матрица модельных экспериментов представлена в таблице 2.

Пример описания условий эксперимента

Серия экспериментов 4. Вес в первом отцепе распределен неравномерно, при многовагонном отцепе деление происходит посередине: порожние вагоны (Л) расположены в «голове», а груженные вагоны (Т) – в «хвосте» отцепа. Во втором отцепе вес распределен неравномерно, при многовагонном отцепе деление происходит посередине: груженные вагоны (Т) расположены в «голове», а порожние вагоны (Л) – в «хвосте» отцепа, что приводит к ускорению отрыва от состава. Распределение вагонов в отцепе приведено в таблице 3.

В рамках исследования рассматриваются скорости надвига в диапазоне от 0,8 до 2,22 м/с. Нижняя граница (0,8 м/с) установлена по нормам проектирования [1]. Верхняя граница (2,22 м/с) принята по условию допустимой интенсивности работы составителя на горбе горки.

В ходе экспериментов определены точки отрыва для рассматриваемых отцепов, моменты занятия и освобождения

Таблица 3

Распределение вагонов в отцепе

Вариант 1	Отцеп 1 – одиночный Л. Отцеп 2 – одиночный Т
Вариант 2	Отцеп 1 – одиночный Л в «голове» и одиночный Т в «хвосте» Отцеп 2 – одиночный Т в «голове» и одиночный Л в «хвосте»
Вариант 3	Отцеп 1 – два вагона Л в «голове» и два вагона Т в «хвосте» Отцеп 2 – два вагона Т в «голове» и два вагона Л в «хвосте»
Вариант 4	Отцеп 1 – три вагона Л в «голове» и три вагона Т в «хвосте» Отцеп 2 – три вагона Т в «голове» и три вагона Л в «хвосте»
Вариант 5	Отцеп 1 – четыре вагона Л в «голове» и четыре вагона Т в «хвосте» Отцеп 2 – четыре вагона Т в «голове» и четыре вагона Л в «хвосте»

Таблица 4

Пример значений $t_{\text{рез}}$ на разделительных элементах для серии экспериментов 4

Вариант моделирования		Первый	Второй	Третий	Четвертый	Пятый
Скорость надвига 0,8 м/с						
Время до отрыва второго отцепа, с		15,81	22,51	44,21	63,03	84,34
$t_{\text{рез}}, \text{с}$	тормозная позиция	9,93	18,26	36,92	54,81	72,25
	стрелочный перевод	10,13	18,86	37,59	55,36	72,65
Скорость надвига 1,0 м/с						
Время до отрыва второго отцепа, с		12,65	18,01	35,37	50,42	67,47
$t_{\text{рез}}, \text{с}$	тормозная позиция	6,91	13,68	28,18	42,18	55,47
	стрелочный перевод	7,12	14,28	28,85	42,72	55,87

дения разделительного элемента, местоположение последующего отцепа на подвижной части горки и время до его отрыва.

Пример полученных результатов обработки расчетных сочетаний отцепов представлен в таблице 4.

В графическом виде значения временных интервалов по первому разделительному элементу для серий экспериментов 1–4 представлены на рис. 5–8. В условных обозначениях в числителе дана характеристика первого отцепа, в знаменателе – второго.

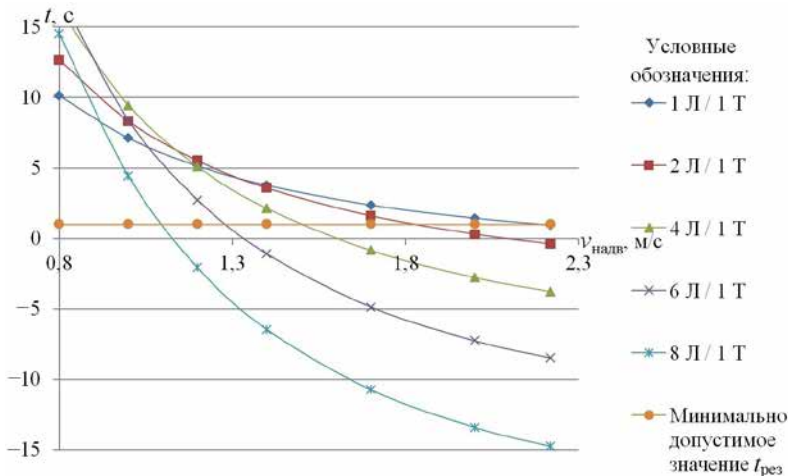


Рис. 5. График зависимости временных интервалов ($t_{\text{рез}}$) от скорости надвига по первому разделительному элементу, серия экспериментов 1

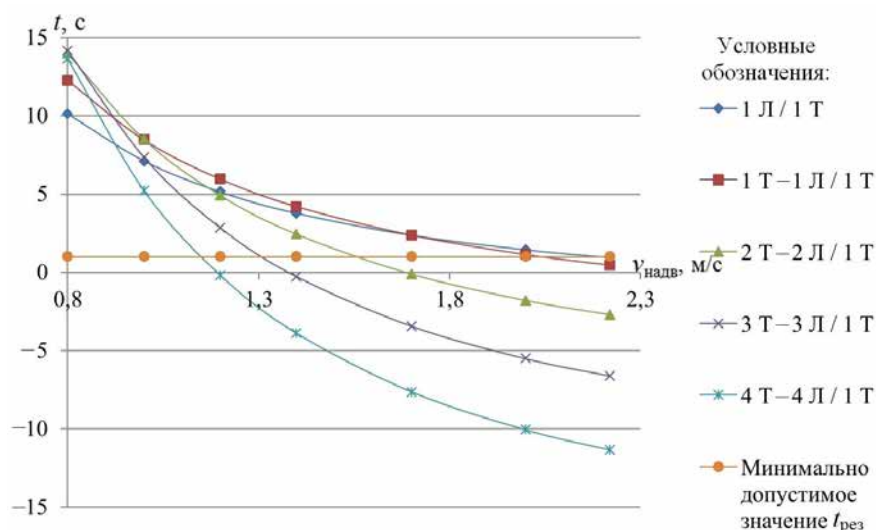


Рис. 6. График зависимости временных интервалов ($t_{рез}$) от скорости надвига по первому разделительному элементу, серия экспериментов 2

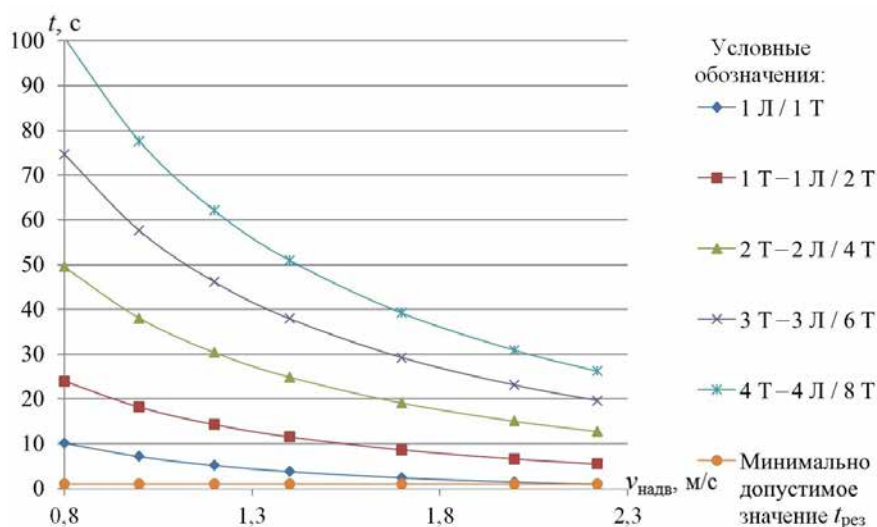


Рис. 7. График зависимости временных интервалов ($t_{рез}$) от скорости надвига по первому разделительному элементу, серия экспериментов 3

На основании построенных графиков подобрана регрессионная модель для определения зависимости временных интервалов между смежными отцепами дифференцированной длины на разделительных элементах от скорости надвига; в общем виде она представлена формулой:

$$t = a \cdot v_{надв}^4 - b \cdot v_{надв}^3 + c \cdot v_{надв}^2 - d \cdot v_{надв} + e, \quad (3)$$

где $v_{надв}$ — реализуемая скорость надвига, м/с; a, b, c, d, e — коэффициенты уравнения аппроксимации (таблица 5).

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

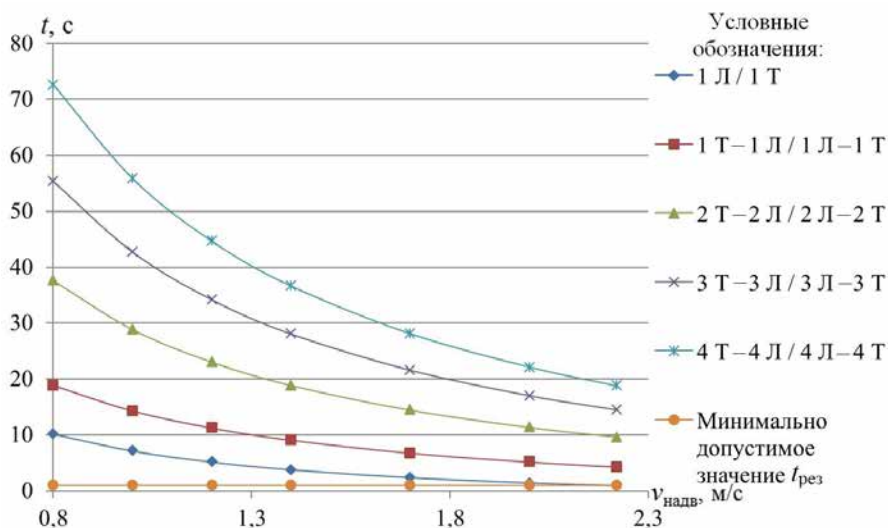


Рис. 8. График зависимости временных интервалов ($t_{рез}$) от скорости надвига по первому разделительному элементу, серия экспериментов 4

Таблица 5

Коэффициенты уравнения аппроксимации для определения временных интервалов между смежными отцепами дифференцированной длины на разделительных элементах

Коэффициент	a	b	c	d	e
Серия экспериментов 1					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	3,48	25,91	74,70	103,00	59,09
Вариант 3	5,61	41,75	120,12	164,58	90,09
Вариант 4	7,82	57,88	165,42	224,07	117,17
Вариант 5	7,81	58,98	172,58	239,92	122,98
Серия экспериментов 2					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	2,90	21,64	62,70	87,46	51,98
Вариант 3	4,30	32,10	92,87	128,72	72,17
Вариант 4	4,91	37,25	109,67	154,91	84,96
Вариант 5	6,87	51,14	147,35	202,41	104,61
Серия экспериментов 3					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	4,25	31,86	92,69	130,47	83,57
Вариант 3	8,22	61,67	179,81	254,17	165,9
Вариант 4	12,34	92,41	268,93	379,66	248,47
Вариант 5	16,68	124,98	363,80	513,71	335,90
Серия экспериментов 4					
Вариант 1	2,30	17,24	50,10	69,86	41,84
Вариант 2	3,39	25,36	73,57	103,30	66,00
Вариант 3	6,44	48,20	139,96	196,73	127,43
Вариант 4	8,76	66,11	194,16	276,85	182,82
Вариант 5	12,31	92,13	267,65	376,59	244,72

Существенное влияние на временные интервалы на разделительных элементах сортировочной горки оказывает скорость надвига, длина и структура отцепов (расположение в отцепе вагонов различной массы). При увеличении длины распускаемых отцепов уменьшается влияние скорости надвига на величину временного интервала на разделительном элементе.

При увеличении числа вагонов в смежных отцепках возрастет временной интервал на первом разделительном элементе, вне зависимости от структуры отцепов. При этом возможно появление интервалов меньше нормативных значений как между смежными, так и несмежными отцепками на последующих разделительных элементах спусковой части горки [9].

В случае скатывания одиночных отцепов вслед за длинными отцепками при повышении скорости надвига возможен нагон впереди идущего отцепа на первом разделительном элементе.

На основании результатов моделирования процесса скатывания отцепов разной длины в разных сочетаниях получены зависимости временных интервалов от скорости надвига на первом разделительном элементе спусковой части горки.

Методом подбора регрессионной модели получены в аналитическом виде зависимости для определения временных интервалов между смежными отцепками дифференцированной длины на разделительных элементах. ■

Литература

1. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. МПС РФ. М. : «Техинформ». 2003. 168 с.
2. Бобровский В. И. Оптимизация режимов торможения отцепов расчетной группы состава / В. И. Бобровский, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. 2013. № 1 (43). С. 104–112. ISSN 2307-3489.
3. Карасев С. В. Влияние конструкции горки, структуры вагонопотока и внешней среды на качество заполнения путей сортировочного парка : автореф. дис. ... на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.22.08. – Новосибирск : СГУПС, 2003. 24 с.
4. Быкадоров А. В. Некоторые особенности скатывания отцепов из нескольких вагонов // Труды Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта. Вопросы эксплуатации железных дорог ; Вып. XX. – Новосибирск : НИИЖТ, 1959. С. 150–157.
5. Осипов Д. В. Анализ развития методов расчета положений точек отрыва отцепов от состава // Совершенствование технологии перевозочного процесса. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2015. С. 99–105.
6. Осипов Д. В. Метод расчета координат точек отрыва одновагонных отцепов на перевальной части сортировочных горок // Транспорт: наука, техника, управление. 2016. № 3. С. 62–66. ISSN 0236-1914.
7. Климов А. А. Моделирование процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки при роспуске / А. А. Климов, А. А. Гунбин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2011. № 2. С. 88–91. ISSN 2071-3827.
8. Гунбин А. А. Алгоритм имитационного моделирования скатывания с горки многовагонных отцепов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : м-лы 7-й Международн. научн.-практ. конф. Т. 1. – Иркутск : ИрГУПС, 2016. С. 334–337.
9. Бобровский В. И. Оптимизация режимов расформирования составов на сортировочных горках / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Наука та прогрес транспорту. 2010. № 32. С. 224–229. ISSN 2307-3489.

Literature

1. Rules and norms for the design of sorting devices on railways of gauge 1520 mm [Pravila i normy proyektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh kolei 1520 mm]. Ministry of Railways. M. : «Tehinform». 2003. 168 p.
2. Bobrovsky V. I. Optimization of braking modes unhook settlement group composition [Optimizatsiya rezhimov tormozheniya ottsepov raschetnoy gruppy sostava] / V. I. Bobrovsky,

- A. S. Dorosh // Science and progress to transport. 2013. № 1 (43). Pp. 104–112. ISSN 2307-3489.
3. Karasev S. V. Influence of slides structure, wagon flow structure and external environment on the quality of filling the ways of the sorting park [Vliyaniye konstruktssii gorki, struktury vagonopotoka i vneshney sredy na kachestvo zapolneniya putey sortirovochnogo parka] : autoreferat remotely. ... to the postgraduate student for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.22.08. – Novosibirsk : STU, 2003. 24 p.
 4. Bykadorov A. V. Some features of the rolling of trains from several cars [Nekotoryye osobennosti skatyvaniya ottsepov iz neskol'kikh vagonov] // Proceedings of the Novosibirsk Institute of Railway Transport Engineers. Issues of operation of railways; Issue. XX. Novosibirsk : NIRT, 1959. Pp. 150–157.
 5. Osipov D. V. Analysis of the development of methods for calculating the positions of the points of separation of traps from the composition // Perfection of the technology of the transportation process [Analiz razvitiya metodov rascheta polozheniy toчек otryva ottsepov ot sostava // Sovershenstvovaniye tekhnologii perevochnogo protsessa]. Novosibirsk : STU Publishing House, 2015. Pp. 99–105.
 6. Osipov D. V. The method of calculating the coordinates of the separation points one railway Carriage on the saddle of the marshalling yards [Metod rascheta koordinat toчек otryva odnovagonnykh ottsepov na pereval'noy chasti sortirovochnykh gorok] // Transport: science, technology, management. 2016. № 3. Pp. 6266. ISSN 0236-1914.
 7. Klimov A. A. Simulation process from the sorting roller coaster during the opening [Modelirovaniye protsessa skatyvaniya ottsepov iz neskol'kikh vagonov s sortirovochnoy gorki pri rospuske] / A. A. Klimov, A. A. Gunbin // Scientific transport problems of Siberia and the Far East. 2011. № 2. Pp. 88–91. ISSN 2071-3827.
 8. Gunbin A. A. Algorithm of the imitational modeling role down from the roller of the Multi-railway carriage trailer [Algoritm imitatsionnogo modelirovaniya skatyvaniya s gorki mnogovagonnykh ottsepov] // Transportation Infrastructure of the Siberian Region: Materials of the 7th International Scientific and Practical Conference T. 1. – Irkutsk : IrGUPS, 2016. Pp. 334–337.
 9. Bobrovsky V. I. Optimization of the modes of disbanding the formulations on the sorting roller coaster [Optimizatsiya rezhimov rasformirovaniya sostavov na sortirovochnykh gorkakh] / V. I. Bobrovsky, A. V. Kudryashov // Science and Progress to Transport. 2010. № 32. P. 224–229. ISSN 2307-3489.

Статья сдана в редакцию 18 мая 2017 года

Я. А. Мишин

Методика расчета тока в колесно-моторном блоке при аварийных режимах работы тягового двигателя

UDC 629.4.023

Ya. A. Mishin

Method of calculating the current wheel-motor blocks during emergency operation traction motors

Аннотация

В статье проведен анализ данных журнала формы ТУ-92 сервисного локомотивного депо «Свердловск» за три месяца 2016 года, который показал, что основные дефекты подшипников приходятся на электроожоги поверхностей роликов. Для выявления причин появления электроожогов проанализированы аварийные режимы работы тягового электродвигателя. На основании анализа составлена схема распределения тока в колесно-моторном блоке. Отмечено, что приведенная схема показывает только пути протекания тока в общем виде и не позволяет получить количественные характеристики токовой загруженности подшипниковых узлов.

Разработана методика расчета распределения тока в колесно-моторном блоке при аварийных режимах работы тягового двигателя, позволяющая учитывать объемное растекание тока

в элементах тягового электропривода электровоза. С помощью предложенной методики составлены схемы замещения тягового двигателя при пробое изоляции и при круговом огне с перебросом дуги на подшипниковый щит.

Результаты верификации моделирования, выполненного в программах Multisim и Comsol Multifisics, показали, что при исследовании распределения тока в остове погрешность составляет не более 6%, а в случае переброса дуги на подшипниковый щит – не более 0,2%.

Исследование предложенных схем замещения в программе Multisim показало, что при пробое изоляции наибольший ток протекает через моторно-якорные и моторно-осевые подшипники, а в случае переброса дуги на подшипниковый щит больший ток протекает через моторно-осевые подшипники. Выявлено, что сложная геометрия якоря и остова тягового двигателя

не оказывают существенно влияния на распределение тока. На величину токов значительное влияние оказывают переходные сопротивления подшипников и зубчатой передачи.

Ключевые слова: методика, электровоз, колесно-моторный блок, аварийный режим, тяговый двигатель, подшипники, электроожоги, схемы замещения.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-118-127

Annotation

The article analyzes the log data form TU-92 service locomotive depot «Sverdlovsk» for three months in 2016, which showed that the main bearing defects occur in electric burns roller surfaces. In order to identify the causes of elektroozhogov analyzed emergency operation of the traction motor. An analysis is made of the current distribution diagram of a wheeled motor unit. It is noted that the above diagram shows

Ярослав Александрович Мишин, аспирант; кафедра «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения; Екатеринбург, Россия. E-mail: yaroslav_mishin@mail.ru.

Статья рекомендована к печати М. Г. Дурандиным, канд. техн. наук, доцентом; кафедра «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: mdurandin@usurt.ru.

Yaroslav Alexandrovich Mishin, graduate student; Department of «Electric traction» of the Ural State University of Railway Transport; Yekaterinburg, Russia. E-mail: yaroslav_mishin@mail.ru.

The article was recommended for publication by M.G. Durandin, PhD in Engineering, assistant professor, faculty «Electric traction» of the Ural State University of Railway Transport E-mail: mdurandin@usurt.ru.

only the current path in the general form and does not allow to obtain quantitative characteristics of the current load of the bearing assemblies.

A method for calculating the current distribution in the wheel-motor unit during emergency operation modes traction motor, allows to take into account the volume of the current spreading in the electric traction drive elements. With the proposed technique composed equivalent circuit of the traction motor in the breakdown of insulation and heat with a circular arc to transfer to the end shield.

Verifying simulation results performed by the programs Multisim and Comsol Multifisics, showed that when the current distribution in the core study error is not more than 6%, and in the case of the arc was transferred to the bearing plate – not more than 0,2%.

Investigation of the proposed equivalent circuits in the Multisim program has shown that the breakdown of the insulation the largest current flows through the motor-anchor and motor-axial bearings, and in the case of the arc to transfer to the bearing

shield and a larger current flows through the motor-axial bearings.

It revealed that the complex geometry of the armature and the core of the traction motor is not substantially affect the current distribution. The magnitude of the currents is significantly influenced by the transitional resistance of the bearings and gearing.

Key words: method, electrics, wheel-motor unit, emergency cycle, traction motor, chock, electric burns, and equivalent circuit.

DOI:10.20291/2079-0392-2017-3-118-127

Основные расходы, связанные с ремонтом тягового подвижного состава, приходится на восстановление и замену изношенного оборудования. Износ узлов и деталей объясняется эксплуатацией локомотивов в условиях сильной запыленности, влажности и широком диапазоне температур.

Наиболее нагруженным узлом электровоза, с точки зрения износа, является колесно-моторный блок – роликовые подшипники. Один из основных видов износа подшипников* – электроэрозийный (имеет немеханическую природу, обусловлен протеканием электрического тока).

Электроэрозию можно описать как процесс вырывания расплавленного металла с поверхности анода (ролика) под действием электрического разряда в жидкой среде (смазке) [1].

Впервые электроэрозийные повреждения подшипников были обнаружены на электровозах ВЛ 8 и ВЛ 10. Электрожоги возникали потому, что электрическая цепь заземлялась на остовы отдельных тяговых двигателей. Это уменьшало количество параллельных

цепей и увеличивало ток, проходящий через подшипники.

Для снижения электроэрозийного износа подшипников электровозов ВЛ 8 и ВЛ 10 электрическая цепь заземлялась на остовы всех тяговых двигателей, что уменьшило ток, протекающий по параллельным цепям. Однако такое техническое решение не исключало повреждения подшипников электрическим током [2].

Для решения этой проблемы ученые Уральского государственного университета путей сообщения и УрО ОАО ВНИИЖТ разработали токосъемные устройства, которые устанавливались на буксы с торца оси колесной пары в шахматном порядке, а равномерное распределение тока обеспечивалось путем подбора сопротивлений за счет разной длины и сечений заземляющих проводов. При установке этих устройств тяговый ток, протекая через двигатели, попадает на сборную шину, далее распределяется по заземляющим проводам на торцы оси колесной пары и через составное колесо уходит в рельс. Такие устройства нашли широкое применение на электроподвижном составе

* Другие виды износа подшипников (в настоящей статье не рассматриваются): абразивный (происходит из-за попадания инородных частиц и недостаточного количества смазки), осповидный (характеризуется работой подшипников при нагрузках, превышающих номинальные значения), коррозионный (возникает при резкой смене температуры и повышенной влажности).

и на сегодняшний день ими оборудованы все электровозы не только находящиеся в эксплуатации, но и вновь строящиеся [3].

Однако результаты осмотров и ревизий подшипниковых узлов, проводимых в сервисных локомотивных депо, показывают наличие электроожогов на поверхности роликов. Для подтверждения этого были проанализированы данные журнала формы ТУ-92 сервисного локомотивного депо «Свердловск» за три месяца 2016 года. Анализ показал основные дефекты, по которым бракуются подшипники тяговых двигателей электровозов серии ВЛ и 2ЭС6 (таблица 1).

Итак, из 32 подшипников марки 42330, осмотренных за три месяца 2016 года, пять забракованы из-за электроожогов, из 310 осмотренных подшипников марки 42228 забраковано 32 из-за электроожогов и 13 – из-за задиров и ползунов на поверхности роликов. Таким образом, более 15% подшипников марки 42330 и более 10% марки 42228 бракуются по причинам электроожогов.

Для выявления причин появления электроожогов необходимо проанализировать режимы работы двигателя. Выделяют нормальный и аварийный режимы; последний характеризуется возникновением больших токов.

Аварийный режим может быть вызван круговым огнем с перебросом дуги на заземленные части или пробоем изоляции проводников обмотки якоря на его сердечник.

Выделяют две причины возникновения кругового огня: неблагоприятные потенциальные условия на коллекторе и случайное засорение угольной пылью изоляционного расстояния между смежными коллекторными пластинами [4]. Пробой изоляции провоцируется работой двигателя в условиях повышенных температур, влажности, вибраций и механических ударов [5].

На основе вышеказанного разработана схема распределения тока в колесно-моторном блоке (рис. 1).

Однако схема, приведенная на рис. 1, показывает только пути протекания тока в общем виде, не позволяя получить количественные характеристики токовой загруженности подшипниковых узлов.

Для возможности получения величины токов, протекающих через подшипниковые узлы, необходимо рассмотреть конструкцию колесно-моторного блока. Большая часть его элементов выполнена из конструкционной стали, которая представляет собой проводник с малым электрическим сопротивлением, поэтому решающую роль в распределении

Таблица 1

Распределение дефектов подшипников за январь, август и декабрь 2016 года

Марка подшипника	Дефект	Месяц			Кол-во забракованных подшипников	Общее кол-во подшипников, осмотренных за три месяца 2016 года
		январь	август	декабрь		
42330	Электроожоги на поверхности роликов	1		4	5	32
	Задир («елочка») и заусенцы на торцах ролика	1			1	
	Задир (в круговом направлении) и ползуны на поверхности роликов			1	1	
	Забойны на сепараторе		1		1	
42228	Электроожоги на поверхности роликов	10	16	6	32	310
	Задир («елочка») и заусенцы на торцах ролика		2	1	3	
	Задир (в круговом направлении) и ползуны на поверхности роликов		10	3	13	

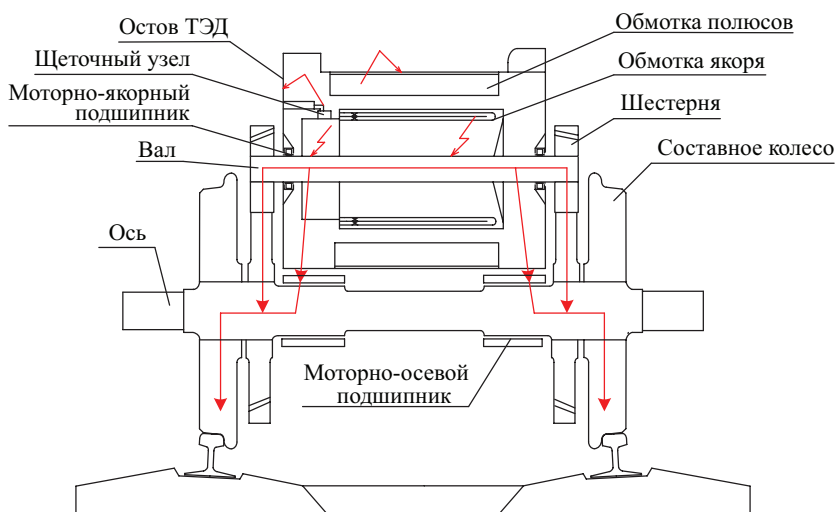


Рис. 1. Распределение тока в колесно-моторном блоке

тока в колесно-моторном блоке играет переходное сопротивление подшипников и зубчатой передачи. Величина переходного сопротивления определяется площадью контакта и диэлектрическими свойствами смазочного материала.

В условиях сервисного депо опытным путем с помощью миллиметра определялись следующие переходные сопротивления между наружным и внутренним кольцами моторно-якорного подшипника (МЯП) с коллекторной и противоколлекторной сторон, моторно-осевым подшипником (МОП) и осью колесной пары с коллекторной и противоколлекторной стороны, шестерней и зубчатым колесом (зубчатое зацепление) с коллекторной и противоколлекторной сторон.

Результаты статических измерений представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что сопротивление зубчатого зацепления в десять раз больше сопротивления подшипников.

Рассмотрим случай пробоя изоляции нажимного конуса с учетом измеренных переходных сопротивлений; для получения достоверной схемы замещения колесно-моторного блока необходимо учитывать объемное распределение тока в якоре и остове.

Расчет токораспределения в колесно-моторном блоке представляет собой комплексную задачу, требующую для решения больших вычислительных мощностей, поэтому целесообразно рассматривать распределение тока в отдельных его частях.

Таблица 2

Переходные сопротивления в колесно-моторном блоке

Участок	Среднее переходное сопротивление, Ом
МЯП с коллекторной стороны	0,0345
МЯП с противоколлекторной стороны	0,0352
МОП с коллекторной стороны	0,0331
МОП с противоколлекторной стороны	0,0336
Зубчатое зацепление с коллекторной стороны	0,3312
Зубчатое зацепление с противоколлекторной стороны	0,3381

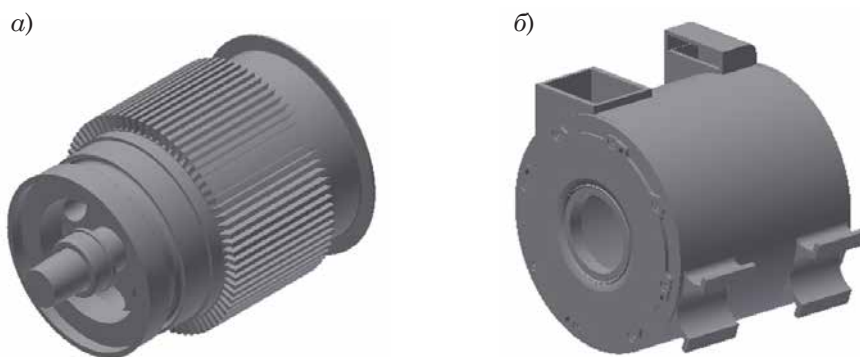


Рис. 2. Твёрдотельные модели
а – якорь тягового двигателя; б – остов тягового двигателя

Разработана (с использованием программы Autodesk Inventor) твердотельная модель якоря и остова тягового двигателя ТЛ-2К1, учитывающая реальную геометрию частей машины (рис. 2). Твердотельная модель якоря импортировалась в программу Comsol Multiphysics. При построении модели сердечника якоря было принято допущение, что пакет якоря цельный.

Далее задавались граничные условия: в точке пробоя изоляции конуса задавался потенциал, а потенциал уровня нуля – на поверхности дорожек качения наружных колец и в местах посадки шестерен на вал. Твердотельная модель якоря и остова разбивалась на конечные элементы в форме тетраэдров с минимальным 0,00189 м и максимальным 0,04420 м размерами.

Постобработка результатов заключалась в расчете тока, втекающего в поверхности с нулевым потенциалом, и построении линий плотности тока, на основании чего рассчитывалось сопротивление участка.

Алгоритм расчета токораспределения

- 1) Создание трехмерной твердотельной модели рассматриваемого объекта.
- 2) Задание поверхностей или точек приложения внешнего потенциала и потенциала уровня нуля.
- 3) Расчет рассматриваемой модели.
- 4) Определение величины сопротивления участков.

Аналогично моделировался случай пробоя изоляции в лобовой части якоря. Результаты построений линий плотности тока представлены на рис. 3.

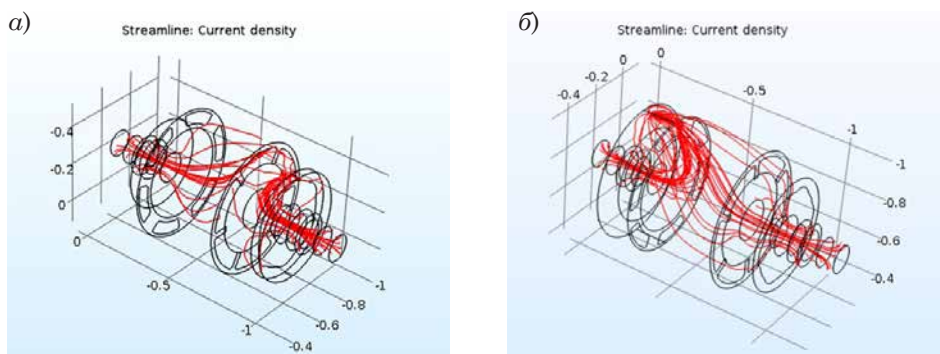


Рис. 3. Линии плотности тока
а – пробой конуса; б – пробой в лобовой части

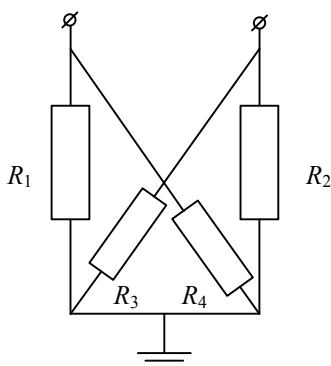


Рис. 4. Схема замещения остова тягового двигателя
 R_1 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остоу с коллекторной стороны»; R_2 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остоу с противокolleкторной стороны»; R_3 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остоу с противокolleкторной стороны»; R_4 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остоу с коллекторной стороны»

Исследование распределения тока в остоу тягового двигателя проводилось по описанному выше алгоритму. На поверхности контакта наружного кольца подшипника и подшипникового щита с коллекторной стороны выбиралась точка, в которой задавался потенциал, нулевой потенциал задавался на ближней поверхности прилегания моторно-осевого подшипника к остоу. С противоположной стороны граничные условия задавались аналогично.

На основе расчетов сопротивлений участков и с учетом того, что при пробое изоляции якоря ток одновременно втекает в подшипниковые щиты с коллекторной и противокolleкторной сторон, предложена схема замещения остова тягового двигателя (рис. 4).

Для верификации предложенной схемы замещения остова в программах Comsol Multiphysics и Multisim проводилось моделирование распределение тока в остоу.

В программе Comsol Multiphysics на поверхности контакта наружного

кольца подшипника и подшипникового щита с коллекторной стороны выбиралась точка, которой присваивалось произвольное значение тока, например, 15 А, а с противоположной стороны – 8 А. Различные значения задавались для имитации неравномерного распределения тока в якоре. Нулевой потенциал задавался на поверхностях прилегания моторно-осевых подшипников к остоу. Далее в программе схемотехнического моделирования Multisim была построена схема замещения остова, в которой задавались источники тока и рассчитанные ранее сопротивления участков. Сравнение результатов моделирования, выполненного в программах Multisim и Comsol Multifisics (таблица 3), показывает, что погрешность результатов составляет не более 6%, что подтверждает работоспособность предложенной схемы замещения.

Проведенные исследования позволяют составить общую схему замещения колесно-моторного блока при пробое изоляции якоря (рис. 5).

Таблица 3

Результаты моделирования в Multisim и Comsol Multifisics

Заданный ток, А		Multisim полученный ток, А		Comsol Multifisics полученный ток, А	
коллекторная сторона	противоколлекторная сторона	МОП коллекторная сторона	МОП противокolleкторная сторона	МОП коллекторная сторона	МОП противокolleкторная сторона
15	8	12,40	10,60	11,74	9,97
15	10	13,20	11,80	12,43	11,17
18	15	16,90	16,10	15,95	15,20

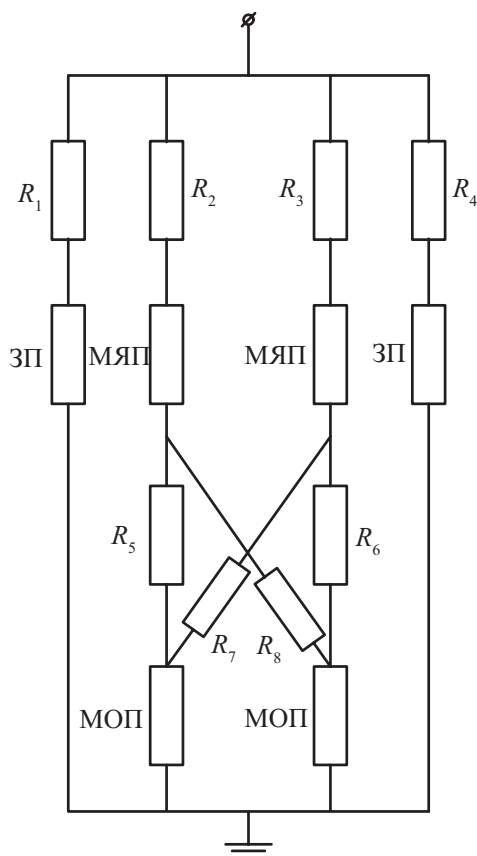


Рис. 5. Схема замещения колесно-моторного блока в аварийном режиме работы двигателя

R_1 – сопротивление участка «нажимной конус – вал с коллекторной стороны»; R_2 – сопротивление участка «нажимной конус – внутреннее кольцо с коллекторной стороны»; R_3 – сопротивление участка «нажимной конус – вал с противокolleкторной стороны»; R_4 – сопротивление участка «нажимной конус – внутреннее кольцо с противокolleкторной стороны»; R_5 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остову с коллекторной стороны»; R_6 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остову с противокolleкторной стороны»; R_7 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остову с противокolleкторной стороны»; R_8 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остову с коллекторной стороны»; ЗП – переходное сопротивление в зубчатом зацеплении; МЯП – переходное сопротивление моторно-якорного подшипника; МОП – переходное сопротивление моторно-осевого подшипника

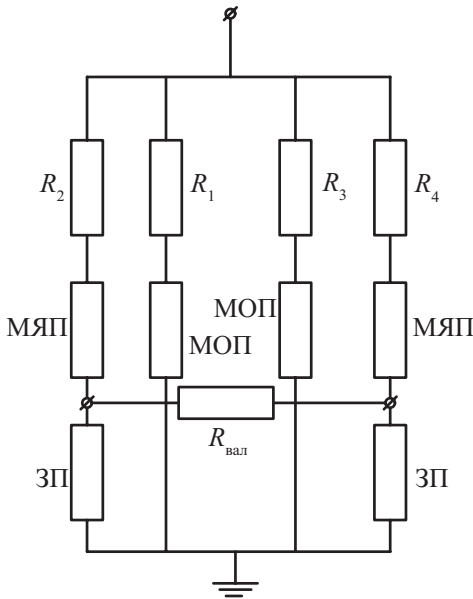
Для оценки распределения тока в колесно-моторном блоке разработанную схему исследовали в программе Multisim. Задавался источник постоянного тока – 10 А, величина переходных сопротивлений принималась в соответствии с таблицей 2, а сопротивление участков задавались исходя из результатов моделирования и расчетов, величина токов в каждой цепи контролировалась амперметрами.

Анализ результатов показал, что в цепочках, состоящих из сопротивлений R_1 , ЗП и R_4 , ЗП, протекает ток, равный 0,7 А, а в цепочках, состоящих из сопротивлений R_2 , МЯП, R_5 , МОП и R_3 , МЯП, R_6 , МОП, – 4,2 А. Таким образом, сопротивление участков не оказывает существенного влияния на токораспределение, и наибольший ток протекает через параллельные ветви,

состоящие из переходных сопротивлений моторно-якорных и моторно-осевых подшипников.

Аварийный режим работы тягового двигателя может быть связан не только с пробоем изоляции, но и с перебросом дуги на заземленные части. Этот процесс в двигателе характеризуется большим током, который при полном времени срабатывания аппаратов защиты 0,02 с может достигать 12 кА [6].

При рассмотрении распределения тока в случае переброса дуги на подшипниковый щит двигателя можно выделить основные пути тока: от точки приложения дуги, через моторно-якорный подшипник с коллекторной стороны, далее ток может одновременно протекать через зубчатую передачу и через вал двигателя, а с вала двигателя через моторно-якорный подшипник



и зубчатую передачу с противоколлекторной стороны. Другой путь: по остову тягового двигателя через моторно-якорный подшипник, далее через зубчатую передачу с противоколлекторной стороны. Последний из возможных путей: по остову двигателя через моторно-осевые подшипники. На основе этих суждений разработана схема замещения колесно-моторного блока при перебросе дуги на остов тягового двигателя (рис. 6).

Исследование предложенной схемы проводилось в программе схемотехнического моделирования Multisim. В схеме задавались сопротивления участков R_1 , R_2 , R_3 и R_4 , значения которых были получены по описанной выше методике, а переходные сопротивления принимались из таблицы 2.

Для верификации предложенной схемы замещения колесно-моторного блока в программе Comsol Multiphysics проводилось моделирование распределения тока при перебросе дуги на подшипниковый щит.

При моделировании этого режима использовалось два модуля программы: Electric Currents и Electric Circuit. На внутренней поверхности подшипникового щита задавался потенциал, а нулевой потенциал задавался на

Рис. 6. Схема замещения колесно-моторного блока при перебросе дуги

R_1 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остову с коллекторной стороны»; R_2 – сопротивление участка «подшипниковый щит – место посадки наружного кольца с коллекторной стороны»; R_3 – сопротивление участка «подшипниковый щит – поверхность прилегания моторно-осевого подшипника к остову с противоколлекторной стороны»; R_4 – сопротивление участка «подшипниковый щит – место посадки наружного кольца с коллекторной стороны»; $R_{вал}$ – сопротивление вала; ЗП – переходное сопротивление в зубчатом зацеплении; МЯП – переходное сопротивление моторно-якорного подшипника; МОП – переходное сопротивление моторно-осевого подшипника

четырех поверхностях: с торца оси колесной пары с коллекторной и противоположной коллектору стороны 2 и на наружной поверхности кольца 1 с коллекторной и противоколлекторной стороны. Для задания переходного сопротивления зубчатого зацепления в твердотельную модель в месте посадки шестерни насаживалось кольцо 1 (рис. 7) с большим внутренним диаметром, чем диаметр конца вала. Далее твердотельная модель разбивалась на тетраэдральные конечные элементы с такими же размерами.

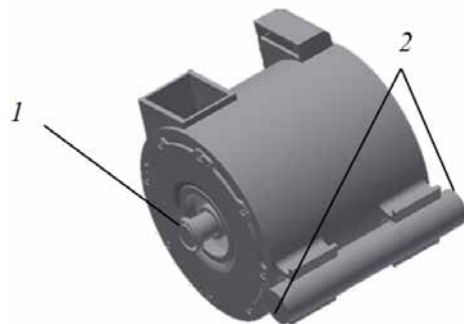


Рис. 7. Твердотельная модель колесно-моторный блок электровоза

1 – кольцо, имитирующее сопротивление зубчатого зацепления; 2 – торец оси колесной пары

Таблица 4

Результаты моделирования в Multisim и Comsol Multifisics

Заданный потенциал, В	Multisim				Comsol Multifisics			
	коллекторная сторона		противоколлекторная сторона		коллекторная сторона		противоколлекторная сторона	
	ток через зубчатое зацепление, А	ток с оси колесной пары, А	ток через зубчатое зацепление, А	ток с оси колесной пары, А	ток через зубчатое зацепление, А	ток с оси колесной пары, А	ток через зубчатое зацепление, А	ток с оси колесной пары, А
300	833,06	9959,00	833,06	9959,00	830,98	9984,10	830,95	9984,10
400	1111,00	13279,00	1111,00	13279,00	1108,00	13312,00	1108,00	13312,00
500	1388,00	16599,00	1388,00	16599,00	1385,00	16640,00	1385,00	16640,00

При моделировании аварийного процесса переброса дуги на подшипниковый щит принимались значения потенциала 300, 400 и 500 В.

Результаты моделирования сведены в таблицу 4. Названия столбцов в таблице соответствуют следующим поверхностям на рис. 7: ток через зубчатое зацепление поверхности 1; ток с оси колесной пары поверхности 2.

В результате сравнения результатов моделирования, выполненных в программах Multisim и Comsol Multifisics, ясно, что погрешность результатов составляет не более 0,2%, что подтверждает работоспособность предложенной схемы замещения.

Анализ таблицы 4 показывает, что ток, втекающий в поверхности 2, примерно в десять раз больше тока, втекающего в поверхности 1. Это свидетельствует о том, что больший ток протекает через моторно-осевые подшипники.

Методика расчета токораспределения в колесно-моторном блоке при аварийных режимах работы двигателя с использованием программы Comsol Multifisics позволяет учесть объемное

растекание тока в элементах тягового электропривода в случае короткого замыкания в силовой цепи тяговых электродвигателей. Ее использование позволило составить и обосновать электрические схемы замещения элементов тягового электропривода в режиме короткого замыкания, отражающие пути протекания тока.

В результате проведенных исследований можно говорить о необходимости защиты подшипников от повреждения их электрическим током. Поскольку расчет предложенных схем замещения в программе Multisim показал, что при пробое изоляции наибольший ток протекает через моторно-якорные и моторно-осевые подшипники, а в случае переброса дуги на подшипниковый щит больший ток протекает через моторно-осевые подшипники. Также выявлено, что сложная геометрия якоря и остова тягового двигателя не оказывает существенного влияния на распределение тока. Очевидно, что значительное влияние на величину токов оказывают переходные сопротивления подшипников и зубчатой передачи. ■

Литература

1. Буйнов А. П., Мишин Я. А. Повреждение роликовых подшипников электровозов электрическим током // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 1. С. 166–169. ISSN 2071-3827.
2. Медведев Н. Ф., Виноградов Ю. Н. Исследование работы моторно-осевых подшипников с новыми схемами заземления тягового тока // Труды ВНИИЖТ. 1974. Вып. 516. С. 98–107.

3. Виноградов Ю. Н., Рыков Р. В. Повышение работоспособности роликовых подшипников тяговых двигателей // Железнодорожный транспорт. 2009. № 8. С. 56–58. ISSN 0044-4448.
4. Иоффе А. Б. Тяговые электрические машины / 2-е изд., перераб. и доп. – М. – Л. : Энергия, 1965. 232 с.
5. Дурандин М. Г., Кузьминых И. А. Расчет электрических полей в якорной изоляции тяговых электродвигателей локомотивов с учетом теплового фактора // Вестник УрГУПС. 2010. № 4 (8). С. 30–37. ISSN 2079-0392.
6. Хоменко Б. И., Логинов И. Я. Результаты исследования режима кругового огня по коллектору тягового двигателя в схеме электровоза ВЛ 80К на аналоговой модели // В сб. трудов ВЭЛНИИ. – Новочеркасск : Электровозостроение, 1966. Т. 7. С. 78–87.

Literature

1. Buynosov A. P. Mishin Y. A. Damage to roller bearings electric electrocution [Povrezhdeniye rolikovykh podshipnikov elektrovozov elektricheskim tokom] // Scientific transport problems of Siberia and the Far East. 2015. № 1. Pp. 166–169. ISSN 2071-3827.
2. Medvedev N. F., Vinogradov Yu. Research operation of motor-axial bearings with new circuits traction current earthing [Issledovaniye raboty motorno-osevykh podshipnikov s novymi skhemami zazemleniya tyagovogo toka] // Proceedings VNIIZhT. 1974. Vol. 516. Pp. 98–107.
3. Vinogradov Yu., Rykov R. V. Increased performance roller traction motor bearings [Povysheniye rabotosposobnosti rolikovykh podshipnikov tyagovykh dvigateley] // Rail. 2009. № 8. Pp. 56–58. ISSN 0044-4448.
4. Ioffe A. B. Traction electric machines [Tyagovyye elektricheskiye mashiny]. 2nd ed., Revised. and additional. – М. – Л. : Energy, 1965. 232 p.
5. Durandin M. G., Kuzminyh I. A. Calculation of electric fields to anchor the insulation of traction electric motors of locomotives in view of the thermal factor [Raschet elektricheskikh poley v yakornoy izolyatsii tyagovykh elektrodvigateley lokomotivov s uchedom teplovogo faktora] // Herald of USURT. 2010. № 4 (8). Pp. 30–37. ISSN 2079-0392.
6. Homenko B. I., Loginov I. Ya. The study circle ceasefire on collector traction motor in the electric circuit on the analog model VL80K [Rezultaty issledovaniya rezhima krugovogo ognya po kollektoru tyagovogo dvigatelya v skheme elektrovoza VL80K na analogovoy modeli] // In Proc. works of VELNII. – Novocherkassk : Electric Locomotive Industry, 1966. 7. 7. Pp. 78–87.

Статья сдана в редакцию 27 июня 2017 года

Уважаемые коллеги!

Информирую вас о требованиях, предъявляемых к оформлению статей.

При наборе используйте Word-2003 или Word-2007; шрифт (по всему тексту, в том числе в рисунках и таблицах) — тип Times, размер шрифта — 14, межстрочное расстояние — 1,5, абзацный отступ — 1,25 (1,27) см, поля — 2 см; расстановка переносов по всему тексту — автоматическая.

Набор формул: простые формулы и сочетания символов ($x^2 < y^2$; $E = mc^2$; $a^2 + b^2 = c^2$; Q_{i-1} ; ψ_j) — только в текстовом режиме, сложные

$$(s^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^e x_j^2 n_j - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^e x_j n_j \right)^2 \right]; \left(\frac{\sigma_a}{[n]} \right)$$

или S_i^m) — только в редакторе формул

Equation или в MathType.

Написание букв: русские (а, б, в, А, Б, В), греческие (Θ, Σ, Ω, Ψ, α, β, δ, ε, λ, π), а также цифры и функции (1, 2, 3; I, II, III; max, lg, sin и т.п.) пишутся только прямо; латинские (*a, b, n, A, B, N* и т.д.) — только курсивом. Исключение — курсив во вспомогательном тексте (слова «Таблица» и «Рис.», примечания в рисунках и ссылки в тексте на эти примечания).

Оформление текста: левый верхний край — инициалы, фамилия; заголовков — все буквы ПРОПИСНЫЕ, жирные, расположение — по центру набора; таблиц и рисунков: в таблицах размер шрифта — на полтора-два размера меньше, чем в основном тексте (11,5–12), расположение текста в «шапке» таблицы — по центру, в столбцах — по ширине; межстрочное расстояние — 1; слово «Таблица» — курсивное начертание, в правый край таблицы; название таблицы — начертание нормальное (прямое), расположение — по центру таблицы. В рисунках (графиках, диаграммах): размер подрисуноч-

ной подписи — 14, расположение — по центру набора, слово «Рис.» — курсив, название рисунка — нормальное начертание, описание рисунка (экспликация) — нормальное начертание, условные обозначения — курсивное начертание, их расшифровка — нормальное. Расположение таблиц и рисунков — строго после ссылки на них.

Кроме того, рисунки обязательно прилагаются к материалу (один рисунок — один файл; формат — *.jpg).

Ссылки на литературу в тексте пишутся в квадратных скобках ([1], [1, 2] или [3–5]); нумерация сквозная. Список литературы/источников оформляется по ГОСТ 7.0.5–2008.

В конце статьи обязательно ставится дата отсыла материала в редакцию.

Объем статьи — не более 14-ти страниц.

Название файла: Фамилия. Первое слово заголовка. Подчеркивание. Последнее слово заголовка (Сидоров. Синтез_электроприводом).

К материалу (статье) обязательно прилагаются (отдельным файлом): УДК, сведения об авторе, аннотация, ключевые слова (название файла: УДК 000. Сидоров. Синтез_электроприводом).

Материалы для очередного номера журнала «Вестник УрГУПС» принимаются до 30 числа первого месяца квартала (до 30-го января, 30-го апреля, до 30-го июля, до 30-го октября). Материалы, поступившие в редакцию после 30-го числа, будут опубликованы только в следующем номере.

Успешной работы!

*Л. Барышникова,
литературный и выпускающий
редактор журнала «Вестник УрГУПС»*

Уважаемые читатели и авторы журнала «Вестник УрГУПС»!

Если вам нравится наш журнал, вы можете оказать содействие в его развитии,

перечислив денежные средства по реквизитам:

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС

ИНН-КПП 6670317893/667001001

ОГРН 1156600001470

620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Шевченко, д. 20, помещение 1

Р/с 40703810863010000192

в ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ

к/с 30101810900000000795

БИК 046577795

Назначение платежа: «Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС».

Ваша финансовая поддержка позволит нам увеличить число публикаций, повысить индексы цитирования журнала и наших авторов.

Уважаемые руководители инновационных компаний и предприятий!

Предлагаем вам услуги по продвижению вашей продукции через сеть Ассоциации выпускников УЭМИИТ-УрГУПС.

Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС – это кооперация большого числа неравнодушных людей различных сфер деятельности, окончивших наш университет.

Кроме того, предлагаем услуги по подбору молодых специалистов, по организации поиска решений прикладных и научных задач в рамках диссертационных работ, выполняемых в УрГУПС.

Всю необходимую информацию вы можете получить по тел. (343) 221-24-67

или на сайте <http://www.usurt.ru/vypusnikam/assotsiatsiya-vypusnikov-urgups>

Извещение	<p>Получатель: Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</p> <p>КПП: 667001001 ИНН: 6670317893</p> <p>ОКТМО: 65701000 Р/сч.: 40703810863010000192</p> <p>в: ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</p> <p>БИК: 046577795 К/сч.: 30101810900000000795</p> <p>Код бюджетной классификации (КБК): _____</p> <p>Платеж: Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</p> <p>Плательщик: _____</p> <p>Адрес плательщика: _____</p> <p>ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____</p> <p>Сумма: _____ руб. _____ коп.</p> <p>Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2017 г.</p>
Квитанция	<p>Получатель: Ассоциация выпускников УЭМИИТ-УрГУПС</p> <p>КПП: 667001001 ИНН: 6670317893</p> <p>ОКТМО: 65701000 Р/сч.: 40703810863010000192</p> <p>в: ПАО КБ «УБРИР» филиал ССБ</p> <p>БИК: 046577795 К/сч.: 30101810900000000795</p> <p>Код бюджетной классификации (КБК): _____</p> <p>Платеж: Пожертвование для поддержки научных журналов УрГУПС</p> <p>Плательщик: _____</p> <p>Адрес плательщика: _____</p> <p>ИНН плательщика: _____ № л/сч. плательщика: _____</p> <p>Сумма: _____ руб. _____ коп.</p> <p>Подпись: _____ Дата: «____» _____ 2017 г.</p>

ф. СП-1



АБОНЕМЕНТ

на ~~газету~~
журнал

70070

(индекс издания)

Вестник УрГУПС

(наименование издания)	Количество комплектов:	
------------------------	------------------------	--

на 2017 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

на ~~газету~~
журнал

70070

(индекс издания)

ПВ	место	литер

Вестник УрГУПС

(наименование издания)

Стои- мость	подписки	руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	руб. ____ коп.		

на 2017 год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						X	X	X	X	X	X

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)