

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

---

Издается с 1990 г.

№ 8

Москва 2019

---

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

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Дружинина О.В., Людаговская М.А.</b> Интеллектуальные методы для разработки и совершенствования информационно-управляющих систем на железнодорожном транспорте .....	3
<b>Белый О.В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э.</b> Сравнительный анализ рейтингов устойчивой мобильности в международных оценочных системах .....	13
<b>Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Акмайкин Д.А.</b> Оценка перспектив использования данных метеоспутников для планирования маршрута судна в арктических водах.....	22
<b>Покровская О.Д.</b> Методика рейтинговой оценки терминально-логистических комплексов .....	29
<b>Палагин Ю.И.</b> Оптимальное планирование транспортно-логистических операций в цепях поставок .....	35
<b>Пашков Н.Н., Лысенко Н.Е., Кузнецов А.П.</b> Исследование связности технологических параметров железнодорожных грузовых фронтов.....	41
<b>Тиверовский В.И.</b> Международная выставка складской логистики LogiMAT 2019 в Германии .....	46
<b>Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б., Штанькова Н.В.</b> Сравнение каналов управления высотой полета летательного аппарата с элементами нейро-нечеткой и нечеткой логики.....	51
<b>Корольков Б.П.</b> Универсальности в иерархически структурированных транспортных системах.....	59
<b>Арипов Н.М., Камалетдинов Ш.Ш.</b> Оценка качества документов станционной коммерческой отчетности на железнодорожном транспорте Республики Узбекистан.....	64
Информация для авторов .....	68

## CONTENTS

<b>Druzhinina O.V., Lyudagovskaya M.A.</b> Application of Intellectual Methods for Development and Upgrade of the Information Management Systems at the Railways .....	3
<b>Bely O.V., Barinova L.D., Zabalkanskaya L.E.</b> Comparative Analysis of Ratings of Sustainable Urban Mobility in the International Evaluation Systems.....	13
<b>Grinyak V.M., Devyatisilny A.S., Akmaykin D.A.</b> Assessment of the Prospects for Ship Route Planning in Arctic Waters Using Marine Weather Data from Satellites .....	22
<b>Pokrovskaya O.D.</b> Methods of Rating Terminal and Logistic Complexes .....	29
<b>Palagin Yu.I.</b> Optimal Delivery Routing in Supplier Chains.....	35
<b>Pashkov N.N., Lysenko N.E., Kuznetsov A.P.</b> Research of Technological Parameters Coherence of the Railway Cargo Fronts .....	41
<b>Tiverovsky V.I.</b> International Exhibition of Warehousing Logistics LogiMAT 2019 in Germany.....	46
<b>Zamyslov M.A., Maltsev A.M., Mikhaylenko S.B., Shtankova N.V.</b> Comparison of Control Channels for Flight Altitude of the Aircraft with the Elements of Neural-Fuzzy and Fuzzy Logic.....	51
<b>Korolkov B.P.</b> Universality in Hierarchically Structured Transport Systems.....	59
<b>Aripov N.M., Kamaletdinov Sh.Sh.</b> Quality Assessment of Station Commercial Books and Records at the Railways of the Republic of Uzbekistan.....	64
The Information for Authors.....	68

### Внимание авторов и читателей!

#### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СБОРНИКА

(по состоянию на 12.01.2019 г.)

Наукометрический показатель	Значение
Двухлетний импакт-фактор в РИНЦ	0,509
Двухлетний импакт-фактор с учетом цитирования из всех источников	0,733
Пятилетний импакт-фактор в РИНЦ	0,277
Число статей за год в РИНЦ	131

Сборник занимает 38-е место в рейтинге SCIENCE INDEX по тематике «Транспорт».

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Доктор физ.-мат. наук, профессор **Дружинина О.В.**  
(Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН),  
магистрант **Людаговская М.А.**  
(Российский университет транспорта. РУТ - МИИТ)

**APPLICATION OF INTELLECTUAL METHODS FOR DEVELOPMENT AND UPGRADE  
OF THE INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS AT THE RAILWAYS**

**Druzhinina O.V.**, Doctor (Phys.-Math.), Professor  
(FRC "Computer Science and Control" of RAS),  
**Lyudagovskaya M.A.**, Master's Student  
(Russian University of Transport. RUT-MIIT)

*Информационные системы железнодорожного транспорта, искусственный интеллект, интеллектуальные динамические системы, устойчивость, комплексные системы пространственных координат, ресурс элементов конструкции пути, диагностика объектов инфраструктуры.*

*Railway transport information systems, artificial intelligence, intelligent components, expert systems, life time components, diagnostics of infrastructure objects.*

*Представлен сравнительный анализ некоторых современных информационных транспортных систем. Охарактеризованы составные части информационно-управляющих систем отечественного железнодорожного транспорта, связанные с возможностями применения методов и подходов искусственного интеллекта. Предложена укрупненная схема интеграции информационных систем. Рассмотрены некоторые аспекты применения методов анализа интеллектуальных динамических систем с учетом их методологической основы. Изучена взаимосвязь интеллектуальных транспортных систем с комплексными системами пространственных координат с учетом внедрения технологий высокоточного спутникового позиционирования. Проанализированы перспективы развития систем с интеллектуальными компонентами в железнодорожной отрасли.*

*A comparative analysis of modern information transport systems is presented. The components of the information systems of the state railway transport associated with the use of the methods and approaches of artificial intelligence are characterized. An enlarged information systems integration scheme is proposed. Some aspects of the application of methods of analysis of intelligent dynamic systems, taking into account their methodological basis are considered. The interrelation of intelligent transport systems with complex systems of spatial coordinates with the introduction of high-precision satellite positioning technologies has been studied. The prospects for the development of systems with intelligent components in the railway industry are analyzed.*

**Введение**

В настоящее время в России принята и начала реализовываться государственная стратегия развития цифровой экономики. В состав ключевых позиций входят фундаментальная наука, исследовательская инфраструктура, IT-индустрия, отечественные передовые разработки, цифровые технологии, программа развития цифровой экономики. Сформированы методические подходы к разработке направлений программы цифровой экономики (см. книгу [1] и библиографию в ней). Структура программы состоит из семнадцати федеральных проектов, и одним из таких проектов является проект «Цифровой транспорт и логистика». В рамках реализации проектов важным аспектом является развитие научных исследований с использованием гибридных вычислителей и графических ускорителей для решения современных задач в области обработки больших объемов данных, создания нейронных сетей глубокого обучения, а также для решения задач искусственного интеллекта, математического моделирования.

Искусственный интеллект, технологии управления интеллектуальными устройствами, суперкомпьютерные

и аддитивные технологии многими исследователями выделяются в качестве важнейших технологий для развития базы цифровой экономики. Указанные технологии должны быть подкреплены строгими и адекватными математическими моделями, изучение которых позволяет получить информацию о моделируемом объекте. Технологии управления интеллектуальными устройствами на современном этапе включают использование интеллектуальных комплексов с учетом возможностей гибкого реагирования на изменения в рабочей зоне, включая факторы внешних возмущений.

Интеллектуальные транспортные системы представляют собой результат системной интеграции современных навигационных, информационных и коммуникационных технологий, средств автоматизации, транспортной инфраструктуры, средств пользователей, ориентированный на обеспечение безопасности и эффективности транспортного процесса, логистики, повышение комфортности для водителей и пассажиров [2]. Далее будет представлен обзор информационных систем с интеллектуальными компонентами, применяемых в настоящее время на железнодорожном транспорте с учетом перспектив.

Транспортные системы с интеллектуальными компонентами позволяют значительно повысить уровень автоматизации технологических и управленческих операций на железнодорожном транспорте. При этом достаточно эффективными являются методы, основанные на сочетании методов теории управления с методами теории нечетких множеств и с методами других теорий [3]. Типами интеллектуальных компонент для систем управления являются искусственные нейронные сети, эволюционные алгоритмы и компоненты, основанные на знаниях. Экспертные системы с базами знаний способны формализовать нечеткую информацию и обрабатывать ее в рамках алгоритмов при помощи аппарата теории нечетких множеств, нечеткой логики и теории управления. Использование экспертных систем актуально для решения задач моделирования в области предупреждения опасных ситуаций на железнодорожном транспорте. Характерной чертой таких задач является нечеткость и неполнота знаний о том, где и в какой промежуток времени произойдет аварийная ситуация.

Рост объемов грузовых и пассажирских перевозок требует дальнейшего совершенствования управления транспортными потоками и перевозочным процессом, эффективности использования и сокращения простоев подвижного состава, улучшения работы всех технических средств. Мировым транспортным сообществом решение актуальных проблем связывается уже не просто с системами управления транспортом, а с транспортными системами, в которых средства связи, управления и контроля изначально встроены в транспортные средства и объекты инфраструктуры, а управляющие решения принимаются на основе, получаемой в реальном времени информации [4]. Задача решается путем построения интегрированной системы «люди – транспортная инфраструктура – транспортные средства» с максимальным использованием новейших информационно-управляющих технологий, включая интеллектуальные технологии. Системы такого типа стали называть интеллектуальными транспортными системами (ИТС).

Ряд стран имеют опыт создания интеллектуальных транспортных систем, включая страны Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона. В частности, внедрялись программы, ориентированные на информационные технологии для высокоскоростных автомобильных дорог. Как известно, в настоящее время задачи создания и продвижения ИТС продолжают решаться. Создание единой информационной инфраструктуры транспортного комплекса с учетом интеллектуальных компонент актуально для Российской Федерации, расположенной в девяти часовых поясах и активно использующей все виды транспорта [5].

В транспортной политике многих развитых стран большое внимание уделяется разработке и продвижению ИТС. Такие системы рассматриваются как действенное средство решения таких проблем транспортной отрасли, таких как неприемлемый уровень человеческих потерь в результате транспортных происшествий, негативное влияние на окружающую среду, рост потребления энергоресурсов. Кроме того, ИТС являются стимулом для развития ряда отраслей промышленности и инновационных технологий, включая технологии создания новых транспортных систем и управления ими, производства наноматериалов, уменьшения последствий природных и техногенных катастроф, созда-

ния энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепло- и электроэнергии в сфере железнодорожного транспорта, обработки, хранения, передачи и защиты информации, производства программного обеспечения [6].

Важно отметить, что современный железнодорожный транспорт относится к разряду чрезвычайно сложных технических и организационных систем, управление которыми в настоящее время требует расширения сложившихся ранее традиционных подходов. С учетом сложности транспортной инфраструктуры и ее объектов (станции, железнодорожные узлы, транспортные коридоры и т.д.) задачи моделирования транспортных систем являются достаточно трудными. Разрабатывать теоретические основы управления транспортными системами с интеллектуальными компонентами лишь с привлечением классических методов решения сложных задач математического моделирования невозможно, требуются поиск и разработка новых подходов [4, 7]. К одному из таких подходов относится подход, связанный с созданием и внедрением ИТС, которые наряду с точными математическими моделями используют данные и знания, накопленные в процессе их деятельности. В основе таких систем может, а иногда и должен лежать формализованный опыт специалистов. Исходя из этого, разработка фундаментальных основ создания интеллектуальных железнодорожных систем с использованием комплексных междисциплинарных подходов является важным и перспективным направлением.

Одним из подходов на пути создания интеллектуальных систем является привлечение идей ситуационного управления как общесистемного подхода, основанного на формальных методах теоретического искусственного интеллекта – логико-лингвистических моделях, моделях обучающихся технических систем при построении процедур управления по текущим ситуациям, дедуктивных систем для построения многошаговых решений и т.п. [8]. В этом важном направлении исследований, а также в развитии общей методологии, теоретических основ и конкретных приложений приоритет, несомненно, принадлежит российским ученым.

В настоящей работе с точки зрения интеграции и дополнения информационных систем интеллектуальными компонентами проанализированы существующие системы мониторинга и управления путевой инфраструктурой. Предложена схема, иллюстрирующая интеграцию указанных информационных систем. Рассмотрены некоторые методы анализа интеллектуальных динамических систем на основе применения нечетких регуляторов. При разработке методического обеспечения АСУ для оценки функционирования элементов и систем железнодорожного транспорта, в частности, верхнего строения пути, предлагается использовать подход, основанный на представлении нелинейных управляемых систем в виде моделей Такаги–Суджено (ТС-моделей). Рассмотрена взаимосвязь интеллектуальных транспортных систем с комплексными системами пространственных координат с учетом внедрения технологий высокоточного спутникового позиционирования.

### **1. Существующие системы мониторинга и управления путевой инфраструктурой**

В настоящее время на железнодорожном транспорте России применяются такие информационные системы мониторинга и управления путевой инфраструктурой,

как ЕК АСУИ («Единая Корпоративная Автоматизированная Система Управления инфраструктурой») и УРРАН («Управление ресурсами, рисками и анализ надежности на всех стадиях жизненного цикла»). Сбор достоверной информации о состоянии объектов транспортной инфраструктуры производится при помощи широкого спектра автоматизированных средств диагностики производства НПЦ ИНФОТРАНС. Значительная доля средств диагностики приходится на мобильные, изначально спроектированные для работы в едином контуре системы диагностики средства: диагностические комплексы «ЭРА», «Интеграл», вагоны-лаборатории контроля пути, контактной сети, автоматики и телемеханики, связи, съемные средства контроля. Обработанная информация позволяет решать задачи обеспечения безопасности движения, осуществлять ситуационный контроль и прогнозировать критические ситуации.

Внедрение действующей в настоящее время ЕК АСУИ началось с 2012 г. после распоряжения «О внедрении в территориальных дирекциях инфраструктуры унифицированной структуры управления, нормативной базы и единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой ЕК АСУИ». Основной задачей ЕК АСУИ является формирование оптимального с экономической точки зрения плана работ по текущему содержанию объектов инфраструктуры, при условии выполнения необходимого уровня готовности эксплуатационной инфраструктуры и выполнения требований безопасности движения.

Система построена на платформе программного продукта IBM Maximo и реализует свои функции с помощью входящих в нее и тесно связанных между собой подсистем и компонентов, таких как: 1) единая технологическая база инфраструктуры (ЕТБ); 2) единая система мониторинга и диагностирования объектов инфраструктуры (ЕСМД); 3) типовая система управления инцидентами на объектах инфраструктуры (ТСИ); 4) типовая система управления текущим содержанием инфраструктуры (ТС-2); 4) система оценки и прогнозирования состояния объектов инфраструктуры (СОПС) [9].

Важно отметить, что подсистема СОПС является ключевым звеном ЕК АСУИ. Указанная подсистема на основе данных комплексов мобильной диагностики и различных АСУ, с помощью современных методологий теории управления надежностью позволяет оценивать состояние инфраструктуры, а также прогнозировать состояние объектов, определять вероятности безотказной работы и риски возникновения отказов.

Подсистема СОПС позволяет перейти от стратегии обслуживания, основанной на планово-предупредительных ремонтах, к стратегии обслуживания по фактическому состоянию объектов инфраструктуры. Переход к данной стратегии обеспечивает сокращение затрат на содержание инфраструктуры.

Анализ функций СОПС показывает, что эта подсистема имеет как функции экспертной системы, так и функции поддержки принятия управленческих решений. Экспертные системы функционируют в основном вместе с базами знаний, представляющими собой совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности, что позволяет им в целом моделировать поведение опытных специалистов в определенной области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия ре-

шений. Одной из основных проблем при этом является формирование базы знаний, которые передаются во время многочисленных собеседований инженера по знаниям и эксперта в предметной области.

Следует отметить, что одним из недостатков ЕК АСУИ является невысокая скорость наполнения базы знаний системы, отсутствие модуля расчета показателей надежности и безопасности, аналитической базы и ручной ввод первичной информации по объектам инфраструктуры, вследствие чего данные, заносимые дистанцией пути в единую технологическую базу данных, в ряде случаев недостоверны.

Активно внедряемая с 2010 г. и используемая на всех железных дорогах России система УРРАН – информационная технология управления надежностью, ресурсами и функциональной безопасностью на железнодорожном транспорте. Она создана на основе комплексного применения модифицированных методологий RAMS (безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности) и ЛСС (стоимости жизненного цикла), новых информационных технологий поддержки принятия решений, распределенных информационных систем оперативного сбора и анализа данных и актуальной нормативной базы. Система УРРАН обеспечивает практическое управление ресурсами, рисками, надежностью и функциональной безопасностью на сети железных дорог ОАО «РЖД». Эта система позволяет в условиях дефицита финансовых средств увеличивать назначенный срок службы объектов железнодорожного транспорта до предельного состояния на основе оценки рисков и перераспределять инвестиции на поддержание надежности и безопасности наиболее проблемных объектов железнодорожного транспорта [10].

Для учета и контроля устранения отказов разработана, связанная с системой УРРАН, система КАСАНТ, которая базируется на получении и обработке реальных данных всех хозяйств отрасли, о состоянии технических средств и объектах инфраструктуры хозяйств ОАО «РЖД». Особенностью, отличающей систему КАСАНТ от локальных информационных разработок, действовавших ранее на ряде железных дорог, стала автоматическая фиксация факта отказа непосредственно на основе информации, вносимой поездным диспетчером в автоматизированный график исполненного движения поездов системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ». Кроме того, для повышения достоверности данных в систему КАСАНТ изначально заложена возможность формирования информации об отказах технических средств из нескольких источников. Для корректности учета отказа в системе реализован специализированный механизм проверки поступающих данных на предмет дублирования с возможностью последующего объединения данных пользователями. Система КАСАНТ построена на платформе JavaEnterpriseEdition версии 1.5, достоинствами которой являются возможность масштабирования и переносимость приложений, позволяющие работать при любых конфигурациях систем. В качестве сервера приложений использован продукт IBM RationalWebSphere версии 6.1 NetworkDeployment, реализующий кластер серверов, благодаря чему обеспечивается возможность быстрого наращивания мощности сервера.

Идентификация рисков основана на результатах факторного анализа и использовании действующих показателей оценки состояния безопасности движения. Для

целей анализа опасностей на каждом из этапов жизненного цикла объекта необходимо получить информацию о составе, назначении и особенностях технологии эксплуатируемого оборудования.

На рис. 1 представлена укрупненная структурная схема методического обеспечения системы УРРАН. Основными блоками схемы являются блок, включающий информационную технологию, реализованную в системе КАСАНТ, и блок, включающий системы поддержки принятия решений (СППР) и регулярно обновляемую базу данных, в которой содержатся матрицы рисков по объектам всех дистанций инфраструктуры железнодорожного транспорта, в том числе хозяйств пути, автоматики и телемеханики, электрификации и электроснабжения.

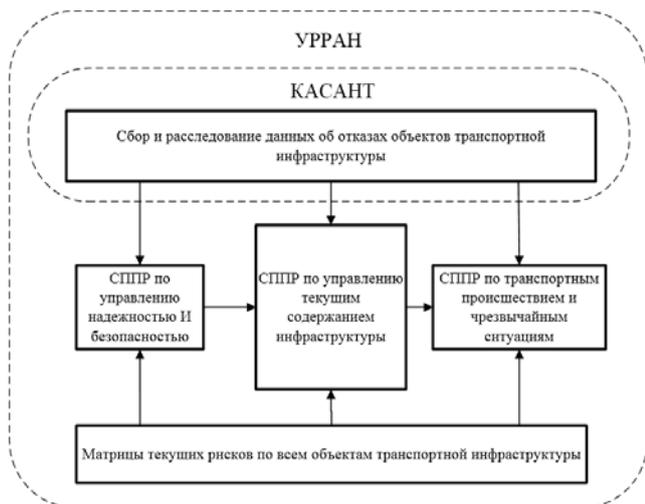


Рис. 1. Схема методического обеспечения АС УРРАН

Система КАСАНТ аккумулирует информацию об отказах всех технических средств инфраструктуры, обеспечивает расследование отказов и по критерию длительности задержки поездов группирует их в три категории. Отказы третьей категории не оказывают влияния на экономические риски в перевозочном процессе. Матрицы рисков обновляются в технических отделах хозяйств инфраструктуры два раза в месяц. Информация об отказах и рисках объектов инфраструктуры поступает во все три системы поддержки принятия решений, которые являются ядром информационной технологии УРРАН: а) системы анализа и оценки рисков в эксплуатационной работе ОАО «РЖД» на основе показателей эксплуатационной надежности и безопасности; б) системы управления экономическими процессами поддержания и развития инфраструктуры и подвижного состава в целях обеспечения приемлемых уровней безопасности и надежности с учетом допустимых остаточных рисков; в) системы ситуационного анализа безопасности движения и поддержки принятия решений [11].

Система УРРАН позволяет прогнозировать транспортные происшествия и события с учетом апостериорной обработки данных методами параметрической статистики. В качестве данных используются материалы расследований, сформированные Департаментом безопасности движения ОАО «РЖД». Разработана процедура оценки этих вероятностей и алгоритм поддержки принятия решений [10]. Все три указанные системы позволяют сформировать корпоративные модели и

метрики ключевых показателей надежности, стоимости жизненного цикла, безопасности и управлять ими.

В системе УРРАН функционируют такие подсистемы, как а) подсистема анализа и оценки рисков на основе показателей эксплуатационной надежности и безопасности; б) подсистема ситуационного анализа безопасности движения и поддержки принятия решений. Первая подсистема позволяет проанализировать накопленные данные (используются такие виды анализа, как анализ «что, если», анализ рисков, целевой функции, чувствительности, корреляционно-регрессионный и оптимизационный анализ) и применить к ним математические алгоритмы. Вторая подсистема используется для поиска скрытых закономерностей, трендов и построения прогнозов. Данная подсистема позволяет увидеть неблагоприятные тенденции по безопасности движения, которые не очевидны на первый взгляд. После их обнаружения и анализа появляется возможность разработать программу действий (мероприятий), которые помогут оперативно исправить ситуацию.

Система УРРАН осуществляет функцию поддержки принятия решений и прогнозирования с предоставлением лицу, принимающему решения, наглядно визуализированных результатов комплексного анализа данных. Однако АС УРРАН при этом не обладает в полной мере признаками интеллектуальной системы, позволяющими полностью автоматизировать процесс принятия решения и выполнить оценку состояния инфраструктуры.

Важно подчеркнуть, что предусмотрена интеграция УРРАН с существующими АСУ ОАО «РЖД», в частности – с ЕК АСУИ. Так, подсистема СОПС является основным потребителем данных анализа системы УРРАН (рис. 2).



Рис. 2. Схема, иллюстрирующая интеграцию информационных систем ЕК АСУИ, УРРАН и КАСАНТ

Представленная на рис. 2 схема иллюстрирует процесс обмена данными между ЕК АСУИ и УРРАН. АС УРРАН проводит анализ на основе полученной от КАСАНТ информации об отказах технических средств и данных мониторинга текущего состояния объектов инфраструктуры. Накопленные в системе УРРАН данные передаются в подсистемы ЕК АСУИ: 1) единую технологическую базу инфраструктуры (ЕТБ); 2) систему управления инцидентами на объектах инфраструктуры (ТСИ); 3) систему управления текущим содержанием инфраструктуры (ТС-2). Результаты анализа показателей надежности системой УРРАН могут служить входными данными для оценки и прогнозирования состояния объектов инфраструктуры в подсистеме СОПС,

реализующей функции экспертной системы для поддержки принятия решений.

В настоящее время на Северной железной дороге, традиционно служащей полигоном для экспериментальной эксплуатации железнодорожных автоматизированных систем, введена в промышленную эксплуатацию автоматизированная система «Единая корпоративная платформа «УРРАН-П» (ЕКП УРРАН-П), объединяющая в себе ЕК АСУИ СОПС, АС УРРАН и ПГРК УРРАН. Платформа УРРАН-П состоит из четырех разделов. Первый раздел включает контрольно-оценочные карты, позволяющие планировать капитальный ремонт, не исходя из норм пропущенного тоннажа, как раньше, а руководствуясь критериями УРРАН. По количеству выплексов, негодных шпал, заменённых рельсов и других параметров платформа оценивает фактическое состояние железнодорожного полотна и даёт заключение о том, нужен ремонт или нет. Второй раздел включает построение матриц рисков, с помощью которых контролируется текущее содержание пути. Платформа вычисляет возможные риски повреждений, задержек поездов, случаев нарушения безопасности движения, что позволяет планировать работы по текущему содержанию. Третий раздел связан с оценкой надежности, а именно выполняется анализ интенсивности отказов, средняя наработка на отказ по участку и в целом по дистанции. Четвертый раздел включает отчёты и аналитику и позволяет сформировать рейтинг участков пути для назначения ремонта или стрелочных переводов по техническому состоянию. Программное обеспечение платформы позволяет загружать необходимую информацию из других железнодорожных автоматизированных программ: АС РБ, ЕКАСУИ, КАСАТ и КАСАНТ.

Существенно усилить методологическую основу и качество анализа подсистемы СОПС может применение методов интеллектуального управления, включая аппарат интеллектуальных динамических систем. В следующем разделе работы содержатся методические аспекты и рекомендации по применению важного класса таких систем.

## 2. Методы анализа на основе применения ТС-моделей

В [12] приведена классификация систем управления и охарактеризованы место и роль систем интеллектуального управления. К разделам интеллектуального управления относятся, например, управление на основе правил и управление на основе логических моделей. Важно отметить, что сочетание методов классической теории управления, классической теории устойчивости динамических систем с методами интеллектуального управления существенно увеличивает потенциал управления сложными техническими системами. Некоторые примеры разработки и использования технических систем интеллектуального управления охарактеризованы в [13].

В [12,13] рассмотрены вопросы устойчивости интеллектуальных динамических систем и вопросы моделирования и стабилизации транспортных систем с интеллектуальными компонентами на основе методов анализа обобщенной технической устойчивости и методов анализа, связанных с построением и устойчивостью систем Такаги–Суджено (ТС-систем). В [14] рассмотрены вопросы, связанные разработкой АСУ для оценки функционирования транспортных систем. А именно,

охарактеризованы подходы к разработке указанных АСУ с применением методов интеллектуального управления, методов обработки информации и данных мониторинга.

В рамках разработки информационных систем железнодорожного транспорта для анализа безопасности движения транспортного средства можно использовать условия устойчивости по Ляпунову и устойчивости по Жуковскому состояний равновесия решений уравнений движения транспортных динамических систем, задаваемых обыкновенными многомерными нелинейными дифференциальными уравнениями [12, 15–17]. В [15] предложено понятие обобщенной технической устойчивости для оценки безопасности движения транспортных систем. В [16, 17] даны условия устойчивости математических моделей железнодорожного транспорта.

Анализ устойчивости движения транспортных систем с использованием математических моделей является фактором совершенствования системы мониторинга, поскольку математические модели позволяют провести сравнительный анализ модельных прогнозов, полученных в результате аналитических расчетов и компьютерных экспериментов, с результатами, полученными в ходе мониторинга.

В настоящем разделе рассмотрены вопросы, связанные с разработкой методического обеспечения автоматизированных систем управления (АСУ) на основе применения методов интеллектуального управления, методов обработки информации и данных мониторинга. Особое внимание уделено подходу к разработке методического обеспечения на основе использования аппарата теории систем ТС-систем [18–20].

Аппарат ТС-систем можно использовать для решения ряда задач управления и создания АСУ для оценки состояния систем железнодорожного транспорта и их элементов. Преимуществом подхода к разработке методического обеспечения на основе ТС-систем является возможность представления исходных существенно нелинейных моделей в виде совокупности линейных моделей, аппроксимирующих исходную систему. Описание с помощью ТС-моделей базируется на правилах логического вывода и нечетких регуляторах.

Как известно, ТС-модель задается правилами двух типов, включающими в себя две части:

$$P_1: \text{ЕСЛИ } z_1(t) \text{ есть } M^i_1 \text{ и } \dots \text{ и } z_r(t) \text{ есть } M^i_r,$$

$$\text{ТО } \dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t), \quad i = 1, 2, \dots, r; \quad (1)$$

$$P_2: \text{ЕСЛИ } z_1(t) \text{ есть } M^i_1 \text{ и } \dots \text{ и } z_r(t) \text{ есть } M^i_r,$$

$$\text{ТО } y(t) = C_i x(t),$$

где  $x(t)$ ,  $u(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  – фазовый, входной, выходной векторы и вектор параметров соответственно. Через  $M^i_j$  в формулах (1) обозначена нечеткая функция, отвечающая  $i$ -му правилу и  $j$ -му параметру. В общем случае функции  $z_j$  могут быть функциями фазовых переменных, внешних возмущений и времени [20].

Правила, включающие в себя базу правил ТС-моделей, являются нечеткими только в части ЕСЛИ. Важно подчеркнуть, что в части ТО указанных правил представлены сформированные функциональные зависимости. Каждому  $i$ -му правилу  $P_i$  соответствуют функции  $w_i(z(t))$  и  $h_i(z(t))$  вида

$$w_i(z(t)) = \prod_{j=1}^l M_j^i(z_j(t)), \quad h_i(z(t)) = \frac{w_i(z(t))}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))},$$

где  $r$  – число правил. Предполагается, что  $w_i \geq 0$ , а  $h_i$  нормированы.

Через  $z(t)$  обозначается вектор с компонентами  $z_1(t), \dots, z_p(t)$ . Предполагается, что исходные переменные не являются функциями от входящих переменных  $u(t)$ . Каждое последующее линейное уравнение, представленное в виде  $A_i x(t) + B_i u(t)$ , называется подсистемой. С учетом (1) векторы  $\dot{x}(t)$  и  $y(t)$  можно представить в виде

$$\dot{x}(t) = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) \{A_i x(t) + B_i x(t)\}}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))}, \quad (2)$$

$$y(t) = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) C_i x(t)}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))}. \quad (3)$$

Отметим, что поскольку  $\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) > 0$ , где  $w_i(z(t)) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, r$ , то  $\sum_{i=1}^r h_i(z(t)) > 0$ , где  $h_i(z(t)) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, r$ .

С целью построения логических регуляторов, стабилизирующих систему (1), используется понятие параллельной распределенной коррекции [20]. Регулятор задается с помощью равенства

$$u(t) = - \frac{\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) \{A_i x(t) + B_i x(t)\}}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))} = - \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) F_i x(t), \quad (4)$$

$i = 1, 2, \dots, r$

где  $F_i$  – коэффициенты усиления. При отсутствии  $u(t)$  система (2) запишется в виде

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) A_i x(t). \quad (5)$$

Условия асимптотической устойчивости в целом системы (5) формулируются следующим образом: состояние равновесия системы (5) глобально асимптотически устойчиво, если существует общая положительно определенная матрица  $P$  такая, что выполняются неравенства

$$A_i^T P A_i - P < 0, \quad i = 1, 2, \dots, r,$$

то есть общая матрица  $P$  должна существовать для всех подсистем.

С учетом подстановки (4) в (2), получим систему вида

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r h_i(z(t)) h_j(z(t)) \{A_i - B_i F_j\} x(t). \quad (6)$$

Далее, уравнение (6) запишем в виде

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) = & \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) h_i(z(t)) G_{ii} x(t) + \\ & + 2 \sum_{i=1}^r \sum_{i < j} h_i(z(t)) h_j(z(t)) \left\{ \frac{G_{ij} + G_{ji}}{2} \right\} x(t), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $G_{ij} = A_i - B_i F_j$ .

Условия глобальной асимптотической устойчивости системы (7) формулируются следующим образом. Состояние равновесия системы (7) асимптотически устойчиво в целом, если существует положительно определенная матрица  $P$  такая, что выполняются неравенства

$$\begin{aligned} G_{ii}^T P G_{ii} - P < 0, \\ \left( \frac{G_{ij} + G_{ji}}{2} \right)^T P \left( \frac{G_{ij} + G_{ji}}{2} \right) - P \leq 0, \quad i < j, \quad h_i \cap h_j \neq \emptyset. \end{aligned}$$

Известно [12], что если число  $r$  правил ЕСЛИ...ТО велико, то нахождение матрицы  $P$ , удовлетворяющей условиям теоремы 2, является затруднительным. В [12, 13] приведены условия устойчивости, обобщающие приведенные выше условия.

Как известно, большинство разработанных методов и алгоритмов построения управлений разработано для линейных систем, однако эти методы в ряде случаев могут быть модифицированы для изучения нелинейных систем, что оказывается удобным при решении практических задач ввиду трудностей применения или недостаточности нелинейной теории. Именно поэтому различные методы сведения нелинейной задачи к линейной получают широкое распространение в современной теории управления.

В ряде задач управления изучаемые нелинейные системы целесообразно задавать с помощью ТС-моделей, при этом нечеткие множества и правила нечеткого вывода можно использовать для описания глобальной нелинейной системы в терминах множества локальных линейных систем, гладко связанных между собой посредством функций нечеткой принадлежности. В результате редукции к ТС-модели исходная нелинейная модель представляется (возможно, лишь в некоторой области) в виде выпуклой комбинации нескольких линейных систем. Универсальность подхода на основе ТС-моделей заключается в том, что любая гладкая функция (представляющая, например, правую часть дифференциального уравнения) может быть на выпуклом множестве с любой степенью точности приближена указанной комбинацией. Таким образом, использование ТС-моделей приводит к альтернативному подходу в описании нелинейных систем.

Преимущества подхода к аналитическому моделированию нелинейных систем, основанного на применении ТС-моделей для аппроксимации нелинейных систем, по сравнению с некоторыми классическими подходами заключаются в следующем: а) возможен анализ качественных свойств изучаемых моделей не только в локальном, но и в глобальном смысле; б) возможна редукция базы правил без потери информации о модели; в) условия устойчивости представляются в достаточно компактном виде, удобном для вычислительных процедур.

При разработке методического обеспечения АСУ для оценки функционирования элементов и систем железнодорожного транспорта, в частности, верхнего строения пути, можно использовать подход, основанный на представлении ТС-моделями нелинейных управляемых систем с логическими регуляторами.

На основе полученных условий устойчивости разработаны конструктивные алгоритмы исследования стабилизации, реализация которых возможна с применением современного программного обеспечения. С помощью различных типов условий устойчивости могут быть построены алгоритмы стабилизации нелинейных систем. В частности, в рамках создания системы мониторинга и управления путевой инфраструктурой для оценки устойчивости элементов верхнего строения железнодорожного пути можно использовать системы вида (1) с регуляторами вида (4) и создать блок численного решения линейных матричных неравенств. Это усилит методологическую основу автоматизированных систем и повысит эффективность их работы.

### **3. Привязка интеллектуальных транспортных систем к комплексным системам пространственных координат**

Важным аспектом интеграции информации о состоянии различных элементов инфраструктуры является создание единого высокоточного координатного пространства. Как отмечено в документах по развитию железнодорожной отрасли, существуют следующие приоритетные задачи в этой области. Первая задача заключается в создании единого информационного пространства железнодорожного транспорта с обязательным наличием единой высокоточной координатной системы, построенной с использованием глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS и обеспечением информационной защиты.

Вторая задача заключается в создании системы цифровой радиосвязи со всеми объектами подвижного состава и железнодорожной транспортной инфраструктуры, а также системы контроля местоположения вагонов, локомотивов и эксплуатационного персонала с их автоматической идентификацией, построенные на принципах комплексирования наземных систем RFID (Radio-frequency identification – радиочастотная идентификация) и спутникового позиционирования на основе ГЛОНАСС/GPS. Третья задача состоит в создании системы диагностики и прогнозирующего контроля состояния вагонов и локомотивов на ходу поезда и системы ситуационного контроля и прогнозирования критических ситуаций в составе ситуационных центров ОАО «РЖД». Важно подчеркнуть, что еще одной важной задачей является разработка и внедрение интеллектуальных систем управления эксплуатационной работой.

Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ) предложена российскими специалистами из АО «Транспутьстрой». Для формирования единого высокоточного координатного пространства разработчики использовали глобальные навигационные спутниковые системы ГЛОНАСС и GPS, интеллектуальные технологии видеосъемки, лазерной съемки и использования радарных систем на базе мобильных диагностических комплексов [21].

На опорах контактной сети ряда российских железных дорог установлены так называемые фикс-поинты – реперные точки, служащие для выверки геодезического

положения. После укладки пути по нему прокатывают специальную измерительную тележку для снятия показаний. Полученные пространственные данные передают на высокоточную выправочную машину, которая согласно проекту ставит рельсошпальную решётку в плане и в профиле по цифровой модели. Традиционно при укладке пути вынос точек привязки относительно соседнего пути выполняет специалист техотдела рулеткой. С применением КСПД ИЖТ не только повышается качество и точность выправки пути, но также сокращается время работы путевой техники.

После сборки информации от различных источников получают достоверную базу данных, на основе которой можно создавать любую интеллектуальную систему. База данных постоянно обновляется, так как от ее полноты и точности зависит качество функционирования всего технологического комплекса. Одной из важнейших задач является развитие телекоммуникаций для реализации глобального проекта создания в России цифровой железной дороги. В этом проекте средства телекоммуникаций обеспечивают решение задач взаимодействия центров управления, объектов инфраструктуры и подвижного состава в процессе перевозок, использования средств радиосвязи при интервальном регулировании движения поездов, в реализации промышленного интернета вещей на железнодорожном транспорте. Также помимо традиционных систем связи необходимо создавать высокоскоростные широкополосные системы связи, системы тактовой единой синхронизации времени и выделение в них безопасных систем связи с криптозащитой. От непрерывной в пространстве связи следует также в ряде случаев переходить к связи локальной, то есть любой объект должен не только формировать свою внутреннюю информацию, но и передавать ее в технологические системы.

В процессе формирования единого координатного пространства КСПД ИЖТ задействует интеллектуальные методы, включающие в себя технологии интеллектуальной видеосъемки и идентификации объектов, основанные на применении искусственных нейронных сетей способных к обучению. Нейронные сети применяются также и для повышения точности спутникового позиционирования объектов инфраструктуры. Сочетание этих технологий с методологией нечеткого моделирования позволяет построить сложные и многофакторные цифровые модели пространства и пути.

Следует отметить, что КСПД ИЖТ содержит такие компоненты, как: 1) высокоточная координатная система (ВКС), привязка которой в абсолютных координатах выполняется в рамках высокоточных съемочных работ (ВСП); 2) цифровая модель пути (ЦМП) – пространственное описание объектов инфраструктуры, включая железнодорожный путь, инженерные сооружения, системы электроснабжения, железнодорожной автоматики, телемеханики связи; 3) серверы для хранения данных; 4) референсные станции для обеспечения точного позиционирования с использованием ГЛОНАСС, 5) программное обеспечение; 6) рабочие места.

Одной из ключевых задач КСПД ИЖТ является обеспечение привязки объектов и событий в абсолютных координатах. В направлении диагностики задачи состоят в определении неисправностей геометрии рельсовой колеи, дефектов рельса и т.д. Данные о событиях такого рода поступают с диагностического средства в ЕК АСУИ, а из нее – в КСПД ИЖТ для высокоточной координатной привязки. Высокоточная координатная

привязка в рамках использования КСПД ИЖТ позволяет решать ряд прикладных задач, таких как наложение строго в одном створе показателей геометрии рельсовой колеи или состояния рельсов позволяет объективно анализировать тренды изменения этих показателей. Кроме того, наложение в одном сечении событий, полученных от различных диагностических средств, позволит с точностью до первых сантиметров привязать неисправности пути к трехмерной модели инфраструктуры, хранящейся в базе данных КСПД ИЖТ. В идеале КСПД ИЖТ должна содержать сведения по каждому участку пути, как то характер местности и рельефа, текущее состояние объектов, строительная документация, результаты исполнительных съёмок и инженерных изысканий, сведения о выполненных и планируемых ремонтах путевого хозяйства. Перспективным направлением использования интеллектуальных технологий в диагностике объектов инфраструктуры является создание и использование полных цифровых моделей мостов (включая подводную часть опор) и других искусственных сооружений для возможности мониторинга его деформаций путем наложения на базовую модель при последующих съемках [22].

В настоящее время КСПД ИЖТ находится на стадии ограниченного применения и проходит опытную эксплуатацию на девяти российских железных дорогах. КСПД ИЖТ, в частности, позволяет проводить ремонт пути по цифровой технологии, обеспечивающей устранение длинных неровностей в профиле и плане, которые не устраняются при ремонтах пути по традиционным технологиям. КСПД ИЖТ позволяет улучшить качество очистки щебня с созданием равноупругой балластной призмы, а ведь именно на этой стадии закладываются условия для обеспечения долговременной стабильности пути по геометрическим параметрам, а также правильно поставить путь в проектное положение. В последующем путь будет нуждаться лишь в корректировке отклонений, а это потребует значительно меньших затрат на его содержание.

Разработана технология нового поколения интегрированной цифровой технологической связи железнодорожного транспорта, основанная на применении пакетной коммутации (IP-технологии), позволяющая организовать все виды оперативно-технологической и общетехнологической связи на единой аппаратно-программной платформе. Уже сегодня переход от системы GSM-R к LTE обусловлен требованием расширения каналов связи, позволяющих передавать информацию в оперативном режиме времени. Применение GSM-R/LTE, а также GSM совместно со спутниковыми технологиями обеспечивает охват всех технологических решений – это наиболее дешевый способ координации, но он сегодня не единственный, потому что имеются еще интернет вещей и цифровая видеосъемка, которая меняет технологию обнаружения самого объекта.

Использовать КСПД ИЖТ в полном объеме и производить с ее помощью мониторинг отклонения состояния пути можно будет только после интеграции с другими железнодорожными автоматизированными системами: ЕК АСУИ и УРРА. Постоянное обновление пространственных данных и сведений о состоянии транспортной инфраструктуры – важнейшая составляющая строительства и эксплуатации железнодорожных магистралей. В настоящее время ведется работа по синхронизации автоматизированных систем. В частно-

сти, на Северной дороге оборудовано три рабочих места с доступом в КСПД ИЖТ: в службах пути, автоматики и телемеханики и Центре управления содержанием инфраструктуры Северной ДИ.

Развитие технологий высокоточного спутникового позиционирования открывает новую страницу в изысканиях, проектировании и строительстве инфраструктуры железнодорожного транспорта, в том числе с применением BIM-технологий. BIM (Building Information Modelling) технологии основаны на принципах дифференциальной коррекции навигационных данных, поступающих со спутников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [23]. В настоящее время BIM-технологии применяются преимущественно в промышленном и гражданском строительстве и, хотя организация жизненного цикла проектов транспортного строительства имеет достаточное для возможности внедрения и сопровождения BIM-технологий сходство в количественных и качественных признаках, в данный момент развитию технологий информационного моделирования в транспортном строительстве препятствует ряд факторов. К ним можно отнести отсутствие современных отечественных программных продуктов, интегрируемых с действующими на железных дорогах транспортными системами. Кроме того, существующая нормативная база нуждается в модернизации для внедрения BIM-технологий в практике изысканий, проектирования и строительства транспортных сооружений, а также в системе организации их строительства.

Одной из ключевых концепций BIM-технологии является интеллектуальная параметризация объектов. Некоторые объекты возможно задать при помощи формул и, таким образом, при изменении определенных параметров, изменение параметров всех связанных объектов, вплоть до чертежей, визуализаций, спецификаций и календарного графика, происходит автоматически. Трехмерная модель объектов связана с информационной базой данных, в которой каждому элементу модели можно присвоить дополнительные атрибуты, при этом строительный объект проектируется фактически как единое целое.

В перспективе, применение таких технологий создаст основу для перехода к координатным методам содержания инфраструктуры, организации сквозных технологий проектирования, строительства, технического содержания объектов инфраструктурного комплекса, что обеспечивает снижение стоимости их жизненного цикла и предоставляет возможность управления безопасностью и надежностью сооружения в интерактивном режиме. Переход к «Цифровой железной дороге» предусматривает обязательное цифровое описание объектов инфраструктуры в рамках высокоточных координатных технологий и внедрение цифрового моделирования на всех этапах с учетом требований действующей нормативной документации: 1) обследование; 2) проектирование; 3) строительство; 4) эксплуатация (3D-паспорт объекта) [24]. На основании инженерно-геологических исследований система информационного моделирования должна осуществлять создание 3D-моделей, 2D-чертежей, а также смет. Эти данные получают на основе нескольких интеллектуальных технологий: видеосъемки, лазерной съемки, использования радарных систем. В отрасли применяются спутниковые технологии, в том числе не только оптические, но и радиолокационные спутники, способные фиксировать

наземные объекты при любых погодных условиях и на большую глубину, что крайне важно для выявления отклонений стационарных объектов от проектных положений.

### Заключение

В России разрабатывается общенациональная программа по ИТС, которая может стать эффективным инструментом реализации Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. В проекте закона «Интеллектуальная транспортная система Российской Федерации» интеллектуальная транспортная система определена как неотъемлемая часть инфраструктуры транспортного комплекса, в которой реализуются функции автоматизированного управления, информирования, учета и контроля для обеспечения юридических, финансовых, технологических и информационных потребностей участников транспортного процесса, а также удовлетворения требованиям транспортной, информационной и экономической безопасности общества. Как следует из данного определения, предполагается системная интеграция современных информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации в транспортную инфраструктуру, транспортные средства в целях повышения безопасности и эффективности транспортных процессов. Применительно к железнодорожному транспорту пути развития ИТС определены директивным документом [25].

Проблема промышленного внедрения на железнодорожном транспорте интеллектуальных информационных систем, способных обрабатывать данные с присущей им априорной неопределенностью, становится все более актуальной. Важными свойствами технических систем, позволяющими отнести их к классу интеллектуальных, являются такие свойства, как: 1) способность к классификации – умение системы самостоятельно дифференцировать объекты управления, воздействия внешней среды, управляющие сигналы, автоматически структурировать данные; 2) обучаемость – способность генерировать новые знания и данные (модели, решающие правила) на основе механизмов индуктивного вывода, обобщения статистических данных и др.; 3) адаптация – способность системы приспосабливаться к меняющимся условиям среды функционирования, правильно учитывать нестационарность управляющих данных и пр.

Проведенный анализ имеющихся и разрабатываемых на железных дорогах России информационных транспортных систем, таких как ЕК АСУИ, УРРАН и КСПД ИЖТ показал, интеллектуальные методы для разработки и совершенствования указанных систем применяются ограниченно, а степень интеграции информационных систем является неполной. С учетом этого анализа можно заключить, что важнейшей задачей развития информационных систем железнодорожного транспорта является дальнейшая интеграция всех имеющихся информационных систем в глобальную интеллектуальную АСУ на основе разработки и применения интеллектуальных методов. Важным направлением развития информационных систем железнодорожного транспорта является их перенос и реализация на отечественных программно-аппаратных платформах, что позволит снизить затраты на поддержку программных продуктов и обеспечить автономное функционирование систем.

### Литература

1. Зацаринный А.А., Киселев Э.В., Козлов С.В., Колин К.К. Информационное пространство цифровой экономики России. Концептуальные основы и проблемы формирования / Под общей редакцией А.А. Зацаринного. М.: ФИЦ ИУ РАН, 2018.
2. Урличич Ю.М. Актуальные вопросы развития интеллектуальных транспортных систем // Железнодорожный транспорт.- 2011, № 4.- С.12–17.
3. Васильев С.Н. К интеллектуальному управлению. Нелинейная теория управления и ее приложения. М.: Физматлит, 2000. С. 57–126.
4. Шалягин Д.В., Розенберг Е.Н., Астрахан В.И. Интеллектуализация систем управления // Железнодорожный транспорт.- 2014, № 12.- С. 21–23.
5. Розенберг Е.Н. Современные технологии для перехода к интеллектуальному железнодорожному транспорту // Всемирный электротехнический конгрессе (ВЭЛК-2011), г. Москва, 4-5 октября 2011г.
6. Розенберг Е.Н. Реализация стратегии обеспечения безопасности перевозочного процесса//АСИ.- 2014, №1.- С. 6–9.
7. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунцов Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физико-математическая литература, 2000. 352 с.
8. Усков А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления. Смоленск: филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2013.
9. Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ). Хозяйство автоматики и телемеханики. РОСЖЕЛ-ДОРПРОЕКТ. ГИПРОТРАНССИГНАЛСВЯЗЬ. Спб., 2013.
10. Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН. // Железнодорожный транспорт.- 2012, №10.- С. 23-28.
11. Акопян А.Г., Михалкин И.К., Симаков О.Б. Система УРРАН в путевом хозяйстве. // Железнодорожный транспорт.- 2012, №10.- С. 45-48.
12. Дружинина О.В., Масина О.Н. Методы анализа устойчивости динамических систем интеллектуального управления. М.: Изд. группа URSS, 2015. 248 с.
13. Дружинина О.В., Масина О.Н. О подходах к анализу устойчивости нелинейных динамических систем с логическими регуляторами // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. Т. 13.- № 2.- С. 40–49.
14. Игонина Е.В., Людаговская М.В., Петрова С.Н. Современные подходы к разработке АСУ для оценки функционирования транспортных систем // Материалы молодежной секции в рамках IV Международной научно-практической конференции «системы управления, технические системы: устойчивость, стабилизация, пути и методы исследования» (Елец, 25 апреля 2018 г.). Елец: ЕГУ им.И.А.Бунина, 2018. С. 16–21.
15. Шестаков А.А., Дружинина О.В., Масина О.Н. Оценка безопасности движения рельсовых экипажей на основе обобщенной технической устойчивости и устойчивости по Жуковскому // Транспорт: наука, техника, управление.- 2014, № 2.- С. 3–8.

16. *Щенникова Е.В., Шестаков А.А., Дружинина О.В.* Об условиях устойчивости движения железнодорожной колесной пары // НТТ – наука и техника транспорта.- 2004, № 2.- С. 68–72.
17. *Щенникова Е.В., Шестаков А.А., Дружинина О.В.* Исследование устойчивости, бифуркаций и оценка критической скорости движения железнодорожного экипажа // Транспорт: наука, техника, управление.- 2006, № 10.- С. 3–7.
18. *Takagi T., Sugeno M.* Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. Syst., Man and Cybernetics. – 1985. – V. 15. – P. 116–132.
19. *Tanaka K., Sugeno M.* Stability analysis and design of fuzzy control systems // IEEE Trans. Fuzzy Syst. 1992. – V. 45, № 2. – P. 135–156.
20. *Tanaka K., Wang H.O.* Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach – N.Y.: Wiley, 2001.
21. *Розенберг Е. Н., Коровин А. С.* Глобальные тренды развития интеллектуальных транспортных систем // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД».- 2018, № 4.- С. 1–22.
22. *We Xiukun, Jiang Siyang, Li Yan, Li Chenliang, Jia Limin, Li Yongguang.* Defect Detection of Pantograph Slide Based on Deep Learning and Image Processing Technology // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2019. PP. 1–12.
23. *Kensek K., Noble D.* Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice. USA: Wiley, 2014.
24. BIM на практике // Интернет-журнал компании «PSS», 2017 [Электронный ресурс]. СПб.: PSS, 2017. Режим доступа: <http://www.pss.spb.ru/bim2017/>.
25. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г.» (Белая книга ОАО «РЖД»).

#### Сведения об авторах:

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

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

Тел. +7 (499)-135-90-29,

e-mail: [ovdruzh@mail.ru](mailto:ovdruzh@mail.ru).

**Людаговская Мария Андреевна**, магистрант по направлению «Наземные транспортные комплексы», программа «Машины, комплексы и оборудование для строительства и восстановления автомобильных и железных дорог» Российский университет транспорта. РУТ (МИИТ).

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

Тел. +7 (499)-649-19-35,

e-mail: [m.ludagovskaya@gmail.com](mailto:m.ludagovskaya@gmail.com).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЙТИНГОВ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ОЦЕНОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Доктор техн. наук, профессор **Белый О.В.**,  
кандидат техн. наук, доцент **Барина Л.Д.**,  
кандидат физ.-мат. наук, доцент **Забалканская Л.Э.**  
(ФГБУН Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук)

### COMPARATIVE ANALYSIS OF RATINGS OF SUSTAINABLE URBAN MOBILITY IN THE INTERNATIONAL EVALUATION SYSTEMS

**Bely O.V.**, Doctor (Tech.), Professor, **Barinova L.D.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,  
**Zabalkanskaya L.E.**, Ph.D. (Physics & Math.), Associate Professor  
(St. Petersburg Scientific Center of RAS)

*Устойчивая городская мобильность, устойчивое развитие, эффективность, экологическая безопасность, качество жизни.*

*Sustainable development, sustainable urban mobility, efficiency, environmental safety, quality of life.*

*Проанализированы пять различных систем оценки устойчивой городской мобильности и рейтингов, составленных на их основе. Наборы показателей рассмотрены с точки зрения соответствия основным критериям устойчивого развития транспорта. Выявлены наиболее общие тенденции оценивания и существенные различия, связанные с различным подходом к обеспечению устойчивой мобильности.*

*Five various systems of assessment of sustainable urban mobility and the ratings made on their basis are analyzed. The systems of indicators are considered in terms of compliance to the main criteria of sustainable development of transport. The general trends of estimation and the essential distinctions, connected with various approach to ensuring sustainable urban mobility, are revealed.*

В 2014 г. 54% населения земли проживало на урбанизированных территориях. По прогнозам ООН к 2030 г. это число достигнет 60%, а к 2050 - 66% [1]. Люди, проживающие на таких территориях, особенно в крупных городах, подвергаются различным негативным воздействиям, начиная от низкого качества воздуха и других природных сред и заканчивая акустическими, вибрационными и электромагнитными полями. Следует учитывать, что это воздействие является комплексным и представляет угрозу жизни и здоровью горожан. Определяющую роль в этом воздействии играют факторы, связанные с транспортной деятельностью, объёмы которой непрерывно увеличиваются (к 2030 г. пассажиропоток достигнет 80 триллионов пассажиро-километров, а количество автомобилей к 2050 г. удвоится). Это приведёт к невозможности передвижения по существующей улично-дорожной сети (УДС) даже в случае её модернизации, поскольку строительство инфраструктуры, обеспечивающей передвижение такого количества транспортных средств, невозможно в связи с ограниченными пространственными ресурсами. По прогнозам учёных в 2050 г. каждый житель города будет проводить в пробках около 106 ч в год [2]. Кроме того, это спровоцирует существенное увеличение выбросов от автотранспорта и, таким образом, значительно повысит внешние издержки транспортной системы.

Существенную роль играет также дорожный травматизм и гибель людей в результате ДТП (97% смертей, связанных с происшествиями на транспорте, относятся к автомобильному транспорту, при этом от 40 до 50% таких смертей происходят на урбанизированных территориях [1]) и эти значения также увеличатся в связи с

увеличением количества единиц личного автотранспорта. Следует упомянуть, что уже сейчас гибель в ДТП является основной причиной смерти для людей в возрасте от 15 до 29 лет. При этом демографические прогнозы предполагают, что к 2030 г. 16,5% населения Земли будут старше 60 лет.

Кроме того, транспортная деятельность является причиной значительных объёмов выбросов газов, ответственных за изменение климата, т.е. оказывает не только локальное, но и глобальное воздействие на окружающую природную среду.

Функционирование транспортной системы является важнейшим фактором достижения экономического процветания и обеспечения жителей города возможностью доступа к рабочим местам и различным городским сервисам, т.е. во многом определяет качество жизни. Поэтому обеспечение транспортных потребностей жителей города в этой связи должно осуществляться на основе концепции устойчивой мобильности, которая позволяет обеспечить баланс экономической, социальной и экологической сфер. Основными критериями устойчивости являются [1]:

- универсальная доступность транспортной услуги - территориальная, физическая для людей с ограниченными возможностями, социально-экономическая, основанная на стоимости транспортного обслуживания;
- её эффективность как с точки зрения финансовых затрат, так и с точки зрения расходования всех прочих ресурсов;
- безопасность как важнейший фактор качества жизни;

- экологичность (green mobility) - экологическая эффективность транспортной деятельности с точки зрения минимизации воздействия как на окружающую природную среду в широком смысле, так и на городскую среду.

Для того чтобы оценить устойчивость городской транспортной системы, и направить её в долгосрочной перспективе в направлении указанных целей разрабатываются различные системы показателей, на основании которых выводятся рейтинги устойчивой мобильности крупных городов мира. Проанализируем наборы показателей, представленные следующими проектами:

- Будущее городской мобильности: к сетевым, мультимодальным городам в 2050 (Arthur D. Little's future lab);

- Deloitte индекс городской мобильности: измерение глобальной готовности к будущему мобильности (Deloitte insights);

- Жизнь. Передвижение. Дыхание: Рейтинг устойчивости транспорта городов Европы (результат исследований, инициированных Greenpeace);

- Индекс устойчивой городской мобильности: смелые шаги (Arcadis);

- Индекс городской мобильности (CERB вместе с Qualcomm);

- а также первую десятку городов по этим рейтинговым оценкам.

Arthur D. Little's future lab рассматривает 66 городов и 11 показателей, причём оценка производится по двум направлениям: оценка основных параметров функционирования транспортной системы с точки зрения устойчивости и соответствие транспортной системы и транспортной политики концепции устойчивой мобильности [3]. Поскольку в качестве основы устойчивой мобильности рассматривается перевод пассажиропотоков на более устойчивые средства передвижения, 4 из 11 показателей относятся к транспорту общего пользования: доля передвижения на общественном транспорте, общедоступных машинах (car sharing) и велосипедах, уровень использования smart-card, а также уровень доступности car sharing и велосипедов. Эффективность транспорта оценивается показателями, связанными со скоростью передвижения, продолжительностью трудовой поездки, а также удовлетворённостью жителей города функционированием транспортной системы. При этом отсутствуют показатели экономической эффективности. Отсутствуют также показатели универсальной доступности (вероятно, этот критерий представляется возможным оценить по удовлетворённости жителей). Безопасность и экологичность оценивается по одному показателю для каждого критерия: безопасность по количеству уровню смертельных исходов ДТП, а экологичность - по уровню выбросов CO<sub>2</sub>. Также оценивается разнообразие стратегий развития устойчивой мобильности.

Рейтинг возглавляет Гонконг, в первой десятке присутствуют также Сингапур и Бостон. Остальные города рейтинга находятся в Европе, второе место среди городов мира занимает Амстердам, далее следуют Лондон, Стокгольм, Гётеборг, Вена, Париж и Мюнхен. Города с наивысшим рейтингом устойчивых передвижений - Гонконг, Вена, Мюнхен, Лондон. На первые места их вывела развитая и активно используемая система общественного транспорта. Наиболее безопасными являются Вена, Стокгольм, Мюнхен и Гонконг, также во многом

благодаря этому обстоятельству, а также строгому соблюдению правил уличного движения. Наименьшее количество выбросов демонстрируют Гонконг, Сингапур и Париж. Это, безусловно, связано с политикой ограничения пользования личным автотранспортом с одновременным развитием системы общественного транспорта, что обеспечивает низкий уровень автомобилизации населения. Особенно это характерно для городов Азии с высокой плотностью населения, которая делает невозможным передвижение на личном автомобиле даже при среднем уровне автомобилизации в силу ограниченности территориальных ресурсов, несмотря на высокий уровень доходов. По критерию эффективности, оцениваемому по среднему времени трудовой поездки лидируют Гётеборг, Амстердам, Вена и Стокгольм (один из лидеров по car sharing, имеющий также развитую систему взаимодействующих между собой видов Общественного Транспорта (ОТ)).

Одна из четырёх крупнейших фирм, оказывающих аудиторские и консультационные услуги в мире, n - Deloitte оценила 53 города по своему индексу городской мобильности, учитывающему 60 различных показателей [4]. Среди них 15 – прямо или косвенно относятся к системе общественного транспорта, в том числе - разнообразие видов ОТ, при этом оцениваются все аспекты его доступности, а также доступность транспортных средств общего пользования (велосипеды и car sharing). Особое внимание уделено интеграции различных видов транспорта. Экологический аспект мобильности оценивается по 3 показателям, связанным с качеством воздуха (как один из критериев первой группы). Также присутствуют показатели инвестиций и инноваций, в том числе относящиеся и к электротранспорту. Отличительной чертой данного рейтинга является также повышенное внимание к вопросам безопасности, так как её уровень оценивается не только количеством смертей в ДТП, но и количеством ДТП, приведшим к нанесению тяжкого вреда здоровью. Кроме того, поскольку индекс Deloitte должен измерять готовность к переменам, как следует из его названия, присутствуют также показатели оценки транспортной политики и стратегии развития городской мобильности.

На основании этих показателей была произведена экспертная оценка по следующим направлениям: производительность и устойчивость транспортной системы; видение и лидерство в переходе к устойчивой мобильности и, наконец, качество и доступность транспортной системы для жителей города. Некоторые показатели при этом учитываются при оценке нескольких направлений. Каждое направление имеет пять критериев, а состояние дел в оцениваемых городах относят к одной из следующих категорий по каждому критерию:

- опасное состояние (1);
- стремление к улучшению состояния (2);
- конкурентоспособное состояние (3);
- одно из лучших состояний (4);
- глобальное лидерство (5).

Далее, обобщая данные оценки по каждой группе критериев, город помещают на шкалу, на которой находятся следующие категории:

- предстоит очень много работы;
- большое число барьеров и пассивное отношение к проблеме;
- существуют препятствия, но работа началась;

- активная деятельность по преодолению немногочисленных препятствий;

- глобальное лидерство.

Таким образом, в группу городов, расположенных ближе всего к глобальному лидерству возглавляют Сингапур и Хельсинки, лидер рейтинга Arthur D. Little's future lab Гонконг находится в непосредственной близости, но не попадает в эту категорию, очевидно из-за того, что большинство передвижений осуществляются на общественном транспорте, а доля немоторизованных передвижений крайне мала, что, в свою очередь обусловлено очень высокой плотностью населения, не позволяющей широко развивать инфраструктуру для «активной мобильности». Кроме того, большее, чем в городах Европы количество рабочего времени диктует необходимость экономить время в рабочих поездках. Из 14 городов, стремящихся к глобальному лидерству, 4 расположены в Азии, 9 представляют Европейские столицы, 1 – США. Таблица 1 отражает лучшие и худшие оценки городов по различным критериям на основе Deloitte City Mobility Index (города расположены по алфавиту). Следует отметить, что ни один из городов рейтинга не удостоился лучшей оценки за качество воздуха (максимум 4 из 5).

Таблица 1

Город	Борьба с заторами	Качество воздуха	Общественный транспорт	Интеграция	Стратегия	Инвестиции	Инновации	Экологическое регулирование	Экологические инициативы	Разнообразие видов ОТ	Доступность терр. физическая	Соц. эконом. доступность	Безопасность
Амстердам	5	4							5	5		2	
Барселона	3	3			5	3					5	3	
Берлин		2		5	5	5					5		
Бостон	2		2					5					
Копенгаген		2		5									
Лондон	2	2			5	5	5			5		2	
Осло	3	4			5	5				5			
Париж	2	2							5	5			
Сеул		2			5		5	5					
Сингапур		3		5	5	5	5						
Стокгольм		4				3	5			5	5	3	
Токио	3	3	5				5				5		5
Хельсинки	5	3		5			5	5	5			3	
Шэньчжэнь		1				5				5			

Лидерами по первому направлению - производительность и устойчивость транспортной системы - являются Амстердам и Хельсинки. Более 20 баллов из 25 возможных за видение и лидерство в переходе к устойчивой мобильности набрали Амстердам, Лондон, Осло, Париж, Сеул, Сингапур, Хельсинки, Шэньчжэнь. В

третьем направлении - качество и доступность транспортной системы - лидером является Стокгольм.

Экспертная фирма ARCADIS, эксперты программы UN-Habitat ООН, совместно с CEBR (Centre for Economics and Business Research) разработали Sustainable Cities Mobility Index (SCMI) – индекс, основанный на 23 показателях устойчивости городских передвижений [5]. Показатели относятся к трём аспектам устойчивого развития – People (люди, т.е. социальный аспект), Profit (преуспевание, т.е. экономический аспект), Planet (планета, т.е. экологический аспект). Таким образом, данный набор индикаторов, описывает роль транспорта в достижении базовых ориентиров устойчивого развития.

На основании данного индекса был составлен как общий рейтинг устойчивой мобильности в 100 городах мира, так и рейтинги по каждому из трёх аспектов устойчивости. 8 из 23 индикаторов так или иначе связаны с деятельностью общественного транспорта, особое внимание уделено метрополитену (в частности вводятся такие показатели как год последних существенных изменений в сети метрополитена и количество дней в неделю, когда метрополитен работает круглосуточно), 3 оценивают немоторизованные передвижения, в том числе в их взаимосвязи с общественным транспортом. Ещё одной особенностью данного индекса является то, что в нём учтены не только внутригородские передвижения, но характеристики внешнего транспорта – пассажиропоток аэропорта. Введение данного показателя позволяет учитывать тот факт, что пассажиропоток городского транспорта состоит не только из жителей города, но и из тех, кто в него прибывает. Кроме того, особое внимание уделяется наличию различных информационных сервисов, связанных с городским транспортом (даже наличие Wi-Fi в тоннелях, на станциях и в вагонах метрополитена, а также в автобусах).

Таким образом, очевидно, данный набор показателей ориентирован на города, имеющие мультимодальную транспортную систему с опорой на магистральный рельсовый транспорт. Однако учитываются также инициативы по использованию автотранспорта с «ноль-выбросом». Поэтому не удивительно, что рейтинг возглавляет Гонконг, где 88% передвижений осуществляется на общественном транспорте, кроме того присутствуют ещё два города высокоразвитых стран Азии – Сеул и Сингапур, которые также характеризуются большой плотностью населения с высоким уровнем доходов, поэтому эти городам приходится вводить достаточно жёсткие ограничительные меры по использованию личных автомобилей. Оставшиеся 7 городов представляют преуспевающие страны Европы (Цюрих, Париж, Прага, Вена, Лондон, Стокгольм, Франкфурт), где наличие большого количества памятников истории и архитектуры не позволяет существенно расширить УДС, чтобы широко использовать личные автомобили, поэтому пассажиропотоки также переориентированы на общественный транспорт. Однако поскольку плотность населения существенно меньше, чем в азиатских городах, возникает возможность выделения полос для немоторизованных передвижений.

Переходя к рассмотрению рейтингов по отдельным аспектам устойчивого развития, заметим, что в первой десятке рейтинга People уже 5 городов Азии (к вышеперечисленным добавляются Токио и Пекин). Присутствует также Нью-Йорк, а из европейских городов Бар-

селона, Мадрид, Париж и Лондон. Рейтинг Profit возглавляет представитель наиболее преуспевающей европейской державы – Цюрих, из неевропейских городов присутствуют Ванкувер и Гонконг. Рейтинг Planet возглавляет Франкфурт, остальные девять городов также представляют Западную Европу, где вопросы обеспечения экологической безопасности рассматриваются как властями, так и представителями научного сообщества как наиболее существенные для устойчивого развития.

Поскольку Европа является одним из наиболее урбанизированных регионов мира (около 70% городского населения), большинство городов которого имеют многовековую историю и сохранили большое количество объектов, являющихся общекультурным наследием человечества, вопросы обеспечения устойчивой мобильности являются значимой частью европейской политики. На основании исследований, инициированных Greenpeace, был разработан рейтинг устойчивого транспорта городов Европы – «Жизнь. Передвижение. Дыхание» (Living. Moving. Breathing), оцениваемый по 21 индикатору, которые разделены на 5 категорий [6]:

- Общественный транспорт.
- Безопасность движения.
- Качество воздушной среды.
- Управление мобильностью.
- Активная мобильность (немоторизованные передвижения).

Первое место в рейтинге 13 европейских столиц принадлежит Копенгагену, последнее - Риму. Рейтинг городов в разных категориях и общий рейтинг приведен в таблице 2 [6].

Таблица 2

город	Общее место в рейтинге	Общественный транспорт	Безопасность движения	Качество воздуха	Управление мобильностью	Активная мобильность
Копенгаген	1	8	1	2	1	2
Амстердам	2	13	1	6	3	1
Осло	3	10	1	1	4	5
Цюрих	4	1	5	2	7	8
Вена	5	2	6	2	9	7
Мадрид	6	6	4	7	7	5
Париж	7	2	9	12	9	4
Брюссель	8	11	10	2	11	9
Будапешт	9	2	8	8	12	11
Берлин	10	12	11	8	5	3
Лондон	10	7	12	8	2	9
Москва	12	2	7	13	5	13
Рим	13	8	13	8	13	12

Выбор критериев и показателей свидетельствует о том, что немоторизованной мобильности в городах Европы уделяют не меньше внимания, чем общественному транспорту, что, возможно, связано с более высоким уровнем экологической культуры населения, чем в других частях света. Даже показатели безопасности ориентированы на обеспечение безопасности пешеходов и велосипедистов. Такой выбор предполагает, что, прежде всего, должна быть обеспечена безопасность тех, кто передвигается наиболее устойчивыми способами. Кроме того, даже те, кто предпочитает передвигаться на личном автотранспорте, тоже иногда являются пешеходами. Доля погибших в ДТП среди пассажиров и персонала общественного транспорта крайне мала и может служить показателем только при сравнении различных видов ОТ, тогда как доля погибших среди пешеходов и велосипедистов довольно значительная (22% и 8% соответственно)[7].

В перечне показателей этой оценочной системы отсутствуют показатели физической доступности и эффективности финансирования.

С точки зрения обеспечения экологической безопасности стоит отметить, что не учитывается объём выбросов CO<sub>2</sub>, который присутствует в большинстве прочих оценок, а также показатели, связанные с переходом на электротранспорт, несмотря на то, что многие европейские столицы предпринимают усилия по увеличению доли автомобилей с «ноль выбросом».

Последний из рассматриваемых в данной статье рейтингов ориентирован, прежде всего, на оценку доли, перемещений на транспортных средствах с «ноль выбросом» т.е. готовности к переходу на электромобили (7 из 20 показателей). Однако следует заметить, отсутствие выбросов отработавших газов не гарантирует отсутствие других выбросов, поскольку не учитываются выбросы при производстве электроэнергии и выбросы в процессе движения, связанные с трением. Индекс городской мобильности, разработанный Cerb (Centre for Economics & Business Research Exploration) в сотрудничестве с Qualcomm рассматривает показатели, разделённые на три группы:

- показатели текущего состояния мобильности (отражающие все аспекты устойчивости);
- показатели изменений (стимулирования жителей к более устойчивому транспортному поведению);
- показатели готовности к будущему (переходу на автономный электротранспорт).

Рейтинг содержит 35 городов мира, причём первые пять мест занимают столицы государств Западной Европы (Осло, Амстердам, Копенгаген, Париж, Цюрих, ещё два города – Берлин и Мюнхен также входят в первую 10, ещё два города первой 10 - Токио и Сеул [8]. Все эти города находятся в высокоразвитых странах, жители которых могут позволить себе обновлять свои транспортные средства достаточно часто. Осло является столицей одной из богатейших стран Европы, политики которой уделяют особое внимание вопросам экологии, в частности Норвегия является европейским лидером в переходе к использованию электромобилей (EV) вместо автомобилей, оснащённых двигателем внутреннего сгорания. Правительство активно стимулирует этот переход (налоговые льготы, развитие инфраструктуры и т.п.) Доля электрокаров в обновлении автопарка Норвегии составляет 29% - наилучший показатель среди всех стран мира. Поэтому не удиви-

тельно, что именно Осло возглавляет данный рейтинг. В Японии – этот показатель составляет 28% [9]. Токио занимает первое место по показателям текущего состояния, но уступает по показателям условий для изменений (в т.ч. по финансовым и не финансовым мерам по стимулированию использования электрокаров.) Это, по-видимому, связано с тем, что Токио является мегаполисом с большой плотностью населения, что обуславливает, прежде всего, стимулирование использования общественного транспорта и дестимулирование передвижений на личном автотранспорте вне зависимости от его двигателя в силу ограниченности возможностей развития УДС. Для сравнения – плотность населения Осло – 3, 698 тыс. чел/км<sup>2</sup>, тогда как в Токио - 6,267 тыс. чел/км<sup>2</sup> [4]. Плотность населения и его рост являются показателями текущего состояния, что отличает данный рейтинг от остальных, поскольку при составлении других рейтингов эти показатели играют роль только при выборе городов для ранжирования.

Следует отметить также отсутствие в данном рейтинге показателей безопасности, а также доступности общественного транспорта во всех её аспектах, что связано с общей направленностью рейтинга. Города - лидеры других рейтингов Сингапур и Гонконг, где основной стратегией достижения устойчивости перемещений

является общественный транспорт, таким образом, оказываются в середине рейтинга, поскольку для них переход на электромобили не является приоритетом.

Необходимо особо упомянуть, что это единственный рейтинг, в котором присутствует показатель энергоэффективности (который, в данном случае, косвенным образом оценивает выбросы в процессе производства электроэнергии). Таким образом, данный рейтинг ориентирован, в основном, на экологический аспект устойчивого развития, в частности - снижение выбросов транспорта в процессе движения.

Сравнительные данные по показателям, отвечающим различным критериям устойчивой мобильности, на основании которых сформированы рейтинги, приведены в таблице 3.

Таким образом, на основании проведённого анализа различных рейтинговых систем оценки устойчивой городской мобильности можно убедиться, что, несмотря на то, что эти системы в разной степени зависят от выбранных стратегий достижения устойчивости, некоторые показатели в той или иной интерпретации присутствуют в большинстве рейтингов. Выбор основной стратегии во многом определяет лидерство тех или иных городов.

Таблица 3

Arthur D Little future lab	Deloitte City Mobility Index	Living. Moving. Breathing	Arcadis	Urban Mobility Index
Эффективность транспортной системы				
Использование более устойчивых видов передвижений				
Доля немоторизованных передвижений и передвижений на ОТ	- Доля передвижений на ОТ - Среднее число поездок на ОТ на человека			Доля передвижений, осуществляемых на личном автотранспорте
Распределение передвижений по видам	- Доля передвижений на велосипеде; - Доля пешеходных передвижений;	Доля немоторизованных трудовых перемещений		
Эффективность передвижений по критерию времени				
Индекс перегруженности транспортной сети (время, потерянное в заторах)				
- Среднее время трудовой поездки - Средняя скорость передвижения	- Продолжительность поездки в центр на расстоянии 10 км; - Среднее время ожидания ОТ; - Доля рейсов ОТ, выполненных с задержкой; - Интервал между поездами метро в ЧП	Наличие/отсутствие заторов	- Среднее время передвижения; - Максимальная скорость передвижения	
Экономическая эффективность				
	- Доля городского бюджета, расходуемая на транспорт - Уровень инвестиций в транспорт		Соотношение затрат на транспорт и доходов от транспортной деятельности	Уровень инвестиций в ОТ
Эффективность энергопотребления				
				Удельное (на \$ВВП) потребление энергии
Удовлетворённость жителей города функционированием транспортной системы				
Уровень удовлетворённости				

Arthur D Little future lab	Deloitte City Mobility Index	Living. Moving. Breathing	Arcadis	Urban Mobility Index
<b>Эффективность транспортной системы</b>				
Использование более устойчивых видов передвижений				
Доля немоторизованных передвижений и передвижений на ОТ		- Доля передвижений на ОТ - Среднее число поездок на ОТ на человека		Доля передвижений, осуществляемых на личном автотранспорте
	Распределение передвижений по видам	- Доля передвижений на велосипеде; - Доля пеших передвижений;	Доля немоторизованных трудовых перемещений	
<b>Эффективность передвижений по критерию времени</b>				
- Среднее время трудовой поездки - Средняя скорость передвижения	Индекс перегруженности транспортной сети (время, потерянное в заторах)			
	- Продолжительность поездки в центр на расстоянии 10 км; - Среднее время ожидания ОТ; - Доля рейсов ОТ, выполненных с задержкой; - Интервал между поездами метро в ЧП	Наличие/отсутствие заторов	- Среднее время передвижения; - Максимальная скорость передвижения	
<b>Экономическая эффективность</b>				
	- Доля городского бюджета, расходуемая на транспорт - Уровень инвестиций в транспорт		Соотношение затрат на транспорт и доходов от транспортной деятельности	Уровень инвестиций в ОТ
<b>Эффективность энергопотребления</b>				
				Удельное (на \$ВВП) потребление энергии
<b>Удовлетворённость жителей города функционированием транспортной системы</b>				
Уровень удовлетворённости				
<b>Универсальная доступность</b>				
<b>Общие характеристики транспортной системы</b>				
Количество транспортных средств на жителя		- Количество общедоступных автомашин на км <sup>2</sup> ; - Количество общедоступных велосипедов на км <sup>2</sup>	- Количество общедоступных велосипедов на жителя; - Количество личных велосипедов на жителя; - Пассажиропоток аэропорта	- Доступность общедоступного автотранспорта; - Доступность велопроката (по оценке CERB) - Разнообразие видов транспорта
- Количество общедоступных машин на жителя; - Количество общедоступных велосипедов на жителя - Количество транспортных средств на жителя	- Оценка системы второстепенного пользования; - Оценка системы велопроката; - Длина велодорожек; - Длина выделенных линий автобусов; - Наличие магистральных видов рельсового транспорта; - Длина рельсовых коммуникаций; - Наличие других видов транспорта общего пользования (такси и т.п.)			
<b>Территориальная доступность</b>				
	- Количество остановок LRT	Количество остановок ОТ на км <sup>2</sup>		
		всех видов ОТ	Автобус и метро	
			Количество дней в неделю, когда метро работает круглосуточно	

Arthur D Little future lab	Deloitte City Mobility Index	Living. Moving. Breathing	Arcadis	Urban Mobility Index
Уровень интеграции различных видов транспорта общего пользования				
Количество smart card на человека	-Наличие единой системы оплаты поездок на всех видах ОТ; -Наличие MaaS приложений; -Уровень доступности электронных информационных сервисов (open data, API и т.д.)	Наличие электронных транспортных сервисов (оплата проезда, планирование передвижений)	-Доступность информации по транспорту в Google map); -Доступность электронных транспортных приложений; -Возможность оплаты проезда с помощью электронных сервисов	
Экономическая доступность				
	-Ежемесячные траты на ОТ; -Стоимость литра моторного топлива; -Средняя стоимость парковки; -Средняя стоимость поездки на такси	-Соотношение стоимости поездки на ОТ и ежедневных затрат на еду; -Соотношение стоимости часа парковки и ежедневных затрат на еду	Соотношение затрат на транспорт и дохода	Соотношение стоимости топлива и электроэнергии
Физическая доступность ОТ для людей с ограниченными возможностями				
	-Индекс транспортной доступности; -Доля парка автобусов и рельсового транспорта, доступного для людей с ограниченными возможностями; -Индекс доступности и удобства пеших передвижений		-доля станций метро и автобусных остановок, доступных для людей, передвигающихся на инвалидном кресле	
Безопасность				
Число ДТП со смертельным исходом				
На 1 млн. человек		-для велосипедистов; -для пешеходов; -на 1 млн. поездок на велосипеде; -на 1 млн. передвижений пешком;	На 100 тыс. чел.	
	- число ДТП с нанесением тяжёлого вреда здоровью; -уровень безопасности пешеходных передвижений; -качество дорог			
Экологическая устойчивость				
Контроль уровня выбросов от транспорта				
Выбросы CO <sub>2</sub> на человека			Выбросы CO <sub>2</sub> на человека	
	Среднегодовая концентрация PM <sub>2.5</sub> и PM <sub>10</sub>		Уровень выбросов PM <sub>2.5</sub> и PM <sub>10</sub>	
	Индекс качества воздуха	Среднегодовая концентрация NO <sub>x</sub>		

Arthur D Little future lab	Deloitte City Mobility Index	Living. Moving. Breathing	Arcadis	Urban Mobility Index
Особые зоны в городе				
		Наличие Low Emission Zones (индекс CERB)		
		Доля «зелёных зон» в городском пространстве (Siemens Green City Index)		
			Стандарты на выбросы от автотранспорта	
Электромобили				
	- количество купленных/зарегистрированных автомашин BEV и PHEV; -внедрение EV; -стимулирование использования EV;		Стимулирование производства и использования EV	-доля зарегистрир. EV; -количество точек зарядки EV на тысячу человек; -финансовые и нефинансовые меры стимулирования автотранспорта с «ноль выбросом»
Стратегические инициативы по устойчивой мобильности				
Разнообразие способов достижения устойчивости	-инновации в области устойчивой мобильности; -место в рейтинге IESE Smart Cities Index; -поддержка беспилотников			-индекс инициатив по «зелёным передвижениям» Serb для ОТ; -готовность к использованию беспилотников

Первая десятка большинства рейтингов состоит из городов преуспевающих стран Западной Европы, в силу разнообразия применяемых способов обеспечения устойчивой мобильности, и более высокого уровня экологической культуры населения. Столицы высоко-развитых азиатских государств, такие как Сингапур, Гонконг, Сеул и Токио также находятся на вершинах рейтингов, прежде всего потому, что их транспортная политика ориентирована на создание единой мульти-модальной системы обеспечения мобильности, обеспеченной большим разнообразием информационных и прочих электронных сервисов.

С точки зрения экологического аспекта важно заметить, что ни один из наборов показателей не содержит индикаторы шумового воздействия, хотя Всемирная организация здравоохранения считает шумовое загрязнение одним из важнейших факторов негативного воздействия на жителей крупных городов, а решающая роль в интенсивности этого воздействия в городах принадлежит транспорту.

Следует обратить внимание и на тот факт, что один из важнейших аспектов устойчивости – эффективность использования энергии присутствует только в одном из рейтингов, несмотря на то, что повышение эффективности использования энергии является одной из глобальных целей Повестки дня по устойчивому развитию до 2030 г. [10].

Международный опыт разработки разнообразных оценочных систем устойчивой мобильности может быть использован в Российской Федерации для создания собственной системы оценки устойчивого развития городских транспортных систем, учитывающей нацио-

нальные приоритеты и особенности обеспечения устойчивого развития страны. Повышение транспортной доступности, обеспечение эффективности и безопасности, в том числе и экологической безопасности транспортной системы, являются важнейшими факторами повышения качества жизни населения России [11,12].

#### Литература

1. Sustainable Mobility for All. Global Mobility Report 2017: Tracking Sector Performance // сайт Всемирного банка, url: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/28542/120500.pdf>, дата обращения 29.06.2018.
2. The Future of Urban Mobility 2.0, Imperatives to shape extended mobility ecosystems of tomorrow// официальный сайт UITP, url: [www.uitp.org/sites/default/files/members/140124%20Arthur%20D.%20Little%20&%20UITP\\_Future%20of%20Urban%20Mobility%202%200\\_Full%20study.pdf](http://www.uitp.org/sites/default/files/members/140124%20Arthur%20D.%20Little%20&%20UITP_Future%20of%20Urban%20Mobility%202%200_Full%20study.pdf), дата обращения 3.10.2018.
3. W. Lerner, The future of urban mobility: towards networked, multimodal cities in 2050// сайт компании Arthur D. Little's, url: [http://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl\\_the\\_future\\_of\\_urban\\_mobility\\_report.pdf](http://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_the_future_of_urban_mobility_report.pdf), дата обращения 21.02.2019.
4. S. Dixon, H. Irshad, D.M. Pankratz, J. Bornstein, The 2019 Deloitte City Mobility Index. Gauging global readiness for the future of mobility//сайт компании Deloitte. Insight, url: [www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/future-of-mobility/deloitte-urban-mobility-index-for-cities.html](http://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/future-of-mobility/deloitte-urban-mobility-index-for-cities.html), дата обращения 12.02.2019.

5. Sustainable cities mobility index 2017 Bold moves//сайт консультативно – проектной фирмы Arcadis, URL: [www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/sustainable-cities-mobility-index-2017](http://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/sustainable-cities-mobility-index-2017), дата обращения 8.10.2018.
6. S. Kodukula, F. Rudolph, U. Jansen, E. Amon, Living. Moving. Breathing. Ranking of European Cities in Sustainable Transport// сайт Greenpeace, url: [www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/living.moving.breathing.20180604.pdf](http://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/living.moving.breathing.20180604.pdf), дата обращения 16.01.2019.
7. European Commission, Annual Accident Report, European Commission, Directorate General for Transport/ официальный сайт ЕС, url: [ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf), дата обращения 18.02.2019.
8. Urban Mobility Index// официальный сайт Qualcomm, url: [www.qualcomm.com/media/documents/files/urban-mobility-index-report.pdf](http://www.qualcomm.com/media/documents/files/urban-mobility-index-report.pdf), дата обращения 20.02.2019.
9. 20. Global EV Outlook 2017 Two million and counting// электронный ресурс, url: [www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf), дата обращения 19.10.2017.
10. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development//Электронный ресурс, url: [sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf](http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf), дата обращения 28.06.2018.
11. Белый О. В., Барина Л.Д., Забалканская Л.Э., Экологические аспекты устойчивого развития городской транспортной системы//Транспортное планирование и моделирование, сб. материалов II Международной научно-практической конференции – СПбГАСУ.- СПб, 2017. - с. 45-49.
12. Барина Л.Д., Забалканская Л.Э. Комплексный подход к управлению экологически устойчивым развитием городской транспортной системы // «Транспорт: наука, техника, управление»/ Сб. ВИНТИ РАН, 2013, № 10. с. 24-27.

#### Сведения об авторах:

**Белый Олег Викторович**, директор по науке СПбНЦ РАН,  
телефон: 323-64-20,  
e-mail: [belyi@spbrc.nw.ru](mailto:belyi@spbrc.nw.ru).

**Барина Людмила Дмитриевна**, зав. сектором междисциплинарных проблем транспортных систем СПбНЦ РАН,  
телефон: 323-64-20,  
e-mail: [barinova@spbrc.nw.ru](mailto:barinova@spbrc.nw.ru).

**Забалканская Любовь Эдуардовна**, ведущий научный сотрудник сектора междисциплинарных проблем транспортных систем СПбНЦ РАН,  
телефон: 323-64-20,  
e-mail: [ecoipt@yandex.ru](mailto:ecoipt@yandex.ru).

199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная дом 5

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ МЕТЕОСПУТНИКОВ  
ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТА СУДНА В АРКТИЧЕСКИХ ВОДАХ<sup>1</sup>**

**Доктор техн. наук Гриняк В.М.**

(Владивостокский государственный университет экономики и сервиса),

доктор техн. наук **Девятисильный А.С.**

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН)

кандидат физ.-мат. наук **Акмайкин Д.А.**

(Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского)

**ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR SHIP ROUTE PLANNING  
IN ARCTIC WATERS USING MARINE WEATHER DATA FROM SATELLITES**

**Grinyak V.M., Ph.D. (Tech.)**

(Vladivostok State University of Economics and Service),

**Devyatisilny A.S., Ph.D. (Tech.)**

(Institute of Automation and Control Processes FEBRAS),

**Akmaykin D.A., Ph.D. (Math.),**

(Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy)

*Безопасность судоходства; планирование маршрута; полярные воды; метеоспутник; метеоданные; трасса спутника; модель массового обслуживания.*

*Marine safety; route planning; polar waters; meteorological satellite; weather data; satellite trace; queuing model.*

*Рассматривается задача поиска оптимального маршрута судна при его следовании в характерных для полярных акваторий сложных метеоусловиях. Указывается на перспективность использования данных о погоде (ветре, волнении, ледовой обстановке), предоставляемых специальными метеосервисами по данным спутникового мониторинга. Для полного покрытия сканерами поверхности Земли одному спутнику требуется значительное время. Поэтому актуальным является исследование характера спутниковых метеоданных с точки зрения их характерного «возраста». Сделана оценка среднего времени ожидания данных зондирования арктической области, как от отдельного спутника, так и от их группы. Сделан вывод о реализуемости задачи планирования маршрута судна с учётом данных о погоде существующими техническими средствами.*

*The present work examines the problem of modelling the satellite monitoring to evaluate frequency of updating data on weather in the selected position of the earth's surface, which are provided by existing meteorological services. A well – known equation of artificial satellite motion in the elliptical orbit is the basis of this model. The obtained results help to formulate a systematized concept that the use of meteorological satellite data to solve the problem of planning long-range navigation in view of weather and ice conditions is promising. In case there are data from only one satellite, even with the widest swath (e.g. QuikScat), mean time of obtaining (age) data at the Arctic latitudes will be from some hours up to twelve hours. Mean sounding data expectation time analysis has been made for both an individual meteorological satellite and a group of meteorological satellites in this paper. Distribution graphs of time intervals between consecutive observations of positions on the earth's surfaces by different groups of meteorological satellites at the Arctic latitudes are presented. The conclusion concerning implementation of vessel's route planning has been come to considering data on ice conditions when there is a surface wind and sea along the intended ship's route in view of the information obtained from existing at present satellite weather sensors.*

<sup>1</sup> Работа поддержана грантом РФФИ, проект 18-29-16129

## Введение

Обеспечение безопасности мореплавания представляет собой многоаспектную проблему, постоянно привлекающую внимание исследователей [1-3]. К настоящему времени в рамках этой проблемы сформировался широкий круг характерных задач, одной из которых является задача планирования маршрута перехода судна от порта отправления к порту назначения [4].

Планирование маршрута перехода осуществляется с учётом многих факторов. Основными являются географические характеристики района перехода и технические возможности судна (например, максимальная дальность плавания, скорость, осадка, длина). Известны методы планирования маршрута, связанные с решением оптимизационных задач, учитывающие направление и скорость ветра и течения по маршруту и минимизирующие время перехода и расход топлива [5-10].

В Арктике при планировании маршрута перехода особую значимость имеют не экономические критерии, а показатели траектории, связанные с безопасностью [10-13]. Полярные воды характеризуются повышенной сложностью судовождения, прежде всего из-за неблагоприятных погодных условий: частые и сильные шторма, плохая видимость, сложная ледовая обстановка, опасность обледенения, быстрая смена погоды. В условиях такого множества факторов и их изменчивости опыта и знаний судоводителя может быть недостаточно для принятия правильного решения по выбору безопасного маршрута. В этом случае целесообразно использование автоматизированных систем планирования маршрута, которые должны решать задачу динамически, с учётом текущей и прогнозируемой обстановки, причем данные о ней должны быть максимально достоверными. И здесь представляется перспективным использование информации, предоставляемой специальными метеосервисами по данным спутникового мониторинга [14]. В настоящее время существует большое количество спутников (более десятка), оборудованных средствами дистанционного зондирования Земли, позволяющих получить информацию о состоянии атмосферы и гидросферы практически в реальном времени; их количество постоянно увеличивается [15, 16]. Спутниковые средства способны измерять скорость ветра над водной поверхностью и высоту волн, оценивать ледовые условия. В рамках развития e-Навигации стало возможно использование таких метеоданных непосредственно на судах [17, 18].

С точки зрения обсуждаемой задачи планирования безопасного маршрута перехода проблемой использования спутниковых метеоданных является то, что они не обеспечивают глобального актуального представления о состоянии льда, морского волнения и ветра, так как для полного покрытия своими сканерами поверхности Земли одному спутнику требуется значительное время. Другими словами, данные от одного спутника о погоде и ледовых условиях по пути следования судна могут оказаться устаревшими. Поэтому является актуальным исследование характера спутниковых метеоданных в контексте их «возраста» и возможности комплексирования информации различных метеосервисов для решения задачи планирования безопасного маршрута перехода судна.

В работах, опубликованных ранее [19, 20], авторами моделировался процесс спутникового мониторинга с целью оценки частоты обновления данных о погоде в

выбранной точке поверхности Земли. Однако задача решалась для низких широт (до 60°). Между тем, траектории спутников в высоких широтах (от 60° до 90°) имеют специфические особенности. В настоящей работе проведён анализ среднего времени ожидания данных зондирования арктической области как от отдельного спутника, так и от группы метеоспутников. Представленные результаты позволяют сделать выводы о количестве спутников, необходимых для получения актуальных метеоданных, и выработать подход к выбору метеосервисов для планирования безопасного маршрута в арктических водах.

## Основные модельные представления

Примем за основу математической модели задачи известные уравнения движения искусственных спутников по эллиптической орбите. Будем использовать правую ортогональную систему отсчёта  $xyz$ , с началом в центре Земли, осью  $z$ , направленной на север и плоскостью  $xy$ , лежащей в плоскости экватора. Движение искусственного спутника Земли может быть приближённо описано известной ограниченной задачей двух тел [21, 22]

$$\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -\mu G \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3},$$

где  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор спутника,  $G$  – гравитационная постоянная,  $\mu$  – масса Земли. Решение этого дифференциального уравнения можно (также приближённо) описать известным уравнением Кеплера [22]

$$E - e \sin E = M,$$

где  $M$  – угловое расстояние между перицентром орбиты и радиус-вектором гипотетического тела, движущегося по круговой орбите радиуса, равного большой полуоси  $a$  искомой эллиптической орбиты (средняя аномалия);  $E$  – угловой параметр, называемый эксцентрической аномалией, используемый для выражения переменной длины радиус-вектора  $\mathbf{r}$ ;  $e$  – эксцентриситет орбиты. Величины  $a$  и  $e$  считаются известными, определяемыми параметрами орбиты.

Значение величины  $M$  в момент времени  $t$  может быть найдено по формуле

$$M(t) = (t - t_0) \sqrt{\frac{\mu G}{a^3}},$$

где  $t_0$  – момент времени одного из прохождений спутником перицентра, принимаемый за начало отсчёта. Значение величины  $E$  обычно находится путём решения уравнения Кеплера относительно  $E$  численными методами. Например, популярен метод простой итерации, где последовательные приближения  $E$  имеют вид  $E_{i+1} = -e \sin E_i + M$ .

Далее определяется величина  $\vartheta$ , называемая истинной аномалией – угол, между радиус-вектором спутника  $r$  и направлением на перицентр. Истинная аномалия  $\vartheta$  связана с эксцентрической аномалией  $E$  уравнением:

$$\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}.$$

Длина радиус-вектора спутника будет равна

$$|\mathbf{r}| = a(1 - e \cos E).$$

Рассмотрим вспомогательную систему координат  $x'y'$ , связанной с эллипсом движения спутника. Пусть её начало отсчёта лежит в центре Земли, ось  $x'$  направлена вдоль большой полуоси эллипса, ось  $y'$  перпендикулярна ей. Координаты точки местонахождения спутника в системе  $x'y'$  могут быть вычислены следующим образом:

$$\begin{aligned} x' &= |\mathbf{r}| \cos \vartheta, \\ y' &= |\mathbf{r}| \sin \vartheta. \end{aligned}$$

Координаты спутника в системе отсчёта  $xyz$  определяются наклоном орбиты, и положением перицентра относительно системы координат  $xyz$ . Они вычисляются путём последовательного умножения вектора  $\mathbf{r}' = (x', y', 0)$  на матрицы поворота  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ , так что

$$\mathbf{r} = M_x M_y M_z \mathbf{r}'.$$

Здесь

$$M_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix},$$

$$M_y = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix},$$

$$M_z = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$\alpha, \beta, \gamma$  – углы поворота вокруг координатных осей.

По известным значениям компонент радиус-вектора спутника  $\mathbf{r}$  в момент времени  $t$  легко определить географические координаты точки поверхности Земли, над которой находится спутник

$$\varphi(t) = \arcsin \left( \frac{z(t)}{|\mathbf{r}(t)|} \right),$$

$$\lambda(t) = \arctg(y(t), x(t)) - (t - t_0)\omega_3 - \lambda(t_0).$$

Здесь  $\varphi(t)$ ,  $\lambda(t)$  – географические координаты (широта и долгота) точки трассы спутника,  $\omega_3$  – угловая скорость вращения Земли,  $\lambda(t_0)$  – угловое положение нулевого меридиана Земли в начальный момент времени. Функция арктангенса доопределяется до области значений  $(-\pi, \pi)$ , так что  $\arctg(y(t), x(t)) = \arctg(y(t)/x(t)) + C$ , значение константы  $C$  зависит от знака переменных  $x$  и  $y$ .

В том случае, если орбита спутника близка к круговой ( $e < 0.02$ ), в рассматриваемой задаче с достаточной степенью приближения можно считать, что длина ра-

диус-вектора (равная большой полуоси  $a$ ) и угловая скорость движения спутника (равная  $\sqrt{\mu G / a^3}$ ) постоянны.

Моделируя движение спутника при заданных значениях высоты и наклона орбиты, а также учитывая ширину полосы поверхности Земли, сканируемой его сенсорами, можно получить информацию о характерном возрасте метеоданных. Пусть  $t_i^s$  – время начала  $i$ -го наблюдения спутником точки земной поверхности,  $t_i^f$  – время окончания  $i$ -го наблюдения. Для каждой точки на поверхности Земли за весь моделируемый период времени будем иметь две последовательности из  $N$  таких значений. Средним временем ожидания спутника назовём величину

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=2}^N (t_i^f - t_{i-1}^s)}{N-1}.$$

С учётом механики движения спутника, сферической формы Земли и равномерности её собственного вращения, среднее время ожидания при  $N \rightarrow \infty$  будет одинаковым для точек, находящихся на одной широте. Поэтому имеет смысл говорить о среднем времени ожидания спутника на той или иной широте, которое и будет соответствовать среднему возрасту метеоданных. Представление о среднем возрасте метеоданных позволяет оценить их пригодность для планирования безопасных маршрутов судов.

### Результаты

Оценки среднего возраста метеоданных проводились для некоторых спутников, связанных с существующими информационными сервисами [15, 23-25]. Интерес прежде всего представляли спутники, трассы которых пролегают в полярных широтах и имеющие относительно широкую полосу захвата (табл. 1).

Таблица 1.

#### Параметры орбит и сенсоров некоторых метеоспутников

№ п/п	Название спутника	Высота орбиты, км	Наклонение орбиты, град.	Ширина полосы захвата, км
1	QuikScat	803	98.6	1410
2	ScatSat-1	720	98.28	1400
3	Hy-2A	971	99.34	1350
4	ERS	780	98.5	500
5	ASCAT	800	98.6	500
6	Jason-2	1380	66.05	315

Моделировалось движение спутников в течение 20 суток, затем задавались 36 точек на каждой из широт (по одной точке на каждые 10 градусов долготы) и вычислялось среднее время между последовательными наблюдениями каждой точки  $t_{cp}$ . Полученные для 36 точек одной широты результаты усреднялись.

На рис. 1 показан фрагмент проведённых расчетов – часть поверхности Арктики, наблюдаемая спутником ScatSat-1 в течение 3.5 ч. За это время спутник делает

около двух оборотов и сканирует более 45% поверхности в области широт от 70° до 90° (то есть почти половину этой зоны).

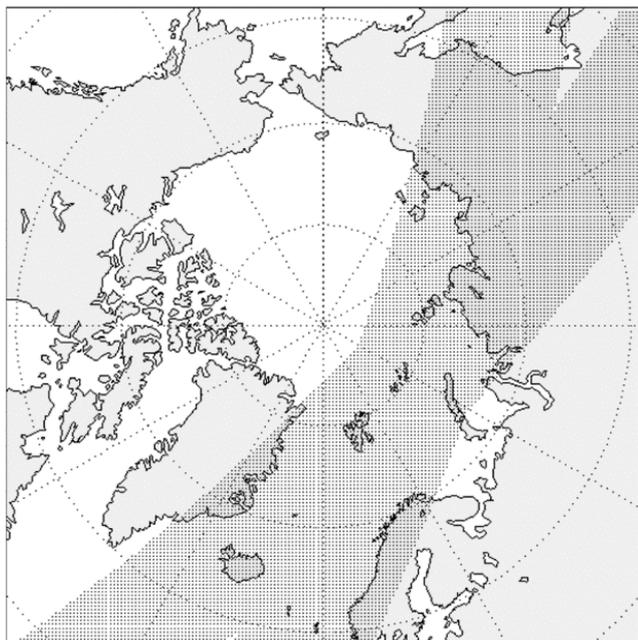


Рис. 1. Поверхность приполярной области, наблюдаемая спутником ScatSat-1 за два оборота (серая полоса)

Таблица 2 содержит результаты вычислений среднего «возраста» метеоданных спутников на различных широтах.

Таблица 2.

**Среднее время ожидания спутниковых данных о погоде на различных широтах, часов**

№ п/п	Название спутника	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
1	QuikScat	10.1	8.6	6.0	4.0	4.6	11.8	нет
2	ScatSat-1	10.8	8.6	6.4	3.8	4.2	7.6	нет
3	Hy-2A	11.2	9.0	5.8	4.6	6.0	нет	нет
4	ERS	30.4	24.4	18.4	11.2	9.2	нет	нет
5	ASCAT	31.8	25.8	18.4	11.2	9.8	нет	нет
6	Jason-2	>48	>48	нет	нет	нет	нет	нет

Так, данные о погоде на 85 градусе широты могут предоставить только спутники QuikScat и ScatSat-1 и среднее время между наблюдениями составит 11.8 и 7.6 ч соответственно. Ни один из спутников «не видит» полюса. Видна явная зависимость времени ожидания данных от ширины полосы захвата (прямая) и высоты орбиты (обратная). Спутник Jason-2 из-за узкой полосы захвата, высокой орбиты и её наклонения практически «не видит» полярной области, а время обновления его данных составляет более двух суток. Характерный период обновления данных в наиболее востребованной судоводителями области широт 70°÷80° (Северный Морской путь, Северо-Западный проход) составляет от 3.8 до 18.4 ч.

Перспективным путём уменьшения среднего времени ожидания метеоданных является работа не с одним, а сразу несколькими спутниками. Таблица 3 содержит результаты вычислений среднего «возраста» метеоданных некоторых таких систем из двух спутников.

**Среднее время ожидания данных группы из двух метеоспутников на различных широтах, часов**

№ п/п	Название спутников	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
1	QuikScat + Hy-2A	5.4	4.2	3.0	2.0	2.6	11.8	нет
2	ScatSat-1 + ERS	7.8	6.2	4.8	2.9	3.0	7.6	нет
3	Hy-2A + ASCAT	8.2	6.4	4.4	3.4	3.8	нет	нет

Видно, что период обновления данных в области широт 70°÷80° составляет от 2 до 4.8 ч. Такой временной интервал уже вполне соответствует ожиданиям характерной скорости изменения погодных условий в указанных широтах [26].

Как показали исследования, проведённые ранее [19, 20], время ожидания наблюдения спутником той или иной точки поверхности Земли  $t_i^f - t_{i-1}^s$  можно приближённо описать известной вероятностной моделью массового обслуживания [27]. В этом случае вероятность  $F$  того, что время ожидания меньше заданного  $t$  описывается экспоненциальным распределением

$$F(t) = 1 - e^{-qt},$$

где  $q = 1/m$  – среднее количество наблюдений точки за единицу времени,  $m$  – среднее время (математическое ожидание) между наблюдениями. В рассматриваемой задаче величина  $t_{cp}$  является оценкой величины  $m$ . При таких модельных представлениях функция распределения вероятности для группы из  $n$  спутников при известном среднем времени ожидания для каждого из них  $m_1, m_2, \dots, m_n$  вычисляется следующим образом:

$$F_{12\dots n}(t) = 1 - e^{-(q_1+q_2+\dots+q_n)t},$$

где  $q_1 = 1/m_1, q_2 = 1/m_2$  и т.д. Для среднего времени ожидания группы из  $n$  спутников  $m_{12\dots n}$  справедлива формула

$$\frac{1}{m_{12\dots n}} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \dots + \frac{1}{m_n}.$$

Это соотношение полностью подтверждается результатами моделирования. В этом легко убедиться, сопоставив данные в таблицах 2 и 3. Теперь, оценивая по данным моделирования среднее время ожидания  $t_{cp}$  каждого спутника, можно подобрать набор метеоспутников, способных обеспечить требуемое значение периода обновления данных.

Представленные результаты исследования позволяют получить представление о возможности использования данных метеоспутников при решении задач планирования маршрута в арктических водах. Даже если имеются данные всего одного спутника, среднее время ожидания (возраст) данных для спутников с «широкой» полосой захвата (QuikScat, ScatSat-1 и Hy-2A) составляет от полусуток до нескольких часов (табл. 2). С учётом характерной динамики погодных условий и возможной экстраполяции данных (прогноза погоды и ледовой

обстановки) это делает вполне возможным решение исходной задачи планирования безопасного маршрута перехода. Для спутников с «узкой» полосой захвата (ERS, ASCAT, Jason-2) возраст данных может составлять более суток. Достоверный прогноз погоды на столь большом интервале времени зачастую невозможен [26], что ставит под сомнение перспективу решения оптимизационной задачи планирования маршрута в целом.

Вместе с тем, данные спутников с «узкой» полосой захвата позволяют существенно увеличить площадь поверхности полярной зоны, по которой имеются «свежие» метеоданные при включении их в систему спутников. В силу особенностей орбитального движения и собственного вращения Земли, спутниковые трассы соседних витков одного спутника в полярных широтах пролегают близко друг от друга, что уменьшает площадь наблюдаемой в единицу времени поверхности (серые полосы, рис. 1). Включение в систему ещё одного спутника позволяет качественно уменьшить средний возраст имеющихся метеоданных. Например, добавление к спутнику ScatSat-1 спутника ERS позволило уменьшить среднее время ожидания данных на 2-3 часа (табл. 2 и 3). Система этих двух спутников за 12 ч наблюдает до 90% площади Арктики (рис. 2), при этом примерно по 80% территории имеются данные моложе 8 часов. Включение в систему 3-4 спутников, в том числе с широкой полосой, даст ещё более заметный эффект.

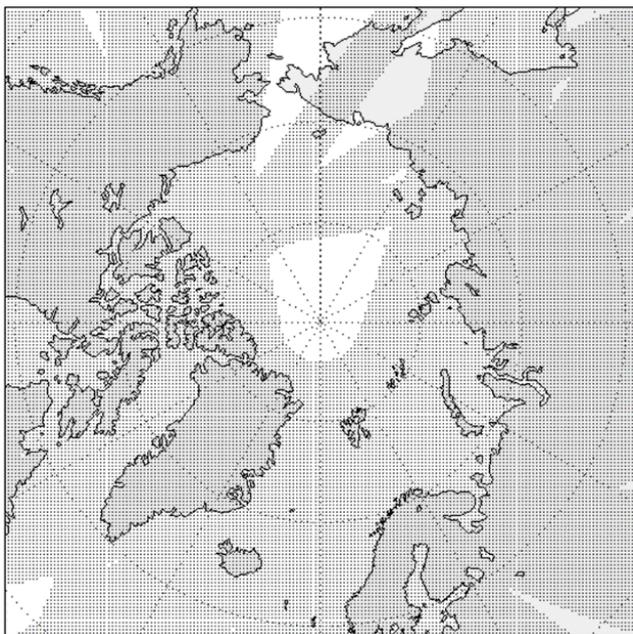


Рис. 2. Поверхность приполярной области, наблюдаемая группой спутников ScatSat-1 и ERS за 12 ч

Несмотря на хорошие результаты, которые даёт модель массового обслуживания при решении задачи оценки среднего времени ожидания данных системы спутников, следует отметить, что время ожидания наблюдения спутником той или иной точки поверхности Земли  $t_i^f - t_{i-1}^s$  является не случайной, а детерминированной величиной. Поэтому функция экспоненциального распределения описывает рассматриваемый процесс лишь приближённо, давая только качественную картину явления.

Данные о погоде, получаемые со спутников с «широкой» полосой захвата, зачастую характеризуются невысоким разрешением 30-50 км. [28, 29]. Однако, как показывают результаты моделирования [30-32], разрешение порядка 50 км вполне позволяет адекватно решать задачу планирования маршрута перехода судна с учётом погодных условий.

### Заключение

Задача планирования маршрута перехода судна является актуальной в судоводительской практике. Одним из путей дальнейшего повышения эффективности судовождения в арктических водах является оптимизация маршрута с учётом данных о погоде и ледовой обстановке. Для решения соответствующей оптимизационной задачи необходимы актуальные данные о погоде, их получение возможно с помощью специальных метеоспутников. Предложенная математическая модель задачи, основанная на уравнениях движения спутника по эллиптической орбите и дополненная представлениями классической задачи массового обслуживания, позволяет оценивать характерное время ожидания данных зондирования Земли группой метеоспутников, в том числе и в области полярных широт. Полученные оценки позволяют формировать набор спутников, необходимых для получения актуальных метеоданных, и требования к работе соответствующих метеосервисов.

Комплексирование данных нескольких спутников существенно уменьшает время ожидания данных о погоде в той или иной точке поверхности Земли. Этот эффект замечен даже при включении в систему спутников с «узкой» полосой захвата. Результаты моделирования задачи позволяют сделать вывод о принципиальной возможности получения актуальных (возрастом 2-3 ч) метеоданных по наиболее востребованным путям следования судов в Арктике (Северный Морской путь). Это, в свою очередь, делает возможным создание информационной системы поддержки принятия решений судоводителями при выборе маршрута перехода судна в условиях полярных вод на основе спутниковых метеоданных.

### Литература

1. Гагарский Э.А., Козлов С.Г., Кириченко С.А. Безопасность судоходства при проектировании морского порта // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – № 1. – С. 14-18.
2. Дмитриев В.И., Каретников В.В. Методы обеспечения безопасности мореплавания при внедрении беспилотных технологий // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2017. – №6. – С. 1149-1158. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1149-1158.
3. Седова Н.А., Седов В.А., Левченко Н.Г. Оценка степени опасности наблюдаемой цели на море с использованием систем искусственного интеллекта // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – Т.3. – №4. – С. 106-114.
4. Акмайкин Д.А., Хоменко Д.Б., Клюева С.Ф. Обзор функциональных возможностей и перспективы современных автоматизированных систем планирования маршрута судна // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2017. – № 2. – С. 237-251. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-237-251.

5. Чертков А.А. Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана-Форда // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2017. – № 5. – С. 1113-1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.
6. Федоренко К.В., Оловянный А.Л. Исследование основных параметров генетического алгоритма применительно к задаче поиска оптимального маршрута // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2017. – № 4. – С. 714-723. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-714-723.
7. Lu R., Turan O., Boulougouris E., Banks C., Incecik A. A semi-empirical ship operational performance prediction model for voyage optimization towards energy efficient shipping // Ocean Engineering. 2015. 110. Pp. 18–28. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.07.042.
8. Lin Y.-H., Fang M.-C., Yeung R. W. The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements // Applied Ocean Research. – 2013. 43. Pp. 184–194. DOI: 10.1016/j.apor.2013.07.010.
9. Wang, H., Li, X., Li, P., Veremey, E., Sotnikova, M. Application of Real-Coded Genetic Algorithm in Ship Weather Routing // Journal of Navigation. – 2018. 71. 4. Pp. 989-1010. DOI:10.1017/S0373463318000048.
10. Сотникова М.В. Алгоритмы формирования маршрутов движения судов с учетом прогноза погодных условий // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2009. – № 2. – С. 181-196.
11. Афонин А.Б., Тезиков А.Л. Концепция развития судоходных трасс акватории Северного морского пути // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2017. – № 1. – С. 81-87. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87.
12. Ольховик Е.О., Афонин А.Б., Тезиков А.Л. Информационная модель морских транспортных потоков северного морского пути // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2018. – № 1. – С. 97-105. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-97-105.
13. Трипольников В.П. О регистрации рисков ледовой навигации на северном морском пути // Арктика: экология и экономика. – 2018. – № 2. – С. 125-130. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-125-130.
14. Ружичка З.З., Музалевский К.В., Якубайлик О.Э., Швецов Е.Г. Информационно-технологическое обеспечение задач обработки и представления радиометрических спутниковых данных // Информационные технологии. – 2017. – № 7. – С. 529-535.
15. Ocean Surface Topography Mission/Jason-2 [Электронный ресурс] – Режим доступа [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/ostm/main/#.V-ebOyiLSUL](http://www.nasa.gov/mission_pages/ostm/main/#.V-ebOyiLSUL). (01.08.2018).
16. OSTM/Jason-2 Products Handbook / Сост. J.P. Dumont [и др.], 2001. 72 с.
17. Гладских Е.П., Костин В.Н., Максимов В.А., Репин Ю.М. Развитие средств навигационного оборудования прибрежной зоны российской федерации в соответствии с концепцией е-навигации // Навигация и гидрография. – 2016. – № 43. – С. 13-21.
18. Малеев П.И., Леденев Н.И. Особенности, состояние и перспективы развития е-навигации морских объектов // Навигация и гидрография. – 2012. – № 33. – С. 16-20.
19. Акмайкин Д.А., Букин О.А., Гриняк В.М. Комплексное использование данных метеоспутников для измерения параметров ветра и волнения вдоль маршрута судна // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2017. – № 5. – С. 941-953. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-941-953.
20. Гриняк В.М., Акмайкин Д.А., Иваненко Ю.С. Исследование реализуемости планирования оптимального маршрута судна с учетом спутниковых метеоданных // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 15.
21. Балк М.Б. Элементы динамики космического полета. М.: Наука, 1965. 338 с.
22. Маркеев А.П. Теоретическая механика. М.: ЧеРо, 1999. 572 с.
23. Chelton D.B., Freilich M.H., Sienkiewicz J.M., Von Ahn J.M. On the Use of QuikSCAT Scatterometer Measurements of Surface Winds for Marine Weather Prediction // Monthly Weather Review. 2006. 134. № 8. С. 2055-2071.
24. Risien C.M., Chelton D.B. A satellite-derived climatology of global ocean winds // Remote Sensing of Environment. 2006. 105. № 3. С. 221-236.
25. Верба В.С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. Москва: Радиотехника, 2010. 675 с.
26. Chelton D.B., Freilich M.H. Scatterometer-Based Assessment of 10-m Wind Analyses from the Operational ECMWF and NCEP Numerical Weather Prediction Models // Monthly Weather Review. 2005. 133. № 2. С. 409–429.
27. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 1988. 445 с.
28. Бондур В.Г., Мурынин А.Б. Методы восстановления спектров морского волнения по спектрам аэрокосмических изображений // Исследования Земли из космоса. – 2015. – № 6. – С. 3–14.
29. Гавриков А.В., Крицкий М.А., Григорьева В.Г. Модификация базы данных спутниковой альтиметрии GLobWave для решения задач диагностики поля морского волнения // Океанология. – 2016. – Т56. – № 2. – С. 322–327.
30. Гриняк В.М., Акмайкин Д.А., Люлько В.И. Оптимизация маршрута перехода судна с учетом параметров волнения // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – № 4. – С. 15.
31. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Акмайкин Д.А. Планирование маршрутов судов с учетом опасности морского волнения // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – № 12. – С. 10-16.
32. Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Акмайкин Д.А. Планирование маршрута с учетом опасности волнения по пути следования судна // Навигация и гидрография. – 2018. – № 53. – С. 14-23.

### Сведения об авторах:

#### **Гриняк Виктор Михайлович.**

Место работы: Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, доцент кафедры Информационных технологий и систем.

Адрес: 690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41.

Телефон 89046234235,

e-mail: Viktor.Grinyak@vvsu.ru.

#### **Девятисильный Александр Сергеевич.**

Место работы:

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, главный научный сотрудник сектора управления и навигации.

Адрес: 690041, Владивосток, ул. Радио, 5.

Телефон 89146614992,

e-mail: devyatis@iacp.dvo.ru.

#### **Акмайкин Денис Александрович.**

Место работы:

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, заведующий кафедрой радиоэлектроники и радиосвязи.

Адрес: 690003 Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а.

Телефон 89025562228,

e-mail: akmaykin@gmail.com.

**МЕТОДИКА РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ ТЕРМИНАЛЬНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

Доктор техн. наук, доцент **Покровская О.Д.**  
(Сибирский государственный университет путей сообщения. СГУПС)

**METHODS OF RATING TERMINAL AND LOGISTIC COMPLEXES**

**Pokrovskaya O.D.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor  
(Siberian State University of Railway Transport)

*Терминально-логистический комплекс, рейтинг, комплексная оценка, клиентоориентированный подход.*

*Terminal and logistic complex, rating, comprehensive assessment, client-oriented approach.*

*Посвящена разработке методики адекватной и комплексной оценки параметров работы современных терминально-логистических комплексов (ТЛК) различного типа на основе подсчета тотального рейтинга. Для достижения цели использованы аналитический метод исследования, инструменты программирования в среде Scilab, диаграммы Исикавы, SWOT-анализ, ABC- и XYZ-анализ.*

*The article is devoted to the development of methods of adequate and comprehensive assessment of the parameters of modern terminal and logistics complexes (TLC) of various types based on the calculation of the total rating. To achieve this goal, we used the analytical research method, programming tools in Scilab, Ishikawa diagrams, SWOT analysis, ABC and XYZ analysis.*

Транспортно-логистические комплексы являются ключевой частью любой логистической цепи и выполняют функции по преобразованию параметров грузовых и транспортных потоков. Современные перевозочные системы без них практически не существуют, поскольку такие комплексы осуществляют подготовку грузов к перевозке, балансируют провозные и перерабатывающие мощности участников перевозки [1].

При этом, «подключение» к системе доставки терминально-логистических комплексов (далее – ТЛК), существенно усложняет организацию и управление перевозочным процессом. Это связано с тем, что на ТЛК выполняется также широкий ассортимент комплексных услуг с добавленной стоимостью. Следует отметить, что специфика изменения параметров входящих и исходящих потоков определяются типом и форматом ТЛК [2], что усложняет принятие решений в сложных цепях доставки грузов, а также выбор клиентом подходящего ТЛК.

В настоящее время транспортно-логистический рынок предъявляет высокие требования к скорости принятия решений и их экономической обоснованности, что определяет актуальность комплексной оценки ТЛК с позиций клиента в первую очередь [3]. Принятие таких решений в сложных терминальных системах доставки грузов требует использования методики, позволяющей проводить такую комплексную оценку. Очевидно, что методика должна быть при этом достаточно объективной и учитывать множество факторов работы ТЛК.

Целью исследования является разработка методики комплексной оценки параметров работы ТЛК на основе рейтинга.

Терминально-логистическим комплексом будем считать территориально сконцентрированную совокупность транспортных коммуникаций, складских объектов различной специализации, а также единого информационного поля по оказанию широкого спектра терминально-складских, транспортных и логисти-

ческих услуг добавленной стоимости (составлено на основе [3-6]).

Комплексным исследованиям ТЛК посвящены работы таких зарубежных ученых, как Bowersox D. J. (Бауэрсокс Д.); Christopher M. (Кристофер М.); Higgins C.D. (Хиггинс С.); Kloss D.A. (Клосс Д.); Middendorf D. (Миддендорф Д.); Notteboom T. (Ноттебум Т.) [7]; Richards G. (Ричардс Г.) [4]; Pretorius M.P. (Преторэс М.) [8]; Rimienė K. (Римини К.) [9]; Rodrigue J.-P. (Родриге Ж.-П.) [10] и мн. др.

В отечественной науке ТЛК с позиций логистики изучались Б.А. Аникиным, В.В. Дыбской [11], Л.Б. Миротиним, А.М. Гаджинским, Т.А. Прокофьевой, В.И. Сергеевым и др., с позиций технико-технологического проектирования – Н.П. Журавлевым и О.Б. Маликовым [12-14], Н.В. Правдиным [15], П.В. Куренковым [16-20]; С.М. Резером и В.И. Тиверовским [21-23] и мн. др. Общеизвестные классификации [13;15] напрямую связаны с технической и технологической составляющими работы ТЛК. Однако, большинство подходов отражают лишь отдельные группы параметров и не ориентированы на комплексную оценку по выбору ТЛК с позиций клиента как лица, принимающего решения.

В качестве лиц, принимающих решения в сложных цепях доставки грузов, выступают:

- клиенты, обращающие внимание на такие показатели, как стоимость услуг, их ассортимент, комплексность и качество обслуживания;
- владельцы ТЛК (складские и логистические операторы), для которых значение имеют величина и динамика финансовых показателей: дохода от видов деятельности ТЛК, прибыли, рентабельности бизнеса в целом и отдельных пакетов услуг в частности;
- перевозчики (транспортно-логистические компании), которые принимают решение о выборе альтернативной схемы доставки грузов через ТЛК с учетом функциональной специфики ТЛК для участия в проектируемой цепи доставки;

- инвесторы, для которых главные показатели эффективности – это показатели дисконтированного дохода, эксплуатационных расходов, рентабельности и платежеспособности ТЛК;

- конкуренты, оценивающие степень добросовестности конкуренции, ценовой политики, эффективность инноваций ТЛК;

- поставщики материальных ресурсов и иные участники перевозочного процесса, считающие деятельность ТЛК эффективной в тех случаях, когда отсутствуют отказы во взаимодействии: имеется надежность поставок, исполнение договорных обязательств, реализация принципов логистики [24].

На диаграмме Исикавы (рис.1) приведен анализ влияющих параметров, требующих комплексной оценки. Выбор клиентом ТЛК в общем случае выполняется по трем ключевым группам, касающимся непосредственно перевозки, дополнительных услуг и гудвилла [25-26]. Выделим основные параметры:

- **Перевозка:** соответствие особенностям перевозки (температурный режим, габариты, хрупкость и др.), «география» перевозки, использование различных видов транспорта (железнодорожный, водный, авиа- и автотранспорт).

- **Дополнительные услуги:** информационное сопровождение (возможность отслеживания, извещение о прибытии); страхование груза (возможность выбора компании или перечня страховых случаев), дополнительные операции с грузом (упаковка в тару, обрешетка, опломбирование и др.), складирование груза (в пункте отправления, в пункте назначения, по типам складов, по температурным режимам), экспедирование.

- **Репутация и реклама** транспортно-логистического комплекса: сайт и его особенности, сроки и регулярность, отзывы о работе и др. [27-28].

Различные сочетания и соотношения этих элементов в процессе организации ТЛК определяют разнообразие его архитектурно-планировочных и объемно-пространственных параметров [29].

Однако, ряд взаимозависимостей между влияющими факторами определяет сложность решения задачи оптимизации работы ТЛК. Например, снижение числа погрузочно-разгрузочных машин приведет к росту значения критерия, характеризующего использование машин по времени в течение суток, но снижает перерабатывающую способность грузового фронта и т.д. [30].

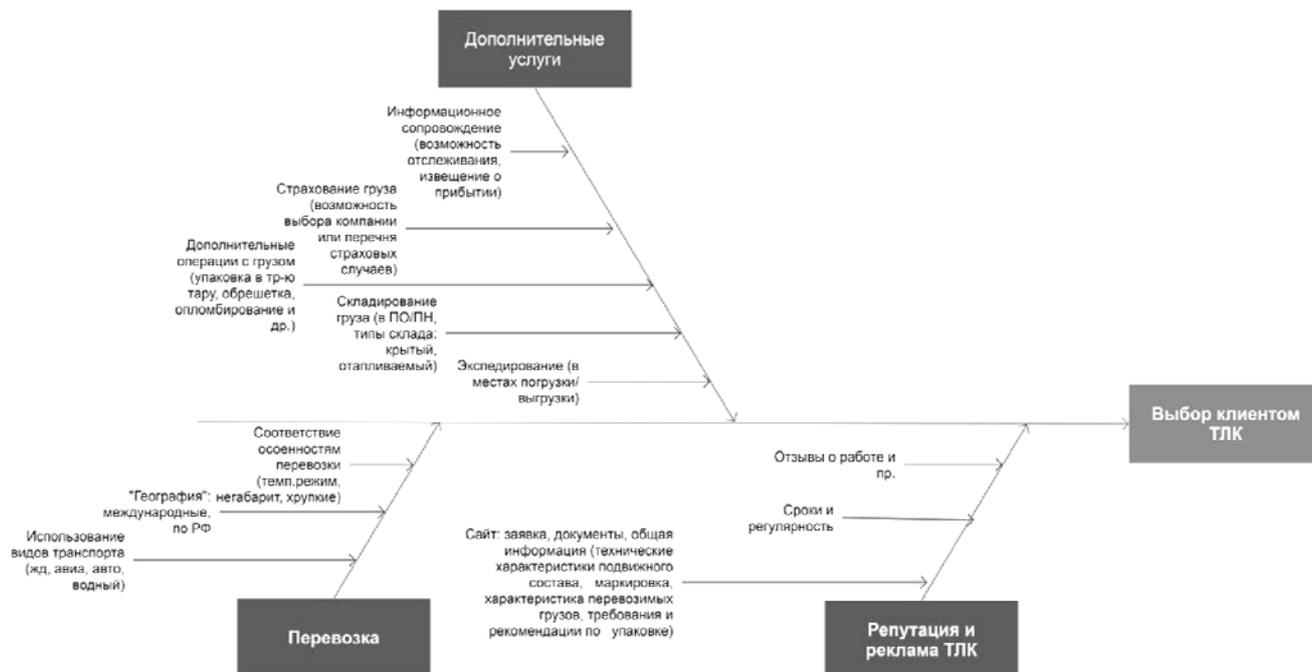


Рис. 1. Диаграмма Исикавы по анализу значимых параметров ТЛК.

Был проведен также SWOT-анализ состояния терминально-складской инфраструктуры (на примере Новосибирской области), который показал:

1. Сильные стороны:

- Транзитное положение относительно зарубежья РФ и крупных городов.

- Хорошо развитая транспортная и торговая инфраструктура.

- Близость к субъектам РФ, добывающим различные виды экспортируемого сырья.

- Стабильный инвестиционный рейтинг предприятий региона.

2. Слабые стороны:

- Удаленное положение от столицы РФ и стран Европы.

- Высокие экспортные тарифы на перевозки.

- Климатические особенности региона.

3. Возможности:

- Эффективное использование геополитического положения города в Азии.

- Привлечение инвесторов по статусу НСО как центра СФО.

- Развитие региональной сети ТЛК.

- Увеличение объема экспорта.

- Сопряженность с направлениями ключевых транспортных коридоров, в том числе – с маршрутом «Новый шелковый путь».

- Привлечение на сеть ТЛК области внешнеторговых потоков.

4. Угрозы:

• Недостаток инвестиций, требующихся для реализации мер по развитию широкой сети ТЛК.

В работе предлагается новая методика комплексной оценки деятельности ТЛК на основе расчета рейтинга по каждому значимому параметру. При разработке методики учитывались результаты, полученные в работах [14], [31] и [32].

Рассмотрим в общем виде процедуру рейтинговой оценки ТЛК:

1) Определение перечня показателей, влияющих на деятельность ТЛК.

2) Уточнение, выявление важнейших показателей с помощью сравнительных таблиц, диаграмм Исикавы, SWOT, ABC, XYZ анализов.

3) Выявление функциональных зависимостей между основными характеристиками ТЛК.

4) Формирование формулы рейтинговой оценки;

5) Определение основных проблем («узких мест») ТЛК.

6) Программирование решения задачи автоматизированной оценки ТЛК по предложенным методикам.

Критерий	Авиационный карго-центр Толмачево		Сибирский терминал		Терминал ЕвроСиб		Терминал Клещина		Лонгран-Логистик		ТЛК Континент		коэффициент приоритетности	max	
	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5		5	5
линейка видов транспорта	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	1,00	5	5
отслеживание груза	5	4	0	0	5	4	5	4	0	0	0	0	0,80	5	4
спец. режим перевозки	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	0,50	5	2,5
страхование	5	5	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	1,00	5	5
обработка документов	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	1,00	5	5
упаковка и крепление	4	2	5	2,5	5	2,5	5	2,5	0	0	5	2,5	0,50	5	2,5
"от двери до двери"	5	4	0	0	4	3,2	5	4	4	3,2	5	4	0,80	5	4
экспедирование	5	2,5	0	0	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	0,50	5	2,5
разработка оптимального	5	5	1	1	4	4	5	5	3	3	5	5	1,00	5	5
онлайн-заявка	1	0,5	0	0	4	2	1	0,5	3	1,5	5	2,5	0,50	5	2,5
гибкая тарифная политика	3	3	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	1,00	5	5
международные	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	5	2,5	0,50	5	2,5
сайт	3	3	1	1	4	4	0	0	3	3	5	5	1,00	5	5
репутация, известность	4	4	3	3	3	3	5	5	3	3	2	2	1,00	5	5
дешевизна перевозки	1	1	3	3	3	3	5	5	3	3	3	3	1,00	5	5
складирование	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	5	5	1,00	5	5
<b>ИТОГО</b>	<b>66</b>	<b>54</b>	<b>43</b>	<b>35,5</b>	<b>72</b>	<b>58,2</b>	<b>71</b>	<b>58,5</b>	<b>45</b>	<b>35,2</b>	<b>70</b>	<b>56,5</b>		<b>80</b>	<b>65,5</b>

Рис. 2. Результаты анализа параметров деятельности ТЛК региона.

Наименование ТЛК	Годовая прибыль по средней стоимости перевозки	$q_i$	$\sum q_i$	Распределение	Наименование ТЛК	Коэффициент вариации	$q_i$	$\sum q_i$	Распределение
Терминал Клещина	7238548800	66,37823	66,37823	A	Терминал Клещина	98,94096	26,43693	26,43693	Z
Промышленно-логистический парк (Толмачево)	3635711450	33,33985	99,71808	B	Промышленно-логистический парк (Толмачево)	88,18549	23,56307	50	
Сибирский терминал	7760000	0,07116	99,78924	C	Сибирский экспедитор	37,79263	10,09815	60,09815	
Авиационный карго-центр Толмачево	22822810,41	0,209288	99,99853		ТЛК Континент	37,79262	10,09815	70,1963	
Лонгран-Логистик	112080	0,001028	99,99955		Лонгран-Логистик	37,78139	10,09515	80,29145	
ТЛК Континент	20272,032	0,000186	99,99974		Авиационный карго-центр Толмачево	37,00561	9,887861	90,17931	
Сибирский экспедитор	28440	0,000261	100		Сибирский экспедитор	36,75421	9,820687	100	

Рис. 3. Результаты ABC- и XYZ-анализов.

В MS Office Excel была сформирована сравнительная таблица по выборке из шести ТЛК (Новосибирская область), в которой учтены важнейшие критерии, рис. 2.

На рис. 3 приводятся данные проведенных ABC- и XYZ-анализа, (по объемам грузооборота ТЛК Новосибирской области).

Условные обозначения:  $q_i$  – объем грузооборота, тыс.т/год;  $\sum q_i$  – величина объема грузооборота нарастающим итогом, тыс.т/год

Согласно авторской 5-балльной системе оценки параметров ТЛК с поправочным коэффициентом приоритетности (учет важности критерия для клиента), прове-

дена оценка деятельности ряда ТЛК по критериям: линейка видов транспорта; репутация, известность; отслеживание груза; спец. режим перевозки; страхование; обработка документов; разработка оптимального маршрута; онлайн-заявка; гибкая тарифная политика; упаковка и крепление груза; "от двери до двери"; экспедирование; международные перевозки, таможенное оформление; сайт; дешевизна перевозки; складирование.

Установлено, что предпочтительным для клиента (по усредненным данным) будет выбор таких ТЛК, как ТЛК Континент, Клещиха, Евросиб, и авиационный карго-центр Толмачево. По совмещенному анализу XYZ и ABC лидирует терминал Клещиха по объему грузооборота. В группу AZ попадают: терминал Клещиха, ВЗ – ПЛП «Толмачево», Авиационный карго-центр Толмачево, «Лонгран-Логистик», «Сибирский экспедитор».СЗ – «Сибирский терминал», «ТЛК Континент».

Как показывает анализ, ТЛК характеризуются большим количеством показателей, имеющих различную природу. При этом невозможно ограничить выбор одним глобальным показателем. Работа ТЛК описывается зачастую рядом разнонаправленных критериев, а поскольку клиент зачастую принимает решения при дефиците достоверной информации, то свести несколько локальных критериев в один обобщенный («суперкритерий», например), не представляется возможным для задач принятия решения клиентом [33].

Задача оптимального проектирования и определения оптимальных условий функционирования ТЛК по существу является многокритериальной: чем больше критериев вводится в рассмотрение, тем более полное представление можно получить об исследуемой системе [34].

Целевыми функциями параметров ТЛК считаем: количество ПРМ, ПРМ; время работы грузового фронта,  $t(зф)$ ; время простоя ТС, механизмов,  $t(пр)$ ; время хранения груза,  $t(хр)$ ; вместимость зоны хранения,  $B$ ; время подачи, уборки транспортных единиц,  $t(n/y)$ ; работа по прямому варианту,  $K(пв)$ ; затраты ресурсов,  $E$ ; производительность труда и механизмов,  $N$ ; время в ожидании работ,  $t(ож)$  [10], что составляет основу оценки ТЛК.

Показатели, стремящиеся к минимуму или максимуму, в соответствии с таблицей, учитываются таким образом: если показатель равен минимуму (по нормам и технико-эксплуатационным расчетам), к которому и должен стремиться, то принимаем его рейтинговое значение как 1. В реальной практике это практически невозможно, поэтому показатель будет равен минимуму с неким коэффициентом  $K$ . Для показателей, стремящихся к минимуму, принимаем рейтинговое значение как  $|1-K|$ . Для показателей, стремящихся к максимуму, принимаем рейтинговое значение  $|K-1|$ . Показатели рассчитываются с применением поправочного коэффициента для повышения объективности расчета. Поправочный коэффициент выведен с применением метода экспертных оценок.

Сформирована таблица оценок по 5-балльной шкале по критериям: линейка предоставляемых перевозочных услуг по видам транспорта,  $L$ ; отслеживание груза,  $O$ ; разработка оптимального маршрута доставки,  $P$ ; онлайн-заявка и консалтинг,  $он$ ; гибкая тарифная политика,  $г$ ; международные перевозки и таможенные услуги,  $M$ ; предоставление специализированного подвижного состава и особого режима перевозки,  $Срп$ ; страхование,  $Ст$ ; безбумажная обработка документов,  $Од$ ; упаковка и крепление груза,  $У$ ; "от двери до двери",  $От$ ; экспедирование,  $Э$ ; клиентоориентированность сайта,  $С$ ; дешевизна перевозки,  $Д$ ; ассортимент складских услуг с учетом классности помещений,  $Скл$ . Все параметры представлены в формуле:

$$PO1 = \frac{ППМ1}{ППМ2} + \frac{t(зф)1}{t(зф)2} + \frac{t(хр)1}{t(хр)2} + \frac{B1}{B2} + t(п/у) + t(пр) t(ож)+E+N+K(пв) \rightarrow 10 \text{ б.}$$

$$PO2 = L+O+СРП+Ст+Од+У+От+Э+P+он+г+M+c+Д+Скл. \rightarrow 65,5 \text{ б.}$$

Верхняя формула дает оценку параметрам, связанным с работой грузовых фронтов в частности, и людей, механизмов по транспортно-логистическому комплексам в целом, максимальная оценка 10 баллов. Нижняя формула дает комплексную рейтинговую оценку транспортно-логистического комплекса, максимальная оценка 65,5 баллов, что дано на рис. 4:

Параметр	Выгода при соответствии	
	1	2
Количество ПРМ, ПРМ	max (для более быстрой ПРР)	min (по экспл. Расходам)
время работы грузового фронта, $t(гф)$	max (для клиентов)	min (по расходам на ЗП раб-м)
время простоя ТС, механизмов, $t(пр)$	min	
время хранения груза, $t(хр)$	max (для клиентов)	min (по расходам, связ-ям с хран-м)
вместимость зоны хранения, $B$	max (для хранения грузов всех клиентов)	min (по расходам на обслуживание больших площадей)
время подачи, уборки, $t(п/у)$	min	
работа по прямому варианту, $K(пв)$	max	
затраты ресурсов, $E$	min	
производительность труда и механизмов, $N$	max	
время в ожидании работ, $t(ож)$	min	

Рис. 4. Параметрическая таблица по целевым функциям.

Затем была разработана классификация типов ТЛК и выделены границы рейтинговой оценки ТЛК. Низкому рейтингу соответствуют значения PO2 до 16 баллов, среднему – до 32 баллов, выше среднего – от 48 до 50 баллов, высокого рейтинга - от 51 балла. На рис.5 дается классификация с учетом полученных границ рейтингов ТЛК с учетом [35].

Рейтинг	До, баллов	Проценты
<b>Низкий</b>	<b>16</b>	<b>25%</b>
<b>Средний</b>	<b>32</b>	<b>от 25 до 50%</b>
<b>Выше среднего</b>	<b>48</b>	<b>от 50 до 75%</b>
<b>Высокий</b>	<b>66</b>	<b>от 75 до 100%</b>
Всего	66	100%

Рис. 5. Классификация типологии ТЛК по комплексной рейтинговой оценке

Методика была применена для расчетов на примере грузового терминала Клешиха: значение 56,4 балла характеризует терминал как ТЛК высокого рейтинга, что реэвалвантно реальным условиям: сегодня Клешиха входит в ТОП-5 лучших ТЛК РФ, а также в опорную сеть ТЛК ОАО «РЖД».

В среде программирования Scilab был разработан программный продукт, автоматизирующий предложенную методику. Программа проходит регистрацию в Роспатенте.

Таким образом, в ходе исследования изучены факторы, влияющие на выбор ТЛК; проведены SWOT-, ABC и XYZ-анализы терминально-складской инфраструктуры (на примере Новосибирской области); определены целевые функции параметров ТЛК, а также разработана система рейтинговой оценки и классификации ТЛК, реализованная в среде Scilab. Предметом будущих исследований может стать решение задачи снижения субъективности оценки по этой методике.

### Литература

1. Складская недвижимость России: аналитический отчет 2016, Knight Frank LLP, 2016. – 6 с. Сост. О.Ясько, В.Холопов. Аналитические отчеты компании Knight Frank. Режим доступа: URL: <http://www.knightfrank.ru/research/>; дата обращения: 04.12.2018 г.
2. Покровская О.Д. Организационно-технические решения при проектировании грузовых терминалов в составе международных транспортных коридоров/О. Д. Покровская, В.М. Самуйлов // Инновационный транспорт, № 4, 2015. – С. 13-24.
3. Маликов О.Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок - М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2014.- 536 с
4. Richards G. Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse / G. Richards // Kogan Page Publishers. 2011. 334 p.
5. Прокофьева Т.А. Логистические центры в транспортной системе России/ Т.А. Прокофьева, В.И. Сергеев. – учеб. пос.– М.: Экономическая газета, 2012. – 522с.
6. Kondratowicz L. NeLoC: planning of logistics centres: Work Package 1: final report / Ludwik Kondratowicz. – Gdansk: Department of Scientific Publications of the Maritime Institute, 2003. – 133 p.

7. Notteboom T. Inland terminals within North American and European supply chains / T. Notteboom and J-P. Rodrigue // Transport and Communications. Bulletin for Asia and the Pacific. – 2009. – № 78. – P. 1-39.
8. Pretorius M.P. Logistical cities in peripheral areas / M.P. Pretorius // University of the Free State. – 2013. – 291 p.
9. Rimienè K. Logistics Centre Concept through Evolution and Definition / Kristina Rimienè, Dainora Grundey // Engineering Economics. – 2007. – №4 (54). – P. 87-95.
10. Rodrigue J.-P. / J.-P. Rodrigue. THE GEOGRAPHY OF TRANSPORT SYSTEMS. Chapter 5 - International Trade and Freight Distribution. THIRD EDITION (2013), New York: Routledge, 416 pages. ISBN 978-0-415-82254-1.
11. Дыбская В.В. Управление складированием в цепях поставок /В.В. Дыбская. – М., Альфа-Пресс, 2009. – 720 с.
12. Журавлев Н.П. Транспортно-грузовые системы/Н.П. Журавлев, О.Б. Маликов //: Учебник для вузов ж.д.транспорта. – М.: УМНЦ, 2005. –438 с.
13. Маликов О.Б. Склады и грузовые терминалы. – СПб.: Бизнес-Пресса, 2005. –648с.
14. Покровская О.Д. Методика построения сетевого графа структуры логистического объекта / О.Д. Покровская, О.Б. Маликов // Мир транспорта. 2017. № 1. – Т.25. – С.18-27.
15. Правдин Н.В. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Головнич и др., под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко. М., ФГБОУ «УМЦ по образованию на ж.д. транспорте», 2012. – 1086 с. ISBN 978-5-89035-619-2.
16. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Система поддержки принятия экономически обоснованных решений // Экономика железных дорог.- 2005.- № 1.- С.18-26.
17. Мохонько В.П., Исаков В.С., Куренков П.В. Проблемы создания ситуационно-аналитической системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / В.П.Мохонько, В.С.Исаков, П.В. Куренков // Бюллетень транспортной информации.- 2004, № 9.- С. 22.
18. Бельницкий Д.С., Котляренко А.Ф., Куренков П.В., Калатинская А.Б. Классификация операторских компаний /Д.С. Бельницкий, А.Ф.Котляренко, П.В. Куренков, А.Б.Калатинская // Бюллетень транспортной информации.- 2007, № 9 (147).- С. 014-019.
19. Куренков П.В., Нехаев М.А. Моделирование работы сортировочной станции в интеллектуальной системе управления перевозками / П.В. Куренков, М.А. Нехаев // Железнодорожный транспорт.- 2012, № 9.- С. 20-22.
20. Котляренко А.Ф., Куренков П.В. Логистизация информационных технологий на транспортных стыках (в морских портах и погранпереходах)/ А.Ф. Котляренко, П.В. Куренков//Транспорт. Экспедирование и логистика.- 2002. № 3.- С. 11.
21. Резер С.М., Тиверовский В.И. Основные направления развития внутренней логистики на современном этапе / С.М. Резер, В.И. Тиверовский// Транспорт: наука, техника, управление.- 2015, № 2.- С. 26-29.
22. Тиверовский В.И. Логистика в условиях 4-ой промышленной революции/ В.И. Тиверовский// Транспорт: наука, техника, управление №10, 2018.- С. 38-44.

23. Тиверовский В.И. Лучшие зарубежные проекты складов и логистических центров / В.И. Тиверовский // Транспорт: наука, техника, управление.- 2018, № 6.- С. 42-46.
24. Покровская О.Д. Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики / О.Д. Покровская // Вестник транспорта Поволжья. -2016, № 5 (59).- С. 77-86.
25. Покровская О.Д. Эволюционно-функциональный подход к развитию транспортных узлов /О.Д. Покровская // Материалы IX Межд. науч.-техн. конференции «Политранспортные системы: Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири». – Новосибирск, СГУПС, 2016. – С. 233-237.
26. Pokrovskaya O.D. Chi terminalistica reale come una nuova direzione scientifica / O.D. Pokrovskaya // Italian Science Review.2016; 1(34). PP. 112-116.
27. Покровская О.Д. Моделирование системы организации перевозочного процесса через терминальную сеть / О.Д. Покровская // Известия Транссиба. 2017. № 1 (29). С. 118-130.
28. Покровская О.Д. Формирование терминальной сети для организации перевозок грузов / О.Д. Покровская // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Уральский государственный университет путей сообщения. Новокузнецк, 2011. – 235 с.
29. Покровская О.Д. Выбор наилучшего варианта терминальной сети и проверка его устойчивости / О.Д. Покровская // Транспорт Урала.– № 2 (33). –2012.- С. 70-74.
30. Покровская О.Д., Самуйлов В.М., Неволлина А.Д. Инфраструктура международных транспортных коридоров / О.Д. Покровская, В.М. Самуйлов, А.Д. Неволлина // Инновационный транспорт.- 2013, № 3 (9).- С. 33-37.
31. Pokrovskaya O.D. Terminalistica as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions /O.D. Pokrovskaya, etc // Sustainable economic development of regions: Monograph, Vol. 3 / ed. by L. Shlossman. – Vienna: East West, 2014. – 261 p. – Pp.154-177.
32. Покровская О.Д. Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики / О.Д. Покровская // Вестник транспорта Поволжья.- 2016, № 5 (59).- С. 77-86.
33. Покровская О.Д. Содержательное описание логистического центра и его роли в системе международных транспортных коридоров / О.Д. Покровская О.Д., Е.К. Коровяковский // Известия Петербургского университета путей сообщения.- 2014, № 3 (40).- С. 22-28.
34. Покровская О.Д., Коровяковский Е.К. Логистика терминалов: перспективное направление логистики /О.Д. Покровская, Е.К.Коровяковский// Известия Петербургского университета путей сообщения.- 2015, № 3 (44).- С. 155-164.
35. Покровская О.Д. Классификация объектов железнодорожной терминально-складской инфраструктуры /О.Д. Покровская// Вестник Уральского государственного университета путей сообщения.- 2017, № 1 (33).- С. 70-83.

#### Сведения об авторе

**Покровская Оксана Дмитриевна**, доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191.

Телефон: 8-962-833-56-25.

E-mail: insight1986@inbox.ru.

## ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК

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

### OPTIMAL DELIVERY ROUTING IN SUPPLIER CHAINS

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

*Цены поставок - логистический провайдер - поставщики – склады - клиенты, доставка заказов, оптимальные маршруты, модели и алгоритмы оптимизации, программное обеспечение.*

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

*Рассматривается задача планирования логистическим провайдером доставки грузов в системе разнотипных по характеру заказов, получаемых от поставщиков товаров и их покупателей. Предлагаются алгоритмы нахождения оптимальных маршрутов и реализующий их программный комплекс.*

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

Поставщики (провайдеры) логистических услуг, экспедиторы, работая в условиях конкуренции, вынуждены предлагать разнообразные по своему характеру услуги по доставке грузов. Обычные и наиболее распространенные заказы включают в большинстве случаев доставку от адреса одного грузоотправителя в адрес одного грузополучателя. Часто встречаются заказы по развозке грузов одного грузоотправителя в несколько адресов или, наоборот, завоз грузов из нескольких адресов одному грузополучателю. Крупные заказчики, представляющие собой торговые компании, крупные торговые сети и промышленные компании делают комплексные заказы, содержащие задания по доставке грузов в сетях от своих поставщиков на центральные склады и развозку с собственных складов своим клиентам.

Логистический провайдер, обеспечивающий выполнение разнообразных заказов, особенно при их значительном количестве, вынужден уделять большое внимание снижению логистических издержек на доставку грузов, повышению оперативности решения сложных задач планирования выполнения заказов, автоматизации их решения. Принятие эффективных решений по организации транспортно-логистического обслуживания требуют широкого использования прикладных оптимизационных моделей и методов и оптимизации.

Задачи оптимального планирования перевозок в различных постановках рассматривались в ряде работ [например, 1–7 и др.]. К их числу из наиболее близких по тематике настоящей статьи относятся: задачи завоза (вывоза) мелких отправок на грузовые терминалы мультимодальных операторов [1 - 4], задачи планирования перевозок заказов со значимым тоннажем автомобилями различной грузоподъемности [3,4].

В настоящей работе рассматривается задача, отличающаяся по постановке тем, что предлагается единая оптимизационная модель, объединяющая разнотипные по своему характеру клиентские заказы, позволяющая формировать оптимальным образом полный транспортно-логистический процесс, элементами которого

являются перевозки, погрузки, разгрузки и их оптимальное сочетание с целью минимизации суммарных затрат.

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

#### 1. Базовая модель транспортно-логистического процесса

Логистическому провайдеру (ЛП) поступают заказы от торговой компании, имеющей сеть клиентов  $K_1, K_2, \dots$ , которым поставляются покупаемые для них товары, сеть поставщиков  $P_1, P_2, \dots$ , предлагающие товары. Поставки оформляются в виде отдельных клиентских заказов. Заказы, как обычно, содержат описание на уровне наименования, единиц поставки и количество единиц.

Собрав клиентские заказы, компания определяет наиболее выгодного по цене каждого наименования поставщика. В результате каждый заказ может быть расщеплен на несколько (по числу выбранных поставщиков) подзаказов. Подзаказы распределяются как отдельные самостоятельные заказы провайдером его поставщикам. Задача поставщиков скомплектовать на своих складах отгрузки запрашиваемые логистическим провайдером (ЛП) подзаказы. Далее составляется транспортный заказ (заявка) перевозчикам или экспедиторам на подачу транспортных средств и выполнение перевозок. В результате заказанный каждым клиентом заказ, собранный из нескольких складов отгрузки доставляется клиенту в виде отдельной грузовой партии. Логистический провайдер должен найти оптимальный маршрут объезда, связывающий поставщиков и клиентов, при условии ограничений на заданный тоннаж заказов, используемого парка автомобилей и времени доставки.

Повторные выезды к одному и тому же клиенту с доставкой заказа частями недопустимы. Перед завозом

полного заказа клиентам своего заказчика ЛП должен обеспечить заезд к поставщикам и забор всех подзаказов, составляющих заказ клиента.

## 2. Исходные данные. Матрица тоннажа

Мы примем, что данные о заказах для планирования перевозок представлены в виде матрицы

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

элемент  $W_{ij}$ , которой представляет количество груза (тоннаж), заказанного у  $i$ -го поставщика для  $j$ -ого клиента. Матрица содержит  $N_s$  строк и  $N_{kl}$  столбцов,  $N_s$  – количество поставщиков,  $N_{kl}$  – количество клиентов. Сумма элементов матрицы по столбцам и строкам

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

соответственно означает общий тоннаж  $T[j]$  заказа  $j$ -ого клиента и суммарный тоннаж  $Sup[i]$ , поставляемый  $i$ -ым поставщиком (Supplier) компании ЛК, организующей поставку по всем  $N_{kl}$  заказам. Адреса пунктов объезда характеризуются массивами координат поставщиков

$x_s[i], y_s[i]$  и клиентов  $x_{kl}[i], y_{kl}[i]$ . Задана также матрица расстояний  $R = (r_{ij})$  между всеми пунктами объезда. В дополнении к этим данным требуется, как это было и ранее в задачах с временными ресурсами, матрица затрачиваемых на перевозку временных ресурсов

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

где  $T_{ij} = T[i, j]$  – время, затрачиваемое на перевозку между  $i$ -ым и  $j$ -ым пунктами, диагональные элементы  $T_{ii}$  матрицы  $T$  характеризуют время выполнения погрузо-разгрузочных работ (ПРР) в  $i$ -ом пункте назначения, включая и время оформления документов.

Планирующий логистический провайдер располагает парком из  $m$  типов транспортных средств (ТС). Каждый тип ТС характеризуется параметрами:  $G_l$  – грузоподъемностью (или грузоместимостью), измеряемой в тех же единицах, что и количество грузов;  $C_l$  [руб/км] – стоимостью перевозки груза на 1 км пути,  $C_{0l}$  [руб] – стоимостью подачи под загрузку грузового автомобиля  $l$ -ого типа и стоимостью простоя под погрузочно-разгрузочными операциями  $C_{lПРР}$  [руб/ч].

На выполнение всех транспортных и погрузочно-разгрузочных операций отводится ресурс времени  $T_{\max} = T_{res}$ . При этом учитывается минимальное значение временного ресурса  $T_{res}$ , при котором существует хотя бы один план. Время выполнения каждого рейса должно быть не более величины  $T_{res}$ . Каждому клиенту доставляется полный тоннаж  $T[j]$  заказа за одно посещение. Однако для заезда к каждому клиенту необходимо заехать ко всем его поставщикам для забора его подзаказов и назначить соответствующий грузовой автомобиль для выполнения. Ненулевые элементы  $j$ -ого столбца матрицы (1) определяют всех поставщиков заказа  $j$ -ого клиента, которые необходимо посетить предварительно перед заездом к клиенту.

Требуется найти оптимальный план наименьшей стоимости, обеспечивающий доставку всех клиентских заказов с предварительным объездом для каждого клиента всех его поставщиков. Каждому клиенту доставляется полный тоннаж  $T[j]$  заказа за одно его посещение.

## 3. Представление транспортно-логистического процесса (ТЛП)

Для решения искусственно введем новых поставщиков, связав каждый подзаказ с тоннажем  $W_{ij}$ , фактически поставляемый  $i$ -ым поставщиком с новым «условным» поставщиком. Каждого такого поставщика кодируем по-новому в соответствие с матрицей (1). Для этого будем просматривать матрицу построчно. Начиная с первой строки, определяем первый отличный от нуля элемент. Будем считать, что он поставляется поставщиком с номером  $f = 1$ , далее находим следующий ненулевой элемент, свяжем его с новым поставщиком с номером  $f = 2$  и т. д. После этого продолжаем кодировку новых поставщиков, переходя к следующей строке вплоть до окончания просмотра всей матрицы. Обозначим  $N_{os}$  общее количество ненулевых элементов в матрице (1). Эта величина равна количеству условных поставщиков. Каждому клиенту присвоим последующие номера  $N_{os} + 1, N_{os} + 2, \dots, N_{os} + N_{kl} = n$ . В результате искомым план может быть записан в виде маршрута

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

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

Такая форма записи обычна для планирования маршрутов завоза-вывоза [2, 4]. Отличие будет только в интерпретации. Узлы цепи (3) означают поставщиков, товарные склады, грузоотправителей, грузополучателей и других участников ТЛП. Физически одна и та же компания, закодированная разными кодами может быть и клиентами и поставщиками по нескольким различным заказам (см. примеры). Дуги цепи означают перевозку грузов, погрузки у поставщиков, разгрузки у грузополучателей. Несколько дуг, идущих последовательно, могут означать разгрузки разных поставок на одном и том же складе и загрузки отправок с этого же склада разным клиентам торговой компании.

Принятый способ кодировки позволяет разбить весь маршрут на естественные элементы транспортно-логистического процесса. Для сохранения связей между кодировками поставщиков, клиентов и доставляемого тоннажа вводится массив  $SKl$  (supplier – client) размера  $N_{os} \times 3$ ,  $f$ -ая строка которого содержит запись первоначального естественного кода поставщика с новым кодом  $f$ , первоначальный естественный код клиента и предназначенный для него тоннаж – элемент матрицы  $W$ . Массив  $SKl$  сохраняет однозначную жесткую связь «Поставщик → подзаказ → клиент», управляющую ходом процедуры поиска.

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

## 4. Точное решение методом динамического программирования

Введем множество  $S_k = \{i_1, i_2, \dots, i_l = f, \dots, i_k\}$ , составленное из  $k$  произвольно выбранных узлов, и узел  $i$ ,

лежащий вне этого множества. Для узла  $i \neq 0$  определи параметр состояния

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

величины:  $l = 1, 2, \dots, m$  – тип грузового автомобиля, который находится в узле  $i$  на маршруте,  $j = 0, 1, \dots$ , – остаточный свободный ресурс грузоподъемности, который располагает грузовой автомобиль при выезде из  $i$ -ого узла,  $t = 0, 1, 2, \dots$  – остаточный ресурс (запас) времени, который остается до того момента, когда отводимый на весь рейс ресурс  $T_{res}$  будет израсходован. С этим значением остаточного ресурса и значением параметра состояния  $S$  грузовой автомобиль выходит из  $i$ -ого узла.

Введем соответственно два типа целевых функций:  $F_{k+1}(i, l, j, t, S_k)$  – стоимость (длину) кратчайшего маршрута из  $i$ -ого узла в нулевой узел через множество  $S_k$ , при условии, что из узла  $i$  будет выходить ТС  $l$ -го типа, имеющее свободный ресурс грузоподъемности  $j = 0, 1, 2, \dots$  остаточный ресурс времени  $t$ ;  $F_{k+1}(0, S_k)$  – стоимость (длину) кратчайшего маршрута без фиксации определенного типа автомобиля и свободного ресурса грузоподъемности ТС.

Эти функции удовлетворяют следующим уравнениям ДП:

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

$$F_{k+1}(0, S_k) = \min \{ C_{0l} + C_l \rho_{of} + C_{ППП} T_{ff} + F_k(f, l, G_l - Q_f, T_{res} - T_{0f} - T_{ff}, S_k \setminus f) \}. \quad (5)$$

Формула (4) содержит минимум по двум переменным. Первый (внутренний, выделенный квадратными скобками) минимум, отыскивается перебором переменной  $f \in S_k$ . Формула (4) содержит двойной знак  $\pm$ . В том случае, если  $f$ -ый узел является поставщиком, то происходит дозагрузка рейса, свободный ресурс  $j$  уменьшается и в формуле необходимо ставить знак «минус». Если же узел  $f$  является клиентом, то происходит разгрузка рейса, свободный ресурс  $j$  увеличивается и в формуле необходимо ставить знак «плюс».

В формуле (5) минимум вычисляется по двум типам переменных: – типу  $l = 1, 2, \dots, m$  транспортного средства, посылаемого из нулевого узла, и (при выбранном типе  $l$ ) – по номеру  $f$  узла множества  $S_k$ . Нахождение минимума позволяет определить оптимальный тип ТС, посылаемого из нулевого пункта и первый пункт посещения.

Маршруты, удовлетворяющие всем ограничениям, назовем *допустимыми*. Недопустимые маршруты предполагают, например, заезд к клиенту без предварительного сбора всех его подзаказов или перегруз ТС сверх грузоподъемности.

### 5. Уравнения алгоритма «L – кратчайших маршрутов»

На  $k$ -ом промежуточном шаге определим для фрагмента формируемого маршрута

$$i = i_k \rightarrow f = i_{k-1} \rightarrow i_{k-2} \rightarrow \dots \rightarrow i_2 \rightarrow i_1 \rightarrow 0 \quad (7)$$

параметры состояния, его определяющие

$$S = (i, l, j, t), \quad S_0 = S_i = 0, \quad j = G_l, \quad t = T_{res}, \quad (8)$$

где компоненты параметра состояния  $S$  включают значения «выходных» параметров, с которыми начинается формируемый  $k$ -шаговый фрагмент. Параметр состояния  $S_0$  означает, что промежуточный шаг, а также конечный шаг маршрута может начинаться из нулевого состояния с полным ресурсом грузоподъемности  $G_l$  выбранного  $l$ -го типа транспортного средства.

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

$$\phi_k^r(S) = \phi(i, l, j, t; M_k^r), \quad r = 1, 2, \dots, L,$$

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

$$\phi_k^r(i, l, j, t, M_k^r) = \min_r \{ [C_l \rho_{if} + C_{ППП} T_{ff} + \phi_k^r(f, l, j \pm Q_f, t - \Delta T_{if}, M_{k-1}^r)]; C_l \rho_{io} + F_{k+1}(0, M_{k-1}^r(S_0)) \}, \quad (9)$$

где  $\Delta T_{if} = T_{if} - T_{ff}$ , а символ  $\min_r \{ \dots \}$  обозначает  $r$ -ое

наименьшее значение последовательности, заключенной в фигурных скобках. При  $k > 2$  и  $S = S_0$  уравнения для целевой функции имеют вид

$$\phi_k^r(S_0) = \min_r \{ C_{0l} + C_l \rho_{of} + C_{ППП} T_{ff} + F_k(f, l, G_l - Q_f, T_{res} - T_{0f} - T_{ff}, M_{k-1}^r) \}. \quad (10)$$

Условия и параметры оптимизации в формулах (9), (10) те же самые, что и в выражениях (4), (5). Уравнения (4), (5) решаются последовательно по переменной  $k$ . При значении  $k \geq n+1$  из состояния  $S_0$  начинается поиск оптимальных планов. Оптимальность найденного маршрута обеспечивается выбором достаточно большого значения параметра  $L$ .

Процедура в целом и уравнения (4) - (10) аналогичны уравнениям, определяющим оптимальный маршрут в задаче развозки с одним терминалом отправления [1,2]. Специфика рассматриваемого здесь транспортно-логистического процесса отражается в большом количестве дополнительных условий и ограничений, накладываемых, как на начальные условия процедуры поиска, так и на переходы  $i \rightarrow f$  (из  $i$ -ого узла в следующий за ним  $f$ -ый узел) [3].

### 6. Типизация заказов с помощью матрицы тоннажа ( $W_{ij}$ )

Рассмотренная выше базисная модель (примем ее как модель 1), объединяет множество клиентских заказов, каждый из которых требует предварительного объезда нескольких поставщиков. Эта модель содержит ряд практически важных частных случаев.

*Модель 2. Типовой экспедитор. Заказы Доставка «1 ГО - 1 ГП».* Типовые заказы, получаемые экспедиторами, формулируются в виде доставки груза заданного тоннажа  $W_{ii}$  от  $i$ -ого грузоотправителя до соответствующего грузополучателя. Такого типа заказам соответствует диагональная матрица тоннажа с элементами

которой  $W_{ii}$ . Объединение их позволяет формировать маршруты, объединяющие ряд заказов в один рейс. (см. примеры) и достигать существенной экономии, минимизировать автопробег и порожние рейсы.

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

Таблица 1.

**Структура матрицы тоннаж при развозке заказов ГО**

Постав-Клиенты	Кл <sub>1</sub>	Кл <sub>2</sub>	Кл <sub>3</sub>	Кл <sub>4</sub>	...	Кл <sub>Nkl</sub>	Тоннаж поставщика
П <sub>1</sub>	1	2	3	-	...	-	Sup [ 1 ] = 6т
П <sub>2</sub>	-	-	-	2	2	W <sub>2Nkl</sub>	Sup [ 2 ] = 4т
Тоннаж Заказа, т	1	2	3	2	2	W <sub>2Nkl</sub>	

Матрица тоннажа - не диагональная, каждая ее строка содержит данные о тоннаже, развозимого из одного адреса. Остальные элементы строки нулевые. Столбцы содержат один отличный от нуля элемент. Эффект оптимизации достигается путем объединения нескольких развозок в один рейс.

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

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

*Модель 5. Склад торговой компании. Комбинирование развозки покупателям и доставки на склад от поставщиков.* Логистический провайдер планирует одновременно развозку товаров клиентам с товарного склада торговой компании (по клиентскому плану отдела продаж) и заезд товаров от поставщиков (заказы товаров на пополнение запасов по плану отдела закупок на тот же склад) [4]. Участники ТЛП по одному i-ому заказу формируют цепочки поставок в сети

$$\text{Поставщики } i_j \rightarrow \text{Склад } i \rightarrow \text{Клиенты } i_j.$$

Здесь индексы  $i, j$  означают соответственно номера  $j$ -ых поставщиков и клиентов  $i$ -ого склада (заказа).

Задача может решаться естественным разбиением на две несвязанные между собой задачи соответственно по планам отделов продаж и закупок. План будет состоять из двух частей, соответствующих моделям 3, 4.

Однако оптимальный план должен учитывать возможность объединения в одном рейсе развозку товаров одному или нескольким клиентам, а после разгрузки посылать порожний грузовой автомобиль за забором заказов у одного или нескольких поставщиков и доставкой их на основной товарный склад компании. В этом случае для формирования матрицы нужно:

- объявить собственный склад отгрузки поставщиком П<sub>1</sub>, склады поставщиков отдела закупок - поставщиками П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub>, ... П<sub>n</sub> соответственно;

- привязать к поставщику П<sub>1</sub> всех клиентов, заполнить их тоннажем, первую строку матрицы, как это было в модели 3;

- объявить для каждого из поставщиков П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub>, ... П<sub>n</sub> «новых» (n-1) клиентов, в качестве которых выбираем один и тот же товарный склад компании (модель 4).

Матрица тоннажа будет содержать, начиная со второй строки, блок диагональных элементов (п. 2). В этом случае рейсы развозки будут заканчиваться заездом к ближайшим поставщикам, забором товаров (заказов на пополнение) и заездом на склад с разгрузкой заказов отдела закупок. В результате решения задачи оптимизации (см. пример 1) возможны оказываются и другие более сложные комбинации элементов транспортно-логистического процесса.

Если заказов, отвечающих данной модели или моделям 1-4 несколько, то им будет соответствовать блочная структура матрицы тоннажа. Каждый из блоков формируется в соответствие с сформулированным правилами.

*Модель 6. Перевозки в сети складов.* Логистический провайдер планирует перевозки внутри торговой сети или транспортно-терминальной сети мультимодального грузового оператора [2]. Сеть состоит из нескольких складов (терминалов), каждый из которых осуществляет поставки своим клиентам и другим складам. В свою очередь каждый склад получает товары от других складов. Матрица тоннажа в этом случае строится комбинацией отдельных блоков модели 5.

**7. Программный комплекс «SupKlRouteMaster» планирования доставки грузов в сети «Поставщики – потребители». Примеры**

Описанные модели и алгоритмы положены в основу компьютерного программного комплекса «SupKlRouteMaster». Описание комплекса в целом соответствует опциям, описанным в [2, 7]. Главное меню дополнено рядом новых опций, позволяющих вводить матрицу тоннажа различными способами, соответствующими, в частности, рассмотренным выше типовым моделям заказов, получаемых логистическими провайдерами. Отдельные опции также выбирают способ расчета оптимального ТЛП, а также значения соответствующих параметров.

*Пример 1.* Для иллюстрации рассмотрим пример задачи планирования доставки грузов для двух заказов, оба заказа - комбинированные, сочетают развозку заказов клиентам торговых компаний и доставку от поставщиков (модель 5). Два склада (Скл<sub>1</sub>, 2), каждый из которых заказал доставку от двух различных поставщиков и развозку трем клиентам. Блок матрицы тоннажа (ненулевые элементы) для первого склада представлен в табл.2.

Таблица 2.

## Блоки матрицы тоннажа примера (модель 5)

Матрица W	Кл11 (11 ; 16)	Кл12 (12 ; 17)	Кл13 (13 ; 18)	Скл1 (14 ; 19)	Скл1 (15 ; 20)
Скл1	<b>1</b> ( 1 ; 6)	<b>1</b> ( 2 ; 7)	<b>1</b> ( 3 ; 8)	-	-
П11	-	-	-	<b>3</b> ( 4 ; 9)	-
П12	-	-	-	-	<b>2</b> ( 5 ; 10)

Блок матрицы второго клиента совпадает полностью, отличается лишь первым индексом 2 в обозначениях. В круглых скобках табл. 2 указаны кодировки участников ТЛП в соответствии с правилами (3). Первая цифра кодов относится к заказу 1 (склад 1), вторая цифра, отделенная точкой с запятой, к заказу 2 (склад 2). Тоннаж выделен жирным шрифтом. Общее число элементов  $n = 20$ .

Все участники ТЛП располагаются на квадрате со сторонами  $[-50, 50] \times [-50, 50]$  км<sup>2</sup> (рисунок). Расчеты в примере проводились для парка ТС с грузовыми автомобилями одного типа грузоподъемностью  $Q = 5$  т. Скорость движения автомобиля принималась  $v = 50$  км/ч, шаг дискретизации по времени  $\Delta t = 20$  мин. Подача ТС под загрузку начинается из начала координат, где располагается гараж транспортной компании. Целевая функция при оптимизации – суммарный автопробег.

Вначале рассчитывался план доставки по принципу формирования рейсов «1 ГО -1ГП». План включал 10 рейсов с суммарным автопробегом 1256 км. Максимальное время выполнения рейса составило  $T_{max} = 5$  ч, минимальное  $T_{min} = 2,7$  ч.

Оптимальные планы рассчитанные в соответствии с описанными оптимизационными моделями зависят от вводимого ограничения по времени  $T_{res}$ . Характеристики планов в зависимости от выбранного значения  $T_{res}$  представлены в табл. 3. Все планы рассчитывались по процедурам алгоритма L-кратчайших маршрутов.

Таблица 3.

## Характеристики оптимальных планов комбинированной модели

№ плана	$T_{res}$ , ч	Кол-во рейсов	Автопробег, км
1	$\infty$ (Здесь 20 ч)	1	357
2	15	2	428
3	12	2	470
4	10	3	554
5	8	3	561
6	7	4	612
7	5	6	870

План № 1 в кодировках участников транспортно-логистического процесса представлен на рисунке. Склад 1, как склад отгрузки по трем клиентским заказам (Кл1, Кл2, Кл3) имеет кодировки соответственно 1, 2, 3, а как грузополучатель при доставке от двух своих поставщиков (П11, П12) кодируется цифрами 14, 15 (см. табл. 2). Приведем начальную часть маршрута с расшивкой

0 --> 5-->4 --> 14 --> 15 --> 2 --> 3 -->  
--> 1 --> 11 --> 9 --> 12 --> 13 --> 10 ...

Транспортно-логистический процесс доставки грузов состоит из следующих элементов: выезд (0 --> 5) из нулевого пункта к поставщику П12 (с загрузкой тоннажа 3т); проезд 5-->4 далее к поставщику П11 (с загрузкой тоннажа 2т); проезд (4 --> 14) на склад1 (с разгрузкой полного тоннажа поставщиков П11, П12). Фрагмент описания ТЛП 14 --> 15 --> 2 --> 3 --> 1 физически происходит на складе 1. Он означает разгрузку на складе 1 трех т груза от поставщика П12, двух т от поставщика П11 и загрузки трех заказов по 1 т для клиентов (Кл1, Кл2, Кл3). Далее происходят доставки грузов клиентов Кл1 (1 --> 11), попутный заезд к поставщику П21 склада 2 и загрузка 3 т для него в освободившийся (после разгрузки у Кл1) свободный тоннаж 3 т. После этого грузовик следует для разгрузки у клиентов Кл2, Кл3, а далее к поставщику П22 для забора 2 т в освободившийся свободный тоннаж.

План № 3 с ограничением  $T_{res} = 12$  ч содержит два рейса, каждый из них выполняет только заказы одного склада. Первый рейс осуществляет последовательно объезд поставщиков склада 1, доставку их грузов и разгрузку на этом складе, загрузку трех клиентских заказов и их развозку клиентам. Второй рейс осуществляет такие же операции для склада 2.

План № 5 с ограничением  $T_{res} = 8$  ч включает 1 рейс по заводу грузов на склад 1 от его двух поставщиков, второй рейс по забору грузов со склада 1 для его трех клиентов с попутной доставкой груза на склад 2 от его поставщика П22. Третий рейс начинается с забора груза от поставщика П21 склада 2, разгрузку на этом складе, загрузку грузов для всех его трех клиентов и их развозку грузополучателям.

План № 8 выполняется за то же время  $T_{res} = 5$  ч, что и план, рассчитанный по принципу «1 ГО -1ГП» с суммарным пробегом 1256 км и содержащий 10 рейсов. Описанная процедура оптимизации сокращает количество рейсов до шести, а суммарный пробег в 1,44 раза до 870 км.

**Пример 2. Модель ГО - ГП.** Рассчитывались оптимальные планы доставки грузов от  $n = 10$  заказчиков. Каждый заказ включал доставку груза тоннажа  $Q = 1$  т от одного грузоотправителя соответствующему одному получателю. Координаты  $n = 10$  грузоотправителей и  $n = 10$  грузополучателей разыгрывались с помощью датчика случайных чисел [7]. Все остальные параметры ТС – те же, что и в предыдущем примере.

Простейшая модель плана доставки по схеме рейса «1 ГП -1 рейс» включала 10 рейсов с суммарным пробегом 1209 км. Оптимальная модель доставки без учета ограничений по времени содержала 1 рейс с пробегом 844,7 км. Время доставки порядка 20 ч. Оптимальный план с учетом  $T_{res} = 10$  ч включал два рейса с пробегом 908 км, а с ресурсом  $T_{res} = 8$  ч - три рейса с пробегом 918 км.

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

## 8. Заключение

Логистические провайдеры и крупные экспедиторы работают с большим количеством разнообразных по своему характеру заказов на поставку товаров и перевозку. Предложенная здесь единая форма описания заказов, включает множество различных моделей, важных в практическом плане. Описанные оптимизационные модели и алгоритмы позволяют осуществлять оптимальное планирование всего транспортно-логистического процесса одновременно по всем заказам.

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

Учет ограничений по временному ресурсу  $T_{res}$ , отводимому на выполнение ТЛП, существенно изменяет характер оптимального плана. Типичные планы содержат многорейсовые маршруты, комбинирующие забор грузов у части поставщиков в объемах нескольких клиентов и попутные доставки различным клиентам. Весь перевозочный процесс распадается на многошаговую цепочку, состоящую из комбинаций элементов вида «Рейс к поставщику за товаром», «Загрузка у поставщика товаров одного или нескольких клиентов», «До-загрузка товаром у другого поставщика», «Доставка заказа и разгрузка у клиента». Эти элементы должны оптимальным образом чередоваться с учетом адресов расположения поставщиков и клиентов.

Возможности комбинирования элементов транспортно-логистического процесса ограничиваются грузоподъемностью парка используемых транспортных средств и отводимым запасом времени.

С использованием изложенных здесь моделей и алгоритмов нами рассчитывались планы, содержащие порядка 250 элементов транспортно-логистического процесса.

## Литература

1. Палагин Ю. И. Оптимальное планирование задач завоза и вывоза грузов в логистических системах // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. - № 7.
2. Палагин Ю.И. Транспортная логистика и мульти-модальные перевозки. Технологии, оптимизация, управление: - СПб.: Политехника, 2015.-С. 266.
3. Палагин Ю.И., Третьякова И.А. Оптимальное планирование маршрутов доставки грузов в цепи поставщик – потребитель // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление. –2015. - № 9.
4. Палагин Ю.И. Логистика – планирование и управление материальными потоками: Учебное пособие / Ю.И. Палагин. – СПб.: Политехника, 2009. – 286 с. Ил.
5. Jaroslaw Hurkala . Time-Department Travelling Salesman Problem with Multiple Time Windows. Position Papers of the Federated Conference on computer Science and Information System. – 2015. –Vol 6. pp. 71–78.
6. Stacy A.V., Ann M. Campbell. The probabilistic travelling salesman problem with time windows. The Association of European Operational Research Societies 2013.
7. Палагин Ю.И., Глинский В.А., Мочалов А.И. Интермодальные транспортно-логистические процессы. Экспедирование, технологии, оптимизация. - СПб.: Издательство «Политехника», 2019. – 366 с.

### Сведения об авторе

**Палагин Юрий Иванович**, зав. кафедрой "Интермодальных перевозок и логистики" (с 1992) Госуниверситета гражданской авиации (ГУГА), профессор кафедры (с 2016). Адрес: 196210 Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38.

Телефон 704-18-60.

E-mail: profypal@yandex.ru.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ГРУЗОВЫХ ФРОНТОВ

Доктор техн. наук, доцент **Пашков Н.Н.**,  
кандидат техн. наук, профессор **Лысенко Н.Е.**,  
доктор техн. наук, академик РАТ **Кузнецов А.П.**  
(Российский университет транспорта. МИИТ).

## RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS COHERENCE OF THE RAILWAY CARGO FRONTS

**Pashkov N.N.**, Doctor (Tech.), Associate Professor,  
**Lysenko N.E.**, Ph.D. (Tech.), Professor,  
**Kuznetsov A.P.**, Doctor (Tech.), Academician of the Russian Academy of Transport  
(Russian University of Transport. MIIT)

*Грузовой фронт, технологические параметры, число подач вагонов, связность, волатильность цен.*

*Cargo front, the process parameters, the number of feed carriages, coherence, price volatility.*

*Приведены новые результаты исследования связности технологических параметров грузовых фронтов, которые могут применяться в оптимальном управлении грузовыми операциями для уменьшения суммарных издержек.*

*The article presents new results of the study of technological parameters coherence of cargo fronts, which can be used in the optimal management of cargo operations to reduce total costs.*

**Актуальность проблемы.** В настоящее время взаимодействие между грузоотправителями, перевозчиками, владельцами инфраструктуры и подвижного состава при перевозках грузов, регулируется соответствующими договорами [1]. Основные положения таких договоров предусматривают обязательства сторон по сохранности груза, величине тарифа и срокам доставки.

Срок доставки груза технологически связан с дискуссионным в отрасли показателем – оборотом вагона – средним временем его полного производственного цикла от момента погрузки до момента следующей погрузки, измеряемое обычно в сутках. По данным [2], время простоя вагонов под грузовыми операциями в 2010-2015 годах достигало 50% от общего оборота вагона, в том числе 25% на путях инфраструктуры, обслуживаемой ОАО РЖД.

Большая доля времени простоя вагонов под грузовыми операциями определяет актуальность проблемы оптимизации технологических процессов грузовой работы для уменьшения полного оборота [3].

Научные основы решения задач оптимального управления грузовой работой, разработаны в трудах [4, 5] в условиях централизованной плановой экономики. В то же время, ценообразование в условиях рыночной экономики не может происходить произвольно, поскольку игнорирование объективных законов экономики, независимо от соотношения форм собственности на средства производства и прибавочную стоимость, периодически приводит экономику в состояние кризиса. Поэтому, в процессе неизбежной естественной эволюции общественно-экономических отношений, проблема оптимизации технологических процессов грузовой работы остается актуальной [6].

**Постановка задачи исследования.** Технология работы грузовых фронтов (ГФ) железнодорожных станций характеризуется нерегулярными режимами и нестабильностью размеров грузопотоков, которые зависят от колебаний объемов грузов, предъявляемых к пере-

возкам. Для обеспечения ритмичности грузовой работы требуется оперативное управление технологическими процессами грузовой станции. К управляемым параметрам технологического процесса ГФ относят:

- очередность подачи групп вагонов на погрузку/разгрузку,
- число подач вагонов,
- число смен в сутках и общее время работы грузового фронта,
- производительность и число погрузочно-разгрузочных машин,
- время на выполнение маневровых операций и др.

Наибольшее влияние на время простоя вагонов на грузовой станции оказывает время выполнения грузовых операций, которое определяется производительностью и числом погрузочно-разгрузочных машин (ПРМ), длиной грузового фронта, очередностью и числом подач групп вагонов на погрузку/разгрузку.

Задача оптимизации грузовой работы, в этом случае, заключается в определении таких численных значений параметров ГФ, при которых *суммарные затраты* на грузовые, маневровые и коммерческие операции будут минимальными.

В состав суммарных затрат  $C$  для исследования включены следующие статьи расходов:

$$C = C_a + C_{вч} + C_{зн} + C_m + C_o + C_{ов} + C_{ко} \quad (1)$$

где  $C_a$  – стоимость амортизации и ремонта погрузочно-разгрузочных машин (ПРМ) и оборудования активной части основных фондов грузового комплекса с учетом эффективности капитальных вложений;

$C_{вч}$  – стоимость вагоно-часов простоя при выполнении грузовых операций;

$C_{зн}$  – фонд оплаты труда комплексной бригаде приемосдатчиков, механизаторов и грузчиков;

$C_m$  – стоимость локомотиво-часов при уборке/подаче вагонов на грузовой фронт за один заезд локомотива;

$C_o$  – стоимость вагоно-часов простоя вагонов на выставочных путях в ожидании погрузки/разгрузки и уборки/подачи группы вагонов;

$C_{ов}$  – стоимость вагоно-часов простоя при выполнении коммерческих операций;

$C_{ко}$  – стоимость коммерческих операций.

Формулы для расчета расходов по каждой статье сведены в таблицу 1, в которой, в отличие от известных формул [4, 5], издержки на основные фонды и на оборудование рассчитываются по различным нормам. Кроме того, для расчета стоимости вагоно-часов простоя на грузовом дворе, принято не  $N_{н/р}^2 \frac{(x-1)}{x}$  вагонов, а среднее суточное число алгебраической прогрессии вагонов, ожидающих подачи в течение времени маневровых и погрузочно/разгрузочных операций:

$$N_{н/р} \frac{(x-1)}{x}, \quad (2)$$

где  $N_{н/р}$  – суточный вагоно-поток грузового фронта,  $x$  – число подач вагонов.

**Модель взаимосвязанности технологических параметров ГФ.** К взаимосвязанным параметрам грузового фронта относятся производительность и число ПРМ, число подач вагонов, число смен и время выполнения маневровых операций, численные значения которых рассчитываются исходя из суточного вагоно-потока грузового фронта  $N_{н/р}$  [5]:

$$Z \geq \frac{N_{н/р} \cdot k_n}{q_{нрм} (n_{см} \cdot T_{см} - x \cdot t_m)}, \quad (3)$$

где  $q_{нрм}$  – производительность погрузочно-разгрузочных машин;

$Z$  – число ПРМ,

$n_{см}$  – число смен,

$T_{см}$  – время работы одной смены;

$t_m$  – время выполнения маневровой работы локомотива при уборке/подаче вагонов на грузовой фронт;

$k_n$  – коэффициент неравномерности грузового потока.

Определим область допустимых значений числа подач  $x$ , исходя из рекомендаций [7 – 11].

Минимальное число подач вагонов  $x_{min}$  ограничено длиной грузового фронта  $L_{зф}$ :

$$x_{min} \geq \frac{N_{н/р}}{N_{\phi}}, \quad (4)$$

$$N_{\phi} \leq \frac{L_{зф}}{(L_{\phi} + L_{tex})}, \quad (5)$$

где  $N_{\phi}$  – число вагонов в одной подаче, которые можно поставить одновременно на грузовой фронт;

$L_{зф}$  – длина грузового фронта, м;

$L_{\phi}$  – длина вагона, м;

$L_{tex}$  – технологическое расстояние между вагонами при расстановке под погрузку/разгрузку.

Максимальное число подач  $x_{max}$ , при подаче под погрузку/разгрузку по одному вагону, ограничено суточным вагоно-потоком  $N_{н/р}$ :

$$x_{max} \leq N_{н/р}. \quad (6)$$

Условные численные значения и ограничения остальных параметров, принятые для исследования, даны в таблице 2.

Таблица 1.

Сводная таблица формул для расчета расходов ГФ

№ П/П	Наименование затрат	Расчетная формула	Обозначения параметров
1	Амортизация и ремонт погрузочно-разгрузочных машин (ПРМ), и другого оборудования активной части основных фондов грузового комплекса с учетом эффективности капитальных вложений	$C_a = \frac{C_{оф} \cdot \Delta}{365} + \frac{C_{нрм} \cdot (\Delta_{нрм} + A) \cdot Z}{365}$	$C_{оф}$ – стоимость основных фондов грузового фронта; $C_{нрм}$ – стоимость ПРМ; $A$ – коэффициент годовых издержек на техническое обслуживание и ремонт ПРМ; $\Delta, \Delta_{нрм}$ – отраслевые нормы эффективности капитальных вложений в основные фонды и в оборудование; $Z$ – число ПРМ.
2	Стоимость вагоно-часов простоя при выполнении грузовых $C_{вч}$ и коммерческих $C_{ов}$ операций	$C_{вч} = a_{вч} \frac{N_{н/р} \cdot p_{ст}}{x \cdot Z \cdot q_{нрм}};$ $C_{ов} = a_{ов} \cdot N_{н/р} \cdot t_{ко}$	$N_{н/р}$ – суточный размер вагоно-потока на грузовом фронте; $a_{вч}$ – стоимость вагоно-часа простоя, руб/час; $p_{ст}$ – средняя статическая нагрузка вагона, т/ваг; $q_{нрм}$ – часовая производительность ПРМ, т/час; $x$ – число подач вагонов на погрузку/разгрузку; $t_{ко}$ – время выполнения коммерческих операций, час.

3	Фонд заработной платы комплексной бригады грузчиков и механизаторов	$C_{зп} = Z \cdot n_{см} \cdot T_{см} \cdot Z_{см}$	$n_{см}$ – расчетное число смен в сутки; $T_{см}$ – время работы одной смены, час; $Z_{см}$ – ставка оплаты труда комплексной бригаде приемосдатчиков, механизаторов и грузчиков, руб/час.
4	Стоимость локомотиво-часов при уборке/подаче вагонов на грузовой фронт за один заезд локомотива	$C_{лч} = x \cdot t_{лч} \cdot a_{лч}$	$t_{лч}$ – время выполнения маневровой работы локомотива при уборке/подаче вагонов на грузовой фронт, час; $a_{лч}$ – стоимость локомотиво-часа маневровой работы, руб/час.
5	Стоимость вагоно-часов простоя вагонов на выставочных путях в ожидании погрузки/разгрузки и уборки/подачи группы вагонов	$C_o = a_{вч} \cdot \frac{N_{н/п} (x-1)}{2 \cdot x} \cdot (t_m + t_{н/п})$	$\frac{N_{н/п} (x-1)}{2 \cdot x}$ – среднее суточное число вагонов, ожидающих перестановку в течение $t_m + t_{н/п}$ ; $t_{н/п}$ – время погрузки/разгрузки группы вагонов.
6	Стоимость коммерческих операций	$C_{ко} = N_{н/п} \cdot a_{ко}$	$a_{ко}$ – стоимость выполнения коммерческих операций с вагоном, руб/вагон.

Таблица 2.

## Параметры грузового фронта

№	Наименование параметра	Обозначение, размерность	Численное значение
<b>Постоянные параметры</b>			
1	Годовой объем груза	$Q_c$ , т	459 800
2	Коэффициент неравномерности	$k_n$	1,05...1,35
3	Средняя статическая нагрузка на вагон	$p_{см}$ , т	60
4	Суточный вагоно-поток	$N_{н/п} = Q_c / 365 \cdot p_{см}$	21,0
5	Фонд рабочего времени в сутках	$T$ , час	24
6	Маневровое время подачи/уборки с расстановкой	$t_m$ , мин.	20
7	Время коммерческих операций с вагоном	$t_{ов}$ , мин.	15
8	Длина грузового фронта	$L_{сф}$ , м	165
9	Расстояние между вагонами на погрузочных путях	$(L_g + L_{mex})$ , м	15
10	Стоимость основных фондов грузового фронта	$C_{оф}$ , руб.	12 000 000
11	Стоимость ПРМ	$C_{прм}$ , руб.	900 000
12	Коэффициент амортизации и ремонта ПРМ	$A$	0,12
13	Норма эффективности капитальных вложений	$\Delta$	0,15
14	Фонд рабочего времени одной смены	$T_{см}$ , ч	8
15	Ставка оплаты труда комплексной бригаде приемосдатчиков, механизаторов и грузчиков	$Z_{см}$ , руб./ч	600
16	Стоимость коммерческой операции с вагоном	$a_{ко}$ , руб./вагон	500
17	Приведенная стоимость вагоно-часа простоя	$a_{вч}$ , руб./ч	100
18	Приведенная стоимость локомотиво-часа	$a_{лч}$ , руб./ч	950
<b>Переменные параметры</b>			
1	Производительность ПРМ	$q_{прм}$ , т/ч	35...75
2	Число смен в сутках	$n_{см}$	1...3
3	Число ПРМ	$Z$	1...10
4	Число подач	$X$	1...21

В принятых обозначениях условно постоянных параметров и переменных  $x, Z, n_{cm}$ , сформулируем задачу математического программирования.

Найти минимальные значения целевой функции  $F$ :

$$F = \min_{x, Z, n_{cm}} (C_a + C_{zn} + C_{ко} + C_{вч} + C_m + C_o + C_{ов}), \quad (7)$$

при условиях:

$$1 \leq x \leq N_{n/p}, \quad (8)$$

$$1 \leq Z \leq N_\phi, \quad (9)$$

$$1 \leq n_{cm} \leq \frac{24}{T_{cm}}, \quad (10)$$

где  $F$  – целевая функция задачи минимизации суммарных затрат;

$x$  – число подач вагонов,  $N_{n/p}$  – суточный вагонопоток;

$Z$  – число погрузочно-разгрузочных машин,  $N_\phi$  – число вагонов в подаче;

$n_{cm}$  – расчетное число смен,  $T_{cm}$  – длительность смены.

**Численное исследование связности технологических параметров.** Результаты расчетов по формулам (1 – 6) таблицы 1 для одного из возможных сочетаний параметров:  $q_{прм} = 75 \text{ м/час}$ ,  $n_{cm} = 2$ ,  $Z=4$ ,  $x=5$ , представлены в таблице 3, которая содержит:

- расходы по каждой статье;
- тарифы по статьям расходов, приведенные на единицу подвижного состава;
- доля статьи расхода в общем тарифе на погрузочно/разгрузочные, маневровые и коммерческие операции.

Таблица 3.

### Результаты расчета минимальных расходов

№	Статья расходов	Обозначение, размерность, руб.	Численное значение	Тариф, руб./вагон	Доля в тарифе
1	Расходы на амортизацию и ремонт основных фондов	$C_a$	2772000,00	361,722	0,306
2	Затраты вагоно-часов простоя под грузовыми операциями	$C_{вч}$	643580,03	83,982	0,071
3	Фонд оплаты труда комплексным бригадам	$C_{zn}$	876000,00	114,311	0,097
4	Затраты локомотиво-часов на маневровые работы	$C_m$	577916,67	75,413	0,064
5	Затраты вагоно-часов простоя в ожидании подачи/уборки	$C_o$	204355,56	26,667	0,023
6	Затраты вагоно-часов простоя под коммерческими операциями	$C_{ов}$	153266,67	20,000	0,017
7	Затраты на коммерческие операции	$C_{ко}$	3831666,67	500,000	0,423
8	<b>Суммарные расходы</b>	$C$	9058785,59	1182,095	1,000

Результаты расчетов текущих затрат ГФ от числа подач вагонов при фиксированном числе ПРМ представлены графиками на рис. 1.

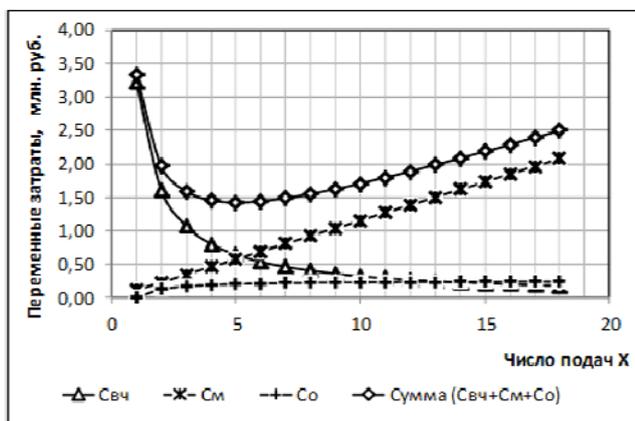


Рис. 1. Графики функций текущих затрат ГФ от числа подач  $x$  при числе ПРМ  $Z=4$

На рис. 1 видно, что для числа ПРМ  $Z=4$  текущие затраты имеют минимум при числе подач  $x=5$ .

Результаты расчетов текущих затрат для различных значений  $Z$  при изменении числа подач  $x$ , представлены графиками на рис. 2.

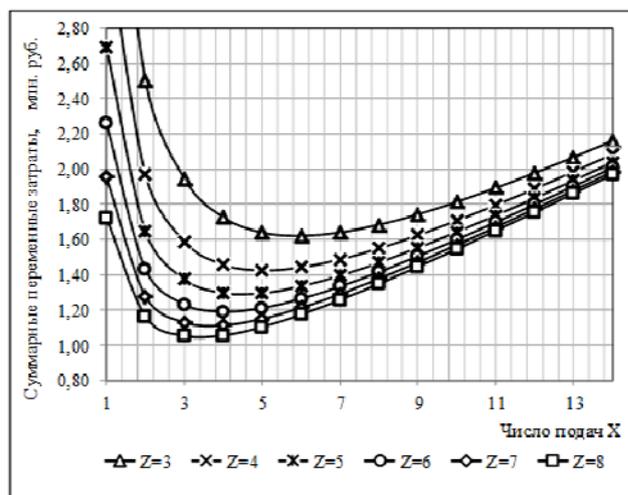


Рис. 2. Графики функций текущих затрат ГФ от числа подач  $x$  и числа ПРМ  $Z$ .

На рис. 2 видно, что текущие затраты имеют минимум в точке ( $Z=8, x=3$ ). Очевидно также, что при увеличении числа ПРМ, оптимальное число подач и текущие затраты уменьшаются. Такой вывод можно сделать, если рассматривать отдельно затраты на погрузочно/разгрузочные, маневровые и коммерческие операции.

Более сложная зависимость суммарных затрат, при изменении числа ПРМ и числа подач, наблюдается, если учитывать одновременно приведенные суточные платежи за основные фонды и текущие расходы на их содержание и эксплуатацию [12]. На рис. 3, представлены графики суммарных издержек на амортизацию основных фондов, на ремонт ПРМ и текущих затрат на выполнение грузовой, коммерческой и маневровой работы при изменении числа подач  $x$  для различного числа ПРМ  $Z$ .

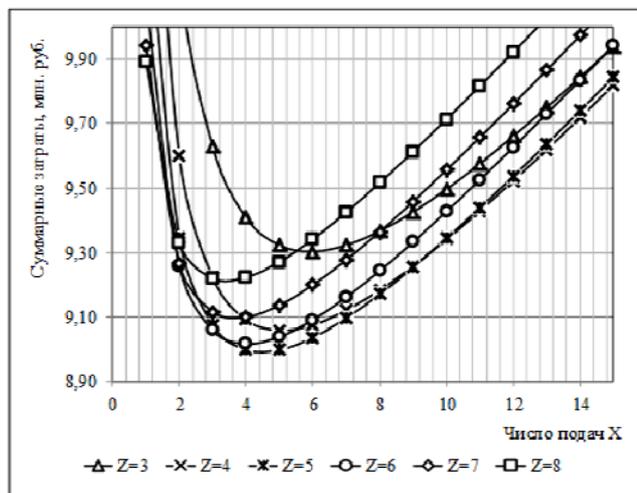


Рис. 3. Графики функций суммарных затрат ГФ от числа подач  $x$  и числа ПРМ  $Z$

Очевидно, что полные суммарные затраты имеют явно выраженный глобальный минимум в точке ( $Z=5$ ,  $x=4,6$ ). Различие координат точек минимума текущих и суммарных затрат, означает, что при оптимизации грузовой работы, кроме связности технологических параметров, необходимо одновременно учитывать стоимость основных фондов, текущие издержки на их содержание и волатильность цен на маневровые, грузовые и коммерческие операции.

**Выводы.** На основании результатов проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Действующие правила и нормы технологического проектирования и эксплуатации железнодорожных грузовых фронтон необходимо дополнить новой, оптимальной по критерию минимума суммарных издержек, методикой расчета технологических параметров грузовой работы.

2. Новая методика должна содержать научное обоснование для расчета оптимальных технологических параметров железнодорожных грузовых фронтон, соответствующих минимальным суммарным издержкам на содержание и эксплуатацию основных фондов с учетом волатильности цен на маневровые, грузовые и коммерческие операции.

### Литература

1. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации (с изменениями на 3 августа 2018 года) (редакция, действующая с 1 января 2019 года) [Электронный ресурс]: Консорциум Кодекс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901838121> (дата обращения 19.02.2019).

2. Хусаинов, Ф. И. Уроки статистики: оборот вагона // Вестник транспорта. – 2017. – № 3. – С.28-32.

3. Кузнецов, А. П. Актуальные проблемы информационно-технологического обеспечения грузовых

фронтон / А.П. Кузнецов, Н.Е. Лысенко, Н.Н. Пашков // Транспорт: наука, техника, управление. – 2019. – № 1. – С. 4-5.

4. Повороженко, В.В. Эксплуатация железных дорог / Под общ. ред. профессоров В.В. Повороженко, В.М. Акулиничева. – М.: Транспорт, 1974. – 472 с.

5. Смехов, А. А. Математические модели процессов грузовой работы. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.

6. Кузнецов, А.П. Методологические основы управления грузовыми перевозками в транспортных системах. – ВИНТИ РАН, 2002. – 276 с.

7. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М.: Издательство «ТЕХИНФОРМ», 2001. – 257 с.

8. СП 350.1326000.2018 Нормы технологического проектирования морских портов. Минтранс РФ. – М.: Стандартинформ, 2018. – 217 с.

9. Методика по разработке и определению технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов (утверждена Приказом МПС РФ от 10 ноября 2003 г. N 70). [Электронный ресурс]: Консорциум Кодекс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901880428> (дата обращения 19.02.2019).

10. Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД» / Постановление ОАО «РЖД» от 20 декабря 2006 г. № 05.06. – М.: Издательство «ТЕХИНФОРМ», 2007. – 100 с.

11. Приказ ФАС России N 997/18 от 13 июля 2018 г. «О внесении изменений в отдельные приказы ФСТ России и ФАС России». [Электронный ресурс]: Законодательство Российской Федерации. URL: [http://rulaws.ru/acts/Prikaz-FAS-Rossii-ot-13.07.2018-N-997\\_18/](http://rulaws.ru/acts/Prikaz-FAS-Rossii-ot-13.07.2018-N-997_18/) (дата обращения 19.02.2019).

12. Akhmadiev, V. V. Economic assessment of transport logistics in international traffic / V.V. Akhmadiev, N.N. Pashkov // Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 4th International Academic Conference. November 29-30, 2013. – St. Louis, Missouri, USA. Publishing House Science. Vol. 2. P. 154-156. ISBN 978-0-615-67126-0.

### Сведения об авторах:

**Пашков Николай Николаевич**, профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» (ЛТСТ) Института управления и информационных технологий (ИУИТ) Российского университета транспорта (РУТ).

127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9. ГУК-1.  
Телефон: 8 (495) 684-21-80, моб. тел.: 8-916-949-27-17.  
E-mail: pashkovnn@gmail.com.

**Лысенко Николай Евгеньевич**, заведующий кафедрой «Логистические транспортные системы и технологии» (ЛТСТ) Института управления и информационных технологий (ИУИТ) Российского университета транспорта (РУТ).

127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9. ГУК-1.  
Телефон: 8 (495) 684-21-80, моб. тел.: 8-916-141-35-72.  
E-mail: ltst-miit@mail.ru.

**Кузнецов Александр Петрович**, профессор кафедры в Российском университете транспорта.

127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9.  
Телефон: 8 (495) 920-07-68, моб. тел.: 8-968-734-76-25.  
E-mail: 1157apk@rambler.ru.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ  
LogiMAT 2019 В ГЕРМАНИИ**

Кандидат техн. наук **Тиверовский В.И.**

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

**INTERNATIONAL EXHIBITION OF WAREHOUSING LOGISTICS  
LogiMAT 2019 IN GERMANY**

**Tiverovsky V.I., Ph.D. (Tech.)**

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

*Логистика. Склады. Международные выставки. Инновации. Цифровизация, автоматизация, роботизация.*

*Logistics. Warehouses. International exhibitions. Innovations. Digitalization, automatic control, robotization.*

*Представлен краткий обзор инноваций в складской логистике на международной логистической выставке LogiMAT 2019 в Германии. Указаны основные направления развития складской логистики в плане реализации концепции 4-й промышленной революции.*

*An overview is given of the innovations in warehousing logistics presented at the international logistic exhibition LogiMAT 2019 in Germany. The main developmental trends of logistics in light of implementing the concept of the 4<sup>th</sup> industrial revolution are discussed.*

В феврале 2019 г. с большим успехом в Штутгарте (Германия) прошла 17-я международная специализированная выставка внутренней логистики LogiMAT 2019. Более 1600 фирм-экспонентов из 40 стран мира представили на выставке свои инновации в технике и технологии. Общий девиз выставки - "Внутренняя логистика из первых рук: интеллектуальность - эффективность - инновационность". Основная тенденция развития - реализация концепции 4-й промышленной революции, логистика 4.0, интернет (Industrie 4.0, Logistic 4.0, Internet der Dinge). Треть фирм-экспонентов - из Азии и Америки (США, Австралия, Индия, Китай и др.). За три дня работы выставки более 57 тыс. посетителей ознакомились с ее экспонатами. Цифровизация, автоматизация, роботизация, новейшие технологии, новые виды подъемно-транспортного и складского оборудования, новые средства идентификации, измерения и контроля, новейшие коммуникационные технологии - все это в полной мере было представлено на выставке из первых рук [1].

Работа международной выставки логистики LogiMAT 2019 наглядно показала основные тенденции развития складской логистики. Склад будущего должен быть автоматизированным, гибким, интеллектуальным и самообучающимся. На складе должны совместно работать люди и роботы, транспортные средства должны быть объединены в системы со свободной навигацией. Специальные очки должны позволять персоналу идентифицировать грузы и транспортные средства. Автоматизированные системы управления будут значительно усовершенствованы с опорой на облачную компьютеризацию (Cloud System). Цифровизация позволит совершенно по-новому организовать транспортно-складские процессы, будут широко использоваться возможности искусственного интеллекта (KI). Будущее начинается сегодня. Уже в конце 2019 г. появятся первые транспортные системы без водителей, в которых навигация будет опираться на возможности облачной компьютеризации. На современных складах уже рабо-

тают колаборативные роботы (Cobot). На выставке было представлено напольное транспортное средство (FTF) по имени Emili, которое в процессе работы успешно коммуницируется с человеком [2].

Цифровизация изменяет условия взаимодействия логистики и производства, обеспечивая совместную работу человека и машины на принципиально новой основе. Это наглядно было представлено австрийской фирмой Knapp AG на международной выставке логистики LogiMAT 2019. В качестве примера было представлено рабочее место для комплектования заказов на цифровой основе по принципу "груз - к человеку" с работой по технологии Pick-it-Easy Evo и доставкой грузов челночными тележками OSR Shuttle Evo. По существу было представлено принципиально новое многофункциональное рабочее место с динамическим дизайном, на котором обеспечено взаимодействие оператора с автоматическими челночными тележками (Shuttle) на основе цифрового обмена информацией и автоматизации транспортно-складских операций. Фирма Knapp также представила новое программное обеспечение RedPILOT для оптимизации работы склада и минимального использования человеческих ресурсов.

Наряду с новыми видами оборудования и новыми технологиями в логистике на международной выставке LogiMAT 2019 были представлены новые возможности повышения эффективности логистики за счет использования консалтинга. В этой области работает значительное число фирм. Например, фирма IWL AG (Германия) представила на выставке широкий спектр услуг в области консалтинга. Значительный интерес специалистов вызвали два направления консалтинговых услуг: организация работы с товарами, возвращаемыми продавцу (Retouren) и бенчмаркинг, т.е. установка новой исходной базы для оценки результатов хозяйственной деятельности в логистике (Benchmarking) [3].

Значительное число экспонатов было посвящено на выставке строительству современных складов и логистических центров. Например, фирма Gilgen Logistics

AG (Швейцария) в качестве системного интегратора и генерального подрядчика проектирует и строит автоматизированные логистические центры, склады общего назначения и склады-холодильники, в т.ч. глубокого замораживания. Все объекты строятся на условиях "под ключ" и "все из одних рук". В строящихся складах в качестве носителей используются унифицированные поддоны, полуподдоны, контейнеры на роликовом ходу, а также др. типы носителей. На складах предусматриваются автоматизированные системы управления, работающие в реальном времени, с обязательной системой визуализации и контроля. В комплект поставки входит программное обеспечение, технические средства, акторы, сенсоры и др. компоненты. Экспозиция на выставке LogiMAT 2019 наглядно отражала опыт фирмы и возможности работы в сфере логистики.

Как отмечено выше, в экспозиции выставки приняли участие более 1600 фирм, причем каждый экспонат, как правило, представлял не одну, а несколько, а иногда и много экспонатов. Поэтому в рамках одной журнальной статьи не представляется возможным представить обзор всех инноваций, представленных на выставке. Рассмотрим далее некоторые наиболее интересные новые решения, отражающие настоящее и будущее внутренней логистики.

#### **Автоматизация управления**

Широкое применение на транспорте и в логистике получили автоматизированные системы управления PSIWms и PSIGlobal, созданные специализированной фирмой PSI Logistics GmbH (Германия). На выставке логистики LogiMAT 2019 фирма представила новые версии этих систем с широким использованием возможностей искусственного интеллекта (KI). Система PSIWms оптимизирует управление складом и материальными потоками на складе в тесном взаимодействии с автоматизированной системой планирования и управления материальными ресурсами (ERP). Система PSIGlobal решает задачу оптимизации логистических цепей поставок, т.е. по существу решает задачи мегасистемы по материально-техническому обеспечению во взаимодействии с системой планирования и управления материальными ресурсами (ERP). Искусственный интеллект в сочетании с концепцией переработки больших массивов данных (Big Data) значительно расширяет функциональность и возможности оптимизации систем PSIWms и PSIGlobal.

Германская фирма Unitechnik Systems GmbH представила на выставке новую версию автоматизированной системы управления складом UniWare. Особенность этой системы состоит в том, что она объединяет все функционирующие на складе подсистемы в единую систему материальных потоков. Обмен данных - через OPC-UA и XML. Необходимо отметить, что система UniWare взаимодействует с автоматическими складскими системами, например, с системой Autostore.

Фирма Lase GmbH (Германия) экспонировала на выставке LogiMAT 2019 автоматическую систему LaseAFM-4 для определения размеров, массы и идентификации штучных грузов с документированием результатов. Система с порталом и программным обеспечением в автоматическом режиме производит все объемные измерения (3D), взвешивает грузы на встроенных весовых устройствах, сканирует коды с помощью встроенных по углам портала сканеров, документирует

и передает всю информацию в автоматизированные системы управления (WMS, ERP). Весь процесс визуализируется на дисплее в пункте управления. Главная особенность системы - ее прозрачность, точность и комплексность [4].

В последнее время активно ведется разработка и внедрение новых видов программных продуктов. Например, специализированная фирма Inconso AG (Германия) постоянно работает в области разработки программного обеспечения для управления в складской логистике. В числе последних разработок - программное обеспечение Smart Collaboration, направленное на создание безопасных условий работы персонала, напольных транспортных средств и транспортных роботов с использованием возможностей облачной компьютеризации (Cloud System). На выставке LogiMAT 2019 фирма представила наряду с программой Smart Collaboration системы inconsoWMS для автоматизированного управления складом и систему InconsoTMS для автоматизированного управления транспортом на складе. Была также впервые экспонирована система inconsoDSM для управления погрузочно-разгрузочными работами в приемном устройстве ("доке") с рампой.

Ряд современных промышленных предприятий работает по так называемой системе Kanban. Отличие этой системы состоит в том, что она работает по тянущему принципу, а большинство других - на основе толкающего принципа. Фирма Steute (Германия) впервые представила автоматизированную систему транспортного обеспечения сборочного производства на промышленном предприятии, работающем по технологии Канбан (Kanban). В новой системе требование на поставку деталей передается специальным сенсором по радиосвязи. Заказ осуществляется через систему планирования и управления материальными ресурсами (ERP) и автоматически передается на склад, где автоматически находится нужный стеллаж и место хранения требуемых деталей для системы Канбан. Далее сигнал передается в автоматическую транспортную систему, производится погрузка и доставка деталей к нужному рабочему месту.

Фирма Team GmbH (Германия) в свете реализации концепции Logistik 4.0 представила на выставке LogiMAT 2019 автоматизированную систему управления складом Prostore, которая позволяет пользователю в диалоговом режиме устно внести дополнительную информацию, указания, изменения, запросить нужную информацию и др. Система Prostore постоянно взаимодействует с производством, использует возможности облачной компьютеризации (Cloud System), поддерживает технологию комплектования заказов с применением специальных очков для считывания кодовой информации и ряд других современных технологий в логистике на основе платформы Oracle.

Фирма TMHD GmbH (Германия) представила на выставке действующую в компании Toyota производственную систему THINK:LIKE:TOYOTA. Система TPS построена на основе требований современной производственной логистики и принципов Lean-производства. Это позволило добиться высокой эффективности производства на основе точного соблюдения требований технологии и логистики при минимальном расходе энергетических и материальных ресурсов [5].

## Технические средства автоматизации и цифровизации

Технические средства цифровизации и автоматизации на выставке были представлены наиболее широко. Большой выбор сенсоров для автоматизации и цифровизации в складской логистике предложила специализированная фирма Sick AG (Германия). Среди новых предложений, представленных на выставке логистики LogiMAT 2019, были видеокамеры типа ICR890 со встроенным сканирующим устройством OutdoorScan для распознавания опасности в автоматических транспортных системах, световые решетки FlexChain, сертифицированная система измерения объема грузов в движении VMS5200-MID и др. Эта же фирма Sick AG предложила лазерное сканирующее устройство нового типа IEC 62998, которое впервые сертифицировано для работы как в помещениях, так и вне помещений. Класс PL d согласно международного стандарта EN ISO 13849-1. Предлагаемое сканирующее устройство может успешно работать в транспортных системах с тележками без водителей (FTS). Оригинальный алгоритм исключает помехи дождя и снега при работе сканера вне помещений. Может работать при температуре среды от -25 градусов С до +50 градусов С [6].

Фирма Soredi Touch Systems GmbH, входящая в состав группы Datalogic-Gruppe (Германия) представила на логистической выставке LogiMAT 2019 новые модели мобильных компьютеров и терминалов в промышленном исполнении. Бортовые терминалы новой серии SH BlackLine предназначены для погрузчиков и др. транспортных средств. Могут работать от бортовой сети напряжением 12-48 В. Имеют встроенную камеру 5 Мегапикселей и интерфейс USB-C. Операционная система - Windows. В зависимости от наличия места дисплей могут быть размерами по диагонали 254, 305 или 381 мм.

Фирма Leuze Electronic (Германия) представила на логистической выставке LogiMAT 2019 новые решения, основанные на интеллектуальной сенсорной технике. В частности, были представлены сенсоры для транспортных систем с напольными тележками без водителей (FTS) и непрерывных конвейеров. Применение в системах FTS сенсора нового поколения OGS 600 позволяет значительно усовершенствовать транспортные системы, их производительность и навигацию. Большой интерес вызвало у посетителей лазерное сканирующее устройство типа RSL 400, работающее на расстоянии до 50 м и имеющее широкие перспективы применения в складской логистике [7].

Для улучшения организации работы по комплектованию заказов на складах фирма Wanzl Metallwarenfabrik GmbH (Германия) предлагает использовать специальные перчатки типа ProGlove Mark, в текстильную основу которых вмонтировано миниатюрное сканирующее устройство, считывающее штриховые коды 1D и 2D. Использование перчаток позволяет оператору быстро и удобно идентифицировать груз на стеллаже. Информация может передаваться дистанционно в радиусе 30 м на планшет или др. устройство. В 2018 г. перчатки ProGlove Mark отмечены в Германии премией в номинации "Производственная техника" [8].

### Оборудование для складов

Значительных успехов в области внутренней логистики добилась фирма PSB Intralogistics GmbH (Герма-

ния). Это позволило фирме представить интересную экспозицию на международной логистической выставке LogiMAT 2019. В четвертом поколении была представлена челночная тележка (Shuttle), на основе которой строятся высокопроизводительные автоматизированные склады. Для комплектования заказов фирма экспонировала систему rotapick, построенную на основе запатентованной технологической концепции. Производительность системы rotapick может быть доведена до 1000 захватов/ч при наличии буферного запаса в 60 носителей. Завершала экспозицию высокопроизводительная сортировочная система с карманами (PSB-Taschensorter), особенно эффективная в условиях электронной торговли со значительным числом относительно мелких заказов.

Фирма Dematic GmbH (Германия) также представила на выставке LogiMAT 2019 ряд интересных инноваций в области складской логистики. В условиях интенсивного развития электронной торговли (E-Commerce) представляет интерес автоматическая транспортно-складская система AutoStore, в которой транспортно-складские работы выполняют транспортные роботы. Для оптимизации комплектования заказов было представлено программное обеспечение Dematic iQ InSight. В экспозиции традиционно были экспонированы транспортные системы с напольными тележками без водителей и свободной системой навигации [9].

Широко известная как поставщик транспортного оборудования, фирма Still GmbH на международной выставке в Штутгарте в своей экспозиции представила экспонаты, отражающие интеллектуальное взаимодействие напольных транспортных средств, складских систем, программного обеспечения, управления и сервиса. Большой интерес вызвала новая система типа "Ассистент водителя", которая в автоматическом режиме контролирует массу и высоту подъема грузов, контролирует позиционирование при складировании грузов, выполняет навигационные функции, способствует созданию безопасных условий труда на складах и решает др. актуальные задачи в складской логистике.

Фирма AKL-tec GmbH (Германия) специализируется в области создания средств измерения в логистике. С помощью предлагаемой системы "redtagger T-200" автоматически определяются точные размеры объектов логистики и складского оборудования. Эта же система в сочетании с порталом APACHE позволяет в потоке определять габариты движущихся по конвейеру штучных грузов. Всем результаты измерений автоматически фиксируются и при необходимости документируются.

Фирма Beumer Group GmbH & Co. KG (Германия), работающая в логистике как системный интегратор, экспонировала на выставке высокопроизводительную систему BG Sorter для сортировки тарно-упаковочных и штучных грузов. Система построена на основе концепции 4-й промышленной революции (Industrie 4.0) и отвечает требованиям электронной торговли (E-Commerce). При создании системы реализован принцип Full-Cross-Belt-Design, что позволило создать максимально вместительные поперечные конвейеры для приема грузов по назначению. Для распределительных и почтовых центров относительно небольшой производительности фирма создала в модульном исполнении сортировочную систему BG Line Sorter [10].

Специализированная фирма AMI Fördertechnik (Германия) представила на выставке LogiMAT 2019 широ-

кий выбор модулей для транспортных систем, в т.ч. автоматизированных и автоматических. Например, в экспозиции были представлены модули приводных и неприводных роликовых конвейеров длиной по 20 м, которые позволяют скомпоновать конвейер нужных размеров и конфигурации. Другие модули позволяют соединить в логистические цепи работы, роботизированные устройства для пакетирования и депакетирования поддонов, создать сортировочные системы для тарно-упаковочных грузов производительностью до 6 тыс. шт./ч, смонтировать подводящие и отводящие транспортные устройства и др.

Предприятие Torwegge представило на выставке логистики LogiMAT 2019 напольную тележку типа Manipula-Torsten, работающую без водителя. Главная особенность тележки со свободной системой навигации состоит в том, что в нее встроен робот и таким образом создан транспортный робот (FTS Torsten). Транспортный робот построен на модульной основе и может быть использован как тележка, манипулятор и робот. Транспортный робот номинирован на премию Ifou в номинации "Тележки без водителей/тележки челночные" (AGV/Shuttle).

По мере все более широкого использования транспортных систем с напольными тележками без водителей (FTS) возрастают требования обеспечения безопасности. В этой области специализируется фирма Mauser GmbH & Co. KG (Германия). Создаваемые фирмой системы и устройства безопасности основаны на применении возможностей ультразвука. Фирмой создан ультразвуковой сенсор USi, который сертифицирован на основе международного стандарта ISO 13849-1 по категории 3 PL d. Сенсор работает на расстоянии 2,5 м практически без мертвой зоны и является основой системы безопасности. Этой же фирмой разработано программное обеспечение, поддерживающее систему безопасности при работе транспортных средств без водителей.

Фирма DS Automation (Германия) экспонировала на логистической выставке LogiMAT 2019 напольную тележку нового поколения типа Oscar omni, работающую без водителя (FTF), которая подъезжает под груз, требующий транспортировки. Высота тележки - 235 мм. Тележка - высокоманевренная, может поворачиваться и двигаться по диагонали и в других направлениях. Ходовая часть тележки устроена т.о., что между полом и тележкой имеется просвет высотой 25 мм. Для обеспечения безопасности движения предусмотрена световая сигнализация.

Интересные решения в области приводов для подъемно-транспортного оборудования представила на выставке LogiMAT 2014 фирма Getriebbau Nord GmbH & Co. KG (Германия). Были экспонированы электрические двигатели с умрихтерами, которые непосредственно встроены в двигатель. Созданная фирмой система LogiDrive обеспечивает поставку приводов, которые можно эксплуатировать по принципу "Бери и пользуйся". Этому способствует наличие специального программного приложения Nordcon-App.

Одно из направлений повышения эффективности использования складских площадей связано с применением передвижных стеллажных систем. В этом направлении успешно работает специализированная фирма Meta-Regalbau GmbH & Co. KG (Германия). На логистической выставке LogiMAT 2019 фирма представила передвижную стеллажную систему нового поколения

Multibloc, которая позволяет на 110% повысить степень использования площади склада. С использованием электронной информационной системы Meta Calc можно в режиме on-line заказать стеллажную систему нужных размеров и вместительности. В качестве начального проекта (Start-up) фирма предлагает цифровую систему Motionsminers для автоматического контроля работы склада с оценкой эргономики, производительности и эффективности [11].

Фирма Jungheinrich AG (Германия) входит в число крупнейших фирм-экспонентов логистической выставки LogiMAT 2019. Представленные экспонаты отличаются исключительно высокой степенью новизны. Впервые был представлен кран-штабелер типа STC для складов мелких штучных грузов. Кран-штабелер отличается высокой производительностью, гибкостью, энергоэффективностью и отличным использованием пространства. Фирма также представила новые модели вилочных электропогрузчиков с литий-ионовыми аккумуляторными батареями, а также новую систему типа Ассистент водителя "zoneCONTROL", предназначенную для обеспечения безопасной работы напольных транспортных средств на складах и в логистических центрах.

На выставке в Штутгарте фирма Ansmann AG представила аккумуляторы нового поколения, предназначенные для использования в транспортных средствах без водителей (FTF), а также в напольных транспортных средствах др. типов. В аккумуляторы встроены модули мобильной связи стандарта GSM и системы на основе спутниковой связи GPS. Это создает возможность соединить в цепь все транспортные средства, работающие на складе, в логистическом центре или на терминале, использовать сеть Интернет (IoT) и др. новые технологии.

Фирма Bauer GmbH (Германия) предлагает широкий выбор складского оборудования и тары. Предлагаются, в частности, различные навесные устройства для вилочных погрузчиков, специальные навесные опрокидывающиеся емкости для сыпучих грузов, специальная транспортная тара для литий-ионных батарей и др. Фирма выпускает подъемные рабочие корзины типа MB-11, которые вилочный погрузчик может захватывать как с широкой, так и с узкой стороны. Предлагается широкий выбор стеллажных и подвесных ванн серии LIL, необходимых для складирования жидких грузов в специальных носителях.

Фирма Schoeller Allibert GmbH (Германия) на международной выставке LogiMAT 2019 представила три новых образца складной транспортной тары большого объема (GLT), завершив тем самым серию транспортной тары Magnum. Среди новых образцов складной тары Magnum Optimum 1208 на европейском поддоне размерами в плане 1200x1000 мм, ящик Magnum Optimum 595 и ящик Magnum Optimum Hopper. Все три образца - складные, в порожнем состоянии объем уменьшается в три раза. Все образцы штабелируются, причем ящик Magnum Optimum Hopper для сыпучих грузов рассчитан на статическую нагрузку в 3200 кг.

Обзор основных экспонатов, представленных на международной выставке внутренней логистики позволяет сделать следующие выводы:

1. Основная тенденция выставки – реализация концепции 4-й промышленной революции, которая формируется как программа Logistik 4.0. Главное в этой про-

грамме – цифровые технологии, искусственный интеллект, облачная компьютеризация, широкое применение роботов во взаимодействии с человеком, автоматизация, соединение в единую цепь производства, транспорта и логистики.

2. На примерах строительства новых и модернизации действующих объектов логистики показаны новые автоматизированные системы управления, представлены новые, более совершенные, программные продукты для логистики.

3. Значительное число экспонатов выставки было посвящено новым видам подъемно-транспортного и складского оборудования. Здесь и принципиально новые виды оборудования и хорошо известные, но в новых, более совершенных версиях.

### Литература

1. Mehr Intralogistik geht fast nicht //F+H: Fördern und Heben.-2019.-69, № 1-2.-С. 28-29.

2. Zukunft der Intralogistik //VR-Wissen.-2019, № 2.-С. 14-17.

3. Beratung tut gut //Maschinenmarkt.-2019.-125, № 3. MM Logistik.- С. S15.

4. Das perfekte Volumen//Techn. Logist.-2019.-59, № 1-2.-С.76

5. Toyota rückt Effizienz in der Mittelpunkt //Maschinenmarkt.-2018.-124, № 26. MM Logistik.-С. S28.

6. Sensoren und schlussfertige Komplettlösungen befeuern die smarte Intralogistik//Maschinenmarkt.-2019.-125, № 3. MM Logistik.- С. S54.

7. Sensorik für reibungslose Materialflüsse //Maschinenmarkt.-2019.-125, № 3. MM Logistik.- С. 26.

8. Einfach kommissionieren dank smartem Wearable // Maschinenmarkt.-2019.-125, № 3. MM Logistik.- С. S42.

9. Automatisierungslösungen live in Aktion // Maschinenmarkt.-2019.-125, № 3. MM Logistik.- С. S24.

10. Beumer präsentiert Neuigkeiten aus dem Geschäftsfeld Sortier- und Verteiltechnik // Maschinenmarkt.-2019.-125, № 3. MM Logistik.- С. S29.

11. Klassische Regaltechnik und Zukunftsthemen stehen im Fokus der Messepräsenz //F+H: Fördern und Heben.-2019.-69, № 1-2.-С. 40.

### Сведения об авторе:

**Тиверовский Владимир Изекильевич**, старший научный сотрудник в Отделе научной информации по транспорту ВИНТИ РАН.

Адрес: 125190 Москва, ул. Усиевича, 20.

Телефон 499-152-56-33.

E-Mail [Logistic@viniti.ru](mailto:Logistic@viniti.ru).

## СРАВНЕНИЕ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОТОЙ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ЭЛЕМЕНТАМИ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Кандидат техн. наук, старший научный сотрудник **Замыслов М.А.**,  
кандидат техн. наук, доцент **Мальцев А.М.**,  
кандидат техн. наук, старший научный сотрудник **Михайленко С.Б.**,  
**Штанькова Н.В.**

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

## COMPARISON OF CONTROL CHANNELS FOR FLIGHT ALTITUDE OF THE AIRCRAFT WITH THE ELEMENTS OF NEURAL-FUZZY AND FUZZY LOGIC

**Zamyslov M.A.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Maltsev A.M.**, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,  
**Mikhailenko S.B.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Shtankova N.V.**

(Military Air Force Training and Research Center “Air Force Academy  
named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”)

*Математическая модель, канал управления высотой полета летательного аппарата, гибридные системы, нейро-нечеткая логика, нечеткая логика, функция принадлежности, фаззификация, нечеткий контроллер, алгоритм нечеткого вывода.*

*Mathematical model, channel height of the aircraft control, hybrid systems, neural-fuzzy logic, fuzzy logic, membership function, fuzzification, fuzzy controller, algorithm of fuzzy conclusion.*

*Рассматриваются особенности гибридных (нейро-нечетких) систем и варианты построения математической модели канала управления высотой полета летательного аппарата с применением нейро-нечеткого и нечеткого контроллеров, использующих алгоритмы нечеткого вывода типа Сугено и Мамдани. Приводятся результаты сравнения переходных характеристик рассматриваемых и классической моделей канала, полученные с использованием пакетов Simulink и Fuzzy Logic Toolbox программы MATLAB.*

*In article features hybrid (neural-fuzzy) systems and variants of construction of mathematical model of the channel height of the aircraft control with application the neural-fuzzy and fuzzy controllers, using algorithms an fuzzy conclusion of type Sugeno and Mamdani are considered. The results of comparison of transient characteristics of considered and classical channel models, obtained using MATLAB Simulink and Fuzzy Logic Toolbox software packages are resulted.*

### Введение

В настоящее время методы интеллектуального управления, в частности методы нечеткой логики, достаточно широко применяются при моделировании, разработке и эксплуатации технических устройств и систем управления в различных областях науки и техники, в том числе и в бортовом авиационном оборудовании [1-5]. В работах [2-5,9,13-15] приведены примеры построения таких устройств. В [1], например, были рассмотрены вопросы построения нечеткой модели канала управления высотой полета летательного аппарата (ЛА). При этом было показано, что дальнейшее повышение динамических характеристик таких каналов возможно не только на основе совершенствования алгоритмов обработки информации в них, но и путем совершенствования их элементной базы, например, за счет использования нечетких процессоров. В статьях [1,2] разработаны с использованием пакетов расширений *Simulink*, *Fuzzy Logic Toolbox* программы *MATLAB* и исследованы нечеткие контроллеры (НК) для математической модели канала управления высотой полета ЛА. Для разработки этих НК использовалось такое направление искусственного интеллекта, как нечеткая

логика и были реализованы алгоритмы нечеткого логического вывода (далее просто нечеткого вывода) типа Мамдани и Сугено. Однако применение других направлений, таких как гибридные (нейро-нечеткие) сети, не рассматривалось. В то же время аппарат гибридных сетей считается специалистами одним из наиболее перспективных инструментов для решения многих задач прикладного системного анализа [11].

Поэтому задача разработки математической модели канала управления высотой полета ЛА с применением гибридного (нейро-нечеткого) контроллера и сравнения ее с нечеткой моделью, использующей алгоритм Мамдани, а также с классической моделью канала высоты, является важной и актуальной.

Прежде чем приступить к созданию математической модели канала управления высотой полета ЛА с элементами нейро-нечеткой логики (гибридным контроллером), исследованию ее характеристик и сравнению с классической моделью и моделью с нечетким контроллером, реализующим алгоритм Мамдани, рассмотрим основные различия нечетких и гибридных (нечетко-нейронных) систем и возможные пути построения последних.

## Сравнительный анализ различий нечетких и гибридных (нечетко-нейронных) систем

Интеллектуальные системы управления создаются с использованием таких направлений искусственного интеллекта (ИИ), как экспертные системы, нечеткая логика, искусственные нейронные сети и др. При этом, как известно, наиболее эффективными являются системы, построенные на основе объединения сразу нескольких из вышеперечисленных направлений ИИ [3,11]. В настоящее время получили широкое распространение системы управления процессами (объектами), основанные на применении гибридных (нейро-нечетких) сетей, в которых выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а соответствующие функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей (НС). Как известно, главной особенностью нейронных сетей является их способность к обучению, заключающаяся в применении специальных алгоритмов, например, алгоритма «обратного распространения ошибки» (back-propagation). Для обучения НС необходима лишь обучающая выборка в виде экспериментальных пар «входы – выход». Однако обученная нейронная сеть не поддается содержательной интерпретации. Достоинством нечеткой логики является возможность использования экспертных знаний о структуре объекта в виде лингвистических высказываний: если <входы>, то <выход>. Кроме того, для нечетких контроллеров не требуется априорная математическая модель объекта управления, и они могут работать с не полностью описанными системами с неизвестной динамикой [11]. Недостатком аппарата нечеткой логики является то, что он не содержит механизмов обучения, из-за чего результаты нечеткого логического вывода существенно зависят от вида функций принадлежности, формализующих нечеткие термы. Для устранения собственных недостатков систем с нечеткой логикой и искусственных нейронных сетей, которые теоретически эквивалентны друг другу, и был разработан аппарат гибридных сетей, где выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а соответствующие функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения нейронных сетей, например, алгоритма обратного распространения ошибки. Именно такие системы широко известны под названием гибридных, или нечетко-нейронных, систем. Они не только используют априорную информацию, но также могут приобретать новые знания.

На практике наиболее широко применяется нейро-нечеткая сеть *ANFIS* (*Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System*), программно и графически реализованная в пакете расширения *Fuzzy Logic Toolbox* программы *MATLAB* [3,8,11]. Приведем краткое описание гибридной сети *ANFIS*, необходимое для понимания излагаемых ниже материалов.

### Краткое описание нейро-нечеткой сети *ANFIS*, использующей алгоритм нечеткого вывода Сугено-Такаги

Рассмотрим наиболее широко используемый вариант реализации сети *ANFIS* с применением алгоритма нечеткого вывода Сугено-Такаги [11]. Сеть *ANFIS* является одним из первых вариантов гибридных нейро-нечетких сетей, представляющим систему из двух ин-

тегрированных подсистем с различными языками представления и методами поиска решений. По существу *ANFIS* – нейронная сеть прямого распространения сигнала, реализующая систему нечеткого вывода Сугено-Такаги [12].

В модели вывода Сугено-Такаги используется набор правил:

$$R_i : \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_{i1}, \dots \text{ И } x_n \text{ это } A_{in}, \text{ ТО } y = f(X),$$

где  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ;  $f(X)$  – некоторая четкая функция, например, полином первого порядка. Определяются уровни «отсечения»  $a_i$  для левой части каждого из правил согласно выражению  $a_i = \min_j (A_{ij}(x_j))$ ,  $i = 1, \dots, m$ ,  $j = 1, \dots, n$  и рассчитываются «индивидуальные» выходы правил  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ :

$$y_i^* = p_{i0} + \sum_{j=1}^n p_{ij} x_j,$$

где  $p_{i0}$ ,  $p_{ij}$  – коэффициенты полинома или веса, которые уточняются в процессе анализа данных.

В блоке дефазификации осуществляется переход от нечеткого значения выходной лингвистической переменной (управление) к числовому значению. Для случая упрощенного алгоритма нечеткого вывода (алгоритм Сугено нулевого порядка), когда  $y_i = f(X) = p_{i0}$ ,  $i = 1, \dots, m$  он производится по формуле

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\sum_{i=1}^m \min_j (\mu_{ij}(x_j)) p_{i0}}{\sum_{i=1}^m \min_j (\mu_{ij}(x_j))}.$$

На рис. 1 показана сеть *ANFIS* с двумя входными лингвистическими переменными  $x_1, x_2$ , и четырьмя нечеткими правилами.

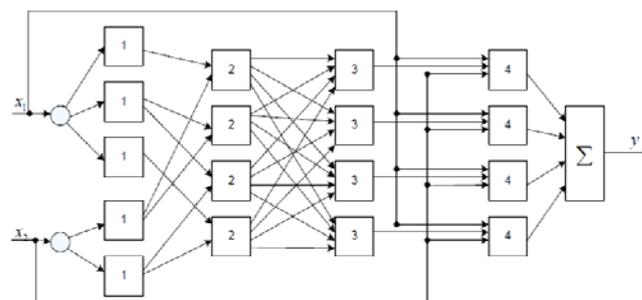


Рис. 1. Нечеткая нейронная сеть *ANFIS* с применением алгоритма Сугено-Такаги нулевого порядка:  
1 – входные переменные (функции Гаусса);  
2 – антецеденты; 3 – нормализация сигналов;  
4 – заключения правил

Из рис. 1 видно, что сеть *ANFIS* представляет собой пятислойную искусственную НС прямого распространения сигнала. При этом первый слой представляет собой термы входных переменных и количество узлов слоя равно сумме мощностей терм-множеств входных переменных. На втором слое формируются посылки (антецеденты) нечетких правил. Количество узлов второго слоя  $m$ . Каждый узел этого слоя соответствует одному нечеткому предиктивному правилу и соединен с теми узлами первого слоя, которые формирует посылки

соответствующего правила. Следовательно, каждый узел второго слоя может принимать от 1 до  $n$  сигналов. Выходом узла является степень выполнения правила, которая рассчитывается как произведение входных сигналов (по Ларсену) [12]. Обозначим выходы узлов этого слоя  $\tau_r$ ,  $r = 1, \dots, \bar{m}$ , где  $\bar{m}$  – количество нечетких правил. На третьем слое с количеством узлов, равным  $m$ , производится нормализация степеней выполнения правил. При этом каждый узел этого слоя рассчитывает относительную степень выполнения нечеткого правила (проводится нормализация) по формуле

$$\tau_r^* = \frac{\tau_r}{\sum_{j=1}^m \tau_j}.$$

Четвертый слой представляет собой заключения правил с числом узлов, равным  $m$ , причем каждый узел слоя соединен с одним из узлов третьего слоя, а также со всеми входами сети. В каждом узле четвертого слоя рассчитывается вклад одного нечеткого правила в выход сети по формуле

$$y_r = \tau_r^* (b_{0,r} + b_{1,r}x_1 + \dots + b_{n,r}x_n).$$

На пятом слое выполняется агрегирование (композиция) результата, полученного по различным правилам, путем суммирования вкладов всех правил на единственном узле этого слоя:

$$y = \sum_{j=1}^m y_j.$$

Настройка рассмотренной сети *ANFIS* (рис.1) выполняется комбинацией градиентного спуска в виде алгоритмов обратного распространения ошибки (ОРО) и метода наименьших квадратов (МНК). Алгоритм ОРО настраивает параметры антецедентов (предпосылок), то есть функций принадлежности фазсификатора. Алгоритм МНК оценивает коэффициенты заключения правил, так как они линейно связаны с выходом сети. Каждая итерация процедуры настройки выполняется в два этапа.

На первом этапе на входы подается обучающая выборка и по невязке между желаемым и действительным поведением сети МНК находят оптимальные параметры узлов четвертого слоя. На втором этапе остаточная невязка передается с выхода сети на входы и методом ОРО модифицируются параметры узлов первого слоя. При этом найденные на предыдущем этапе коэффициенты заключения правил не изменяются. Итерационная процедура настройки продолжается, пока невязка превышает заранее установленное значение.

В дальнейшем будем использовать рассмотренный вариант реализации гибридной сети для разработки канала управления высотой полета ЛА с нейро-нечетким контроллером, реализующим алгоритм Сугено, и его сравнения с нечетким и классическим каналом. Для этого, в первую очередь, рассмотрим порядок разработки гибридных сетей с архитектурой *ANFIS* средствами *Fuzzy Logic Toolbox* и возможности интерфейса *ANFIS* [3,18].

## Создание и обучение гибридных сетей с архитектурой *ANFIS* средствами *Fuzzy Logic Toolbox*

В пакете расширения *Fuzzy Logic Toolbox* системы *MATLAB* гибридные сети реализованы в форме адаптивных систем нейро-нечеткого вывода *ANFIS*.

При этом разработку и исследование гибридных сетей можно выполнить в интерактивном режиме с помощью специального графического редактора *ANFIS* и в режиме командной строки с помощью ввода имен соответствующих функций непосредственно в окно команд системы *MATLAB* [3,17].

Редактор *ANFIS* позволяет создавать или загружать конкретную модель гибридной системы, выполнять ее обучение, изменять и настраивать ее параметры, визуализировать ее структуру, а также использовать настроенную сеть для получения результатов нечеткого вывода. Он позволяет автоматически синтезировать из экспериментальных данных нейро-нечеткие сети. При этом функции принадлежности синтезированных систем настроены (обучены) так, чтобы минимизировать отклонения между результатами нечеткого моделирования и обучающей выборкой (данными). Применяя эту систему, можно эффективно разрабатывать системы управления и прогнозирования. Внешний вид *ANFIS*-редактора представлен на рис. 2 [18].

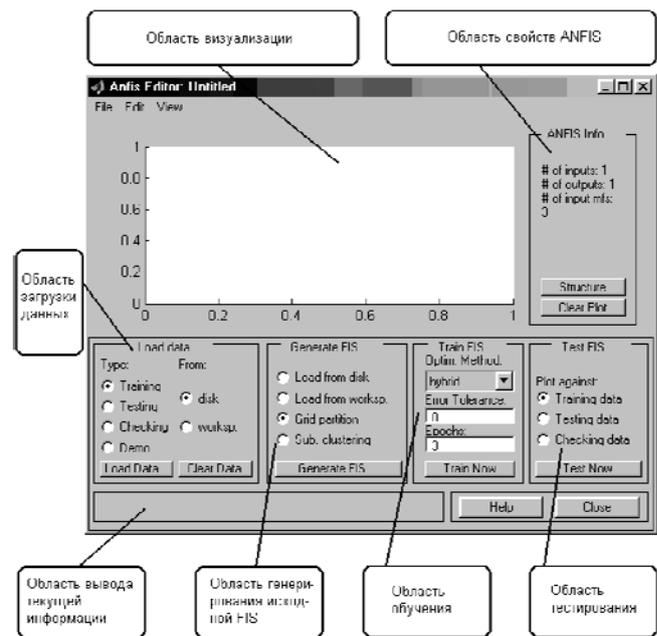


Рис. 2. *ANFIS*-редактор в среде *MATLAB*

Как видно из рис. 2, главное меню редактора *ANFIS* достаточно простое и предназначено для работы с предварительно созданной системой нечеткого вывода. Основную часть графического интерфейса занимает окно визуализации данных, расположенное ниже главного меню. Для вновь создаваемых сетей это окно не содержит никаких данных.

Рассмотрим порядок разработки гибридной сети с использованием интерфейса *ANFIS*-редактора.

Для создания гибридной сети необходимо после запуска *MATLAB* загрузить *ANFIS*-редактор с помощью команды *anfisedit* (появится графическое окно, изображенное на рис. 2) и выполнить следующие действия (этапы):

– загрузить данные с диска (обучающую выборку) через область **загрузка данных (Load data)**, файл *anfis1.dat* и сохранить созданную систему (в меню *File* выбрать в подменю *Export* команду *To disk*);

– произвести генерирование нечеткой (FIS) системы через область **генерация нечеткой структуры (Generate FIS)**, предварительно выбрав число термов входных переменных, их вид, а также тип выходной переменной;

– произвести обучение нейросети гибридной системы, при этом нужно выбрать метод обучения, ошибку обучения и количество эпох при обучении (первые два параметра подбираются по результатам обучения сети, а количество эпох должно быть достаточным для обучения сети с заданными параметрами);

– выполнить тестирование и при необходимости дообучение системы прогнозирования.

Просмотреть построенную структуру системы можно, используя область **свойств системы (ANFIS info)**, а изучить правила нечеткой системы прогнозирования и кривую прогноза можно через меню (*edit* и *view*). После этого, как правило, производится анализ полученной системы, и делаются выводы.

После краткого ознакомления с нейро-нечеткой сетью *ANFIS* перейдем к разработке математических моделей для сравнительного анализа нейро-нечеткого, нечеткого и классического каналов управления высотой полета ЛА.

### Математические модели нейро-нечеткого, нечеткого и классического каналов управления высотой полета ЛА

Ранее анализ возможностей методов и алгоритмов нечеткой логики, используемых в бортовых системах беспилотных летательных аппаратов (БЛА), проводился в [1] при решении задачи управления высотой полета БЛА. В интересах обеспечения сопоставимости результатов будем оценивать возможности гибридных технологий искусственного интеллекта (нейро-нечетких систем) применительно к решению этой же задачи.

Задача решалась путем математического моделирования процесса функционирования канала управления высотой полета БЛА с элементами нейро-нечеткого управления и его сравнения с функционированием канала, построенного по классической схеме. Для этого, в первую очередь, была разработана математическая модель канала управления высотой полета БЛА с элементами гибридной логики (с нейро-нечетким контроллером).

Такая модель разработана, как и в [1, 2], на базе изображенной на рис. 3 типовой схемы канала управления высотой полета БЛА, внутренним контуром которого является автопилот тангажа [4,5]. При этом использовались и выполнялись процедуры, подробно описанные в [3]. Модель реализована в программной среде *MATLAB* с использованием расширений *Simulink*, *Fuzzy Logic Toolbox* и графического интерфейса программы *ANFIS* [8].

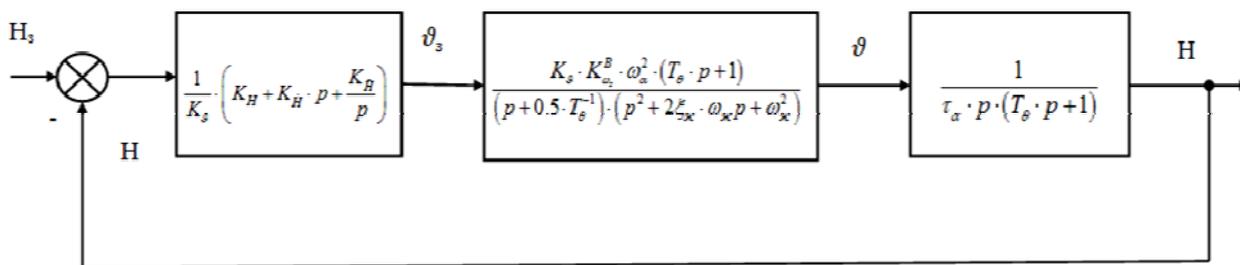


Рис. 3. Структурная схема канала управления высотой классической системы управления полетом БЛА

На структурной схеме приняты следующие обозначения:

$H_z, H$  – заданная и текущая высота полета БЛА соответственно;

$\alpha$  – заданный и текущий угол тангажа БЛА;

$K, T$  – передаточные числа и постоянные времени соответствующих динамических элементов;

$\omega_x, \xi_x$  – собственная частота и коэффициент демпфирования контура тангажа с жесткой обратной связью соответственно;

$p$  – оператор дифференцирования.

При моделировании рассматривались гипотетические значения характеристик конкретных элементов моделей, достаточные для понимания существа вопроса.

Для сравнения использовались также модели классического канала и канала управления высотой полета с нечетким контроллером (НК), подробно описанные в работах [1,2]. Все модели разработаны для сигналов текущего отклонения высоты полета от заданного значения ( $\Delta H$ ) с использованием методов теории случай-

ных процессов, автоматического управления и нечеткого моделирования [4-7]. На рис. 4 изображен фрагмент интерфейса расширения *Simulink* программы *MATLAB* с этими моделями и разработанной моделью, использующей нейро-нечеткий контроллер.

В нижней части рис. 4 изображена модель с НК, построенным на основе применения нечеткой нейронной продукционной сети *ANFIS* с применением алгоритма нечеткого вывода Сугено-Такаги, в средней части – модель с НК, реализующим алгоритм нечеткого вывода типа Мамдани, а в верхней части – классическая модель канала управления высотой. Здесь же приведены осциллограммы переходных характеристик (ПХ) всех каналов, иллюстрирующие работоспособность моделей, имеющих характеристики, аналогичные характеристикам, приведенным в [1,4].

Рассмотрим процедуру построения представленного в нижней части рис. 4 нейро-нечеткого контроллера (*Neural Fuzzy Logic Controller*).

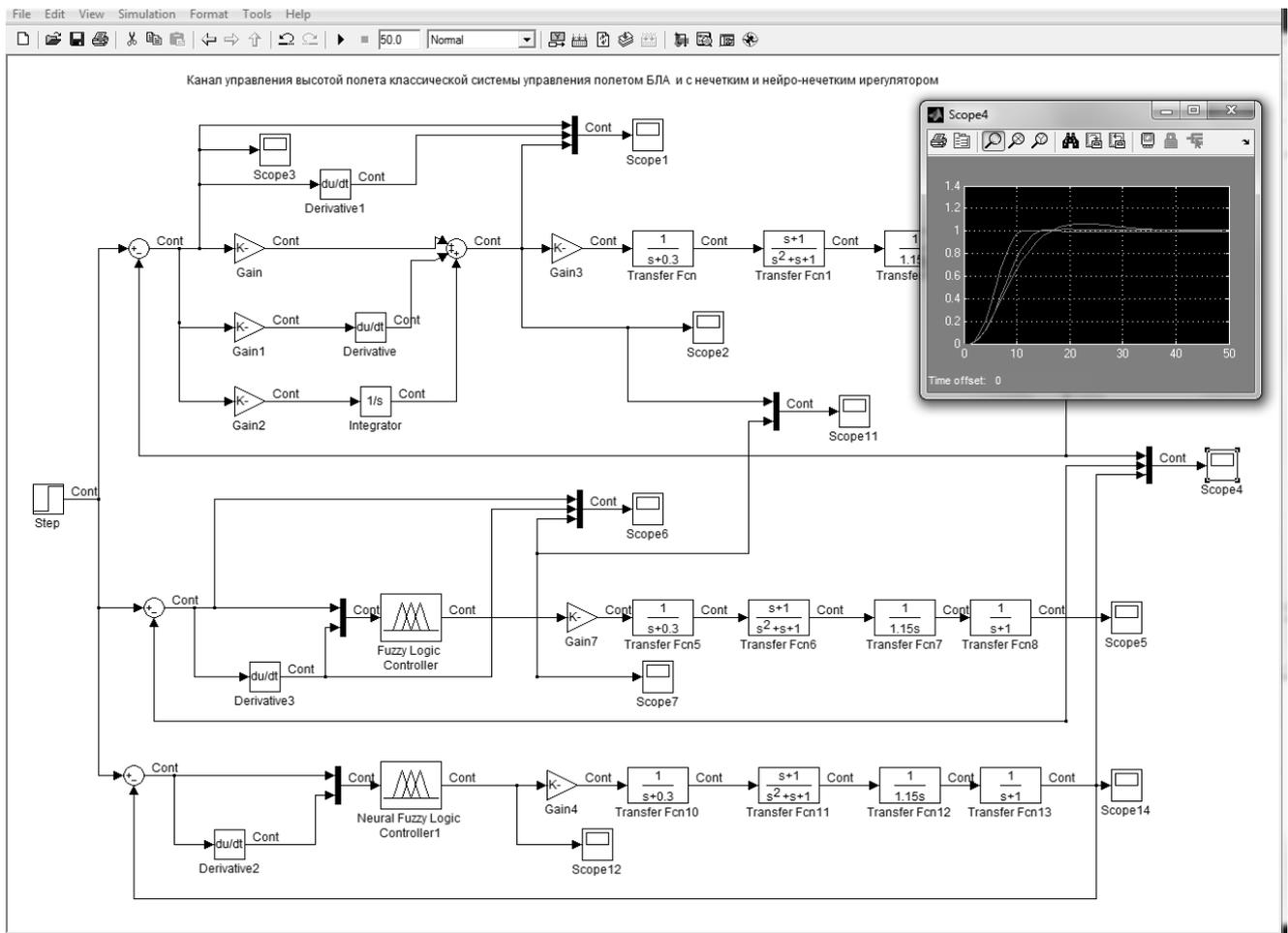


Рис. 4. Фрагмент интерфейса расширения Simulink программы *MATLAB* с моделями канала управления высотой полета – классической, с нечетким контроллером и с нейро-нечетким контроллером

### Построение гибридного (нейро-нечеткого) контроллера для канала управления высотой полета ЛА с использованием графического интерфейса программы *ANFIS*

Не останавливаясь на процедурах обработки входной (четкой) информации в контроллере с использованием графических средств пакета *Fuzzy Logic Toolbox* программы *MATLAB*, подробно изложенных в работах [1,3,8-11], приведем лишь фрагменты графического интерфейса пакета *Fuzzy Logic Toolbox* и *ANFIS*-редактора, применявшихся при интерактивной разработке и отладке систем нейро-нечеткого вывода для контроллера.

Фрагмент интерфейса *ANFIS*-редактора пакета расширения *Fuzzy Logic Toolbox*, реализующего разработанную нейро-нечеткую модель канала управления высотой с алгоритмом вывода типа Сугено, показан на рис. 5 а), а фрагмент интерфейса окна генерации нечеткой структуры (*Generate FIS*) – на рис. 5 б). Для реализации алгоритмов Мамдани и Сугено в НК с двумя входами и одним выходом использовались редакторы систем нечеткого вывода (*FIS Editor*), функций принад-

лежности (*MFE*), правил вывода (*RE*), просмотрщиков правил (*RV*), поверхностей вывода (*SV*) и окна *ANFIS*-редактора, изображенные на рис. 5-7, позволяющие разрабатывать и применять нейро-нечеткие системы в интерактивном режиме [3,8].

Для лингвистического описания первой и второй входной переменной использовались по пять треугольных термов, а выходной ЛПИ – двадцать пять синглетонов (одноточечных термов) [3].

На рис. 5 показаны окна *ANFIS*-редактора пакета *Fuzzy Logic Toolbox*, использующиеся при загрузке файла данных для обучения системы, ее обучении и отображении структуры сети и процесса обучения, а также при выборе числа термов входных переменных, их вида и типа выходной переменной для построения нейро-нечеткого контроллера. После загрузки обучающей выборки (данных), генерации функций принадлежности и обучения сети получаем сформированные правила и поверхность нечеткого вывода, сгенерированные в процессе обучения рассматриваемой гибридной системы.

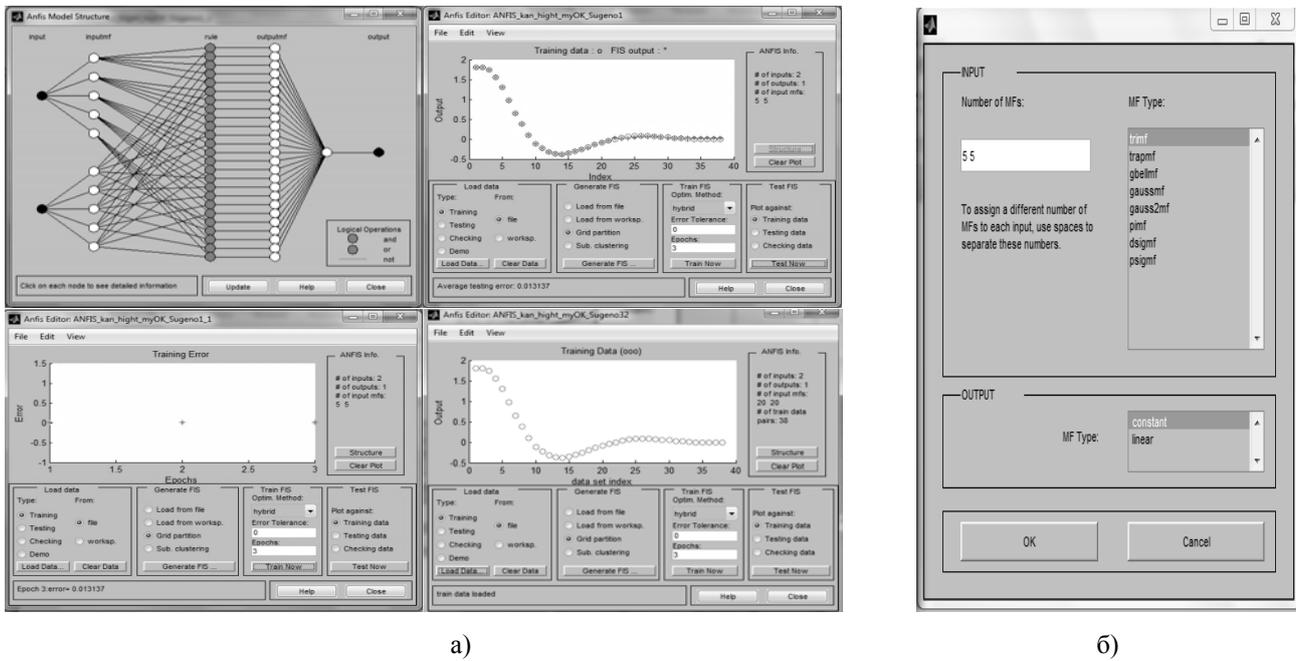


Рис. 5. Фрагмент интерфейса ANFIS – редактора, реализующего разработанный нейро-нечеткий контроллер

На рис. 5 а) показаны окна, отображающие данные для обучения, результаты обучения, структуру нейро-нечеткой сети и ошибки обучения, на рис. 5 б) – окно выбора числа термов входных переменных, их вида, а также типа выходной переменной для нейро-нечеткого контроллера.

После отладки нейро-нечеткого контроллера его ANFIS модель была экспортирована в рабочую область пакета Simulink программы MATLAB в виде блока «Neural Fuzzy Logic Controller» в имитационной модели канала (рис. 4).

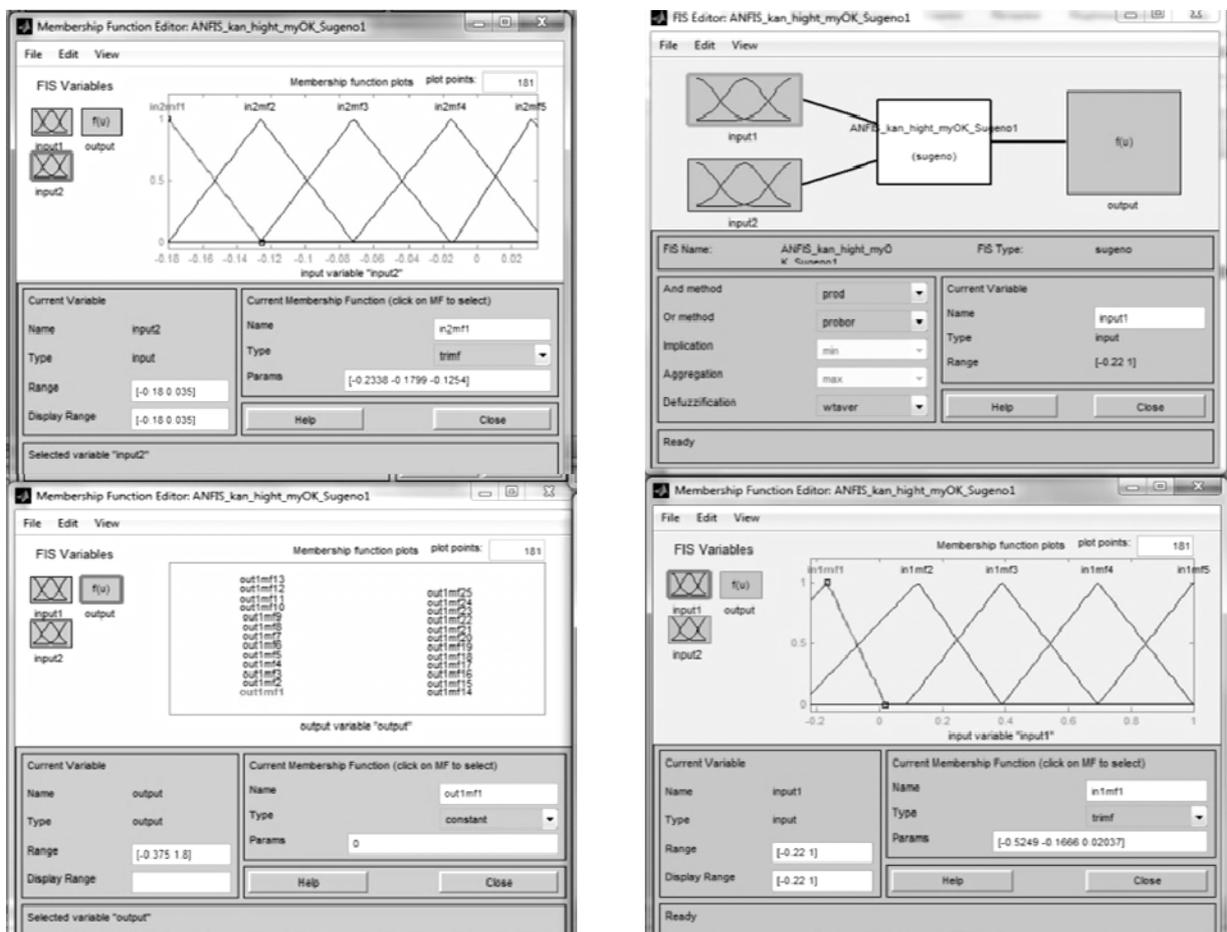


Рис. 6. – Фрагмент интерфейса программы Fuzzy Logic Toolbox в виде окон редактора ANFIS входных и выходных функций принадлежности для канала управления высотой с алгоритмом нейро-нечеткого вывода типа Суэно

## Результаты моделирования и сравнения классического, нечеткого и нейро-нечеткого (ANFIS) каналов управления высотой полета ЛА

С использованием разработанных выше математических моделей было проведено исследование и сравнение переходных характеристик каналов управления высотой полета ЛА, построенных по классической схеме и с нечеткими контроллерами, реализующими системы нечеткого вывода типа Мамдани и нейро-нечеткого вывода с алгоритмом Сугено [11,12].

Отладка обоих НК была выполнена с использованием

графических редакторов *Rule Editor*, *Rule Viewer* и *ANFIS Editor* (см. рис. 7). Далее было проведено моделирование каналов управления высотой с использованием трех показанных на рис. 4 моделей при одинаковых исходных данных, соответствующих типовым условиям полета ЛА [1,4]. Результаты моделирования в виде ПХ, полученных на этих моделях канала управления высотой, построенных по классической схеме и с нечеткими контроллерами, в которых реализованы алгоритмы Мамдани и нейро-нечеткого вывода Сугено, приведены на рис. 8.

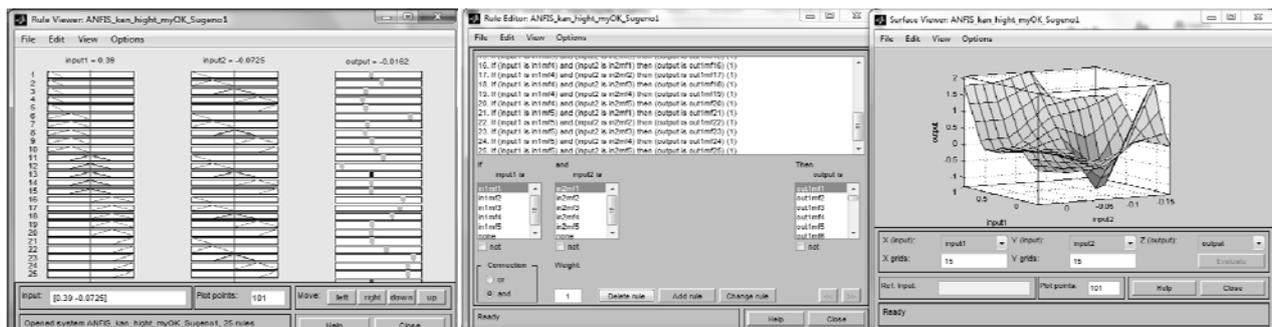


Рис. 7. Фрагмент интерфейса программы *Fuzzy Logic Toolbox* в виде окон редактора *Rule Editor* и просмотрщиков *Surface Viewer* и *Rule Viewer*, используемых при отладке нейро-нечеткого контроллера

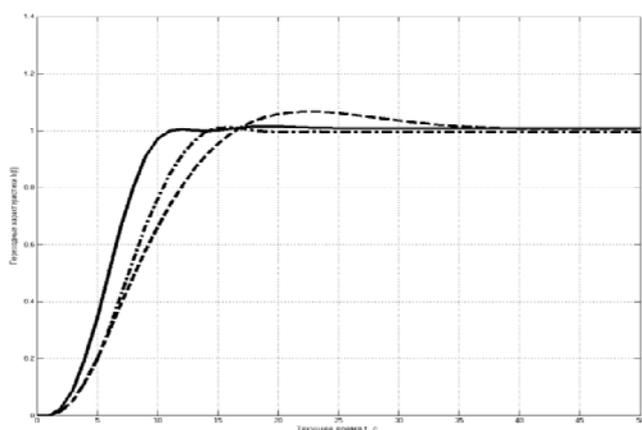


Рис. 8. Переходные характеристики классического канала управления высотой полета ЛА (пунктирная линия) и каналов с нечеткими контроллерами, реализующими алгоритм Мамдани (штрих-пунктирная линия) и алгоритм нейро-нечеткого вывода Сугено (сплошная линия)

Анализ кривых на рис. 8 показывает, что ПХ канала управления высотой с нечеткими контроллерами, в которых реализованы разработанные базы правил и алгоритмы Мамдани и нейро-нечеткого вывода Сугено, в отличие от ПХ классического канала, имеют меньшее перерегулирование (в 3-5 раз) и время установления (в 2-4 раза). Кроме того, эти каналы более эффективны по быстрдействию, так как имеют меньшее время достижения ПХ заданного значения.

При этом ПХ канала, оснащенного нейро-нечетким контроллером с алгоритмом Сугено, имеет лучшие показатели качества по сравнению с ПХ канала, оснащенного НК с алгоритмом Мамдани – меньше на 1,5 с время нарастания переходного процесса и на 5 с время достижения первого максимума.

Следует отметить, что различия характеристик канала с нейро-нечетким контроллером и канала, оснащенного НК с алгоритмом Мамдани, обусловлены не только возможностью обучения канала с нейро-

нечетким контроллером, но и использованием разных методов дефазификации и большей сложностью вычислений в алгоритме Мамдани [10].

### Реализация нечетких контроллеров

Рассматриваемые нейро-нечеткие алгоритмы, разработанные с использованием *ANFIS*-редактора пакета расширения *Fuzzy Logic Toolbox* программы *MATLAB*, могут быть реализованы в кодах нечетких процессоров (контроллеров), таких как *68HC12* (*Motorola*), *SAE 81C99* (*Siemens*) или *FP1000*, *FP3000* (*Omron*), широко используемых в современных системах интеллектуального управления [19,20]. При этом для практической реализации рассмотренных алгоритмов на программируемых логических контроллерах как импортного, так и отечественного производства, программы должны быть написаны в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61131-7-2017 [21], в нотации языка *FCL* (*Fuzzy Control Language*).

Таким образом, для оценки возможностей алгоритма нейро-нечеткого вывода Сугено (нейро-нечеткой системы) и сравнения результатов, полученных с его использованием, с результатами, полученными на классической модели и на модели, в которой используется алгоритм нечеткого вывода Мамдани, был разработан вариант построения нечеткой модели канала управления высотой полета БЛА с использованием гибридного (нейро-нечеткого) контроллера.

Результаты моделирования показали, что при неизменных параметрах исследуемого объекта каналы управления высотой с нейро-нечеткими контроллерами, реализованными на основе характеристик уже существующих элементов канала высоты, имеют лучшие динамические показатели по сравнению с каналом, построенным по классической схеме. При этом в обоих каналах высоты с нечетким и нейро-нечетким контроллерами время достижения выходной величины заданного значения и перерегулирование меньше, чем у классического канала.

## Литература

1. Волобуев М.Ф., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Математическая модель канала управления высотой полета летательного аппарата с элементами нечеткой логики и ее сравнение с классической моделью // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление.- 2016, № 8.- С. 10–15.
2. Фатеев И.А., Замыслов М.А., Штанькова Н.В. Модель канала управления высотой полета воздушного судна с элементами нечеткой логики. Сборник тезисов докладов IV всероссийской НПК «АВИАТОР» (16-17 февраля 2017 года). Воронеж, ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017, 229 с., С. 164–165.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
4. Асланян А.Э. Системы автоматического управления полетом летательных аппаратов. Часть 1. К.: КВВАИУ, 1984. 435 с.
5. Максимов М.В., Горгонов Г.И. Радиоуправление ракетами. М.: Сов. радио, 1964. С.481–488.
6. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Trans. SystemsManCybernet. 1985. Vol. 15. No. 116. P. 116–132.
7. Mamdani E.H. Applications of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant // Proc. IEEE. 1974. V. 121. № 12.
8. Дьяконов В.П. MATLAB7\*/R2006/R2007: Самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2008.
9. Замыслов М.А., Мальцев А.М., Мальцев М.А., Михайленко С.Б. Автомат продольного управления летательного аппарата с адаптивным регулированием коэффициентов передачи методами нечеткой логики // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление.- 2018, № 6.- С. 10–19.
10. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики. Смоленск: Смоленская городская типография, 2003. 177 с.
11. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого правления в системах реального времени: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. 160 с.
12. Горожанина Е.И. Нейронные сети. Учебное пособие. [Текст] / Е.И. Горожанина. – Самара. ФГБОУ ВО ПГУТИ, 2017. 84 с.
13. Вильданов Р.Г., Бикметов А.Г., Самошкин А.И. Моделирование автоматической системы регулирования с fuzzy-регулятором // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4; URL: www.science-education.ru/118-13483 (дата обращения: 15.09.2015).
14. Бобко В.Д., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. О нечеткой динамической коррекции параметров ПИД-регулятора. // Автометрия, 1998, № 1, С.50–55.
15. Волобуев М.Ф., Замыслов М.А., Мальцев А.М., Михайленко С.Б. Математическая модель контура стабилизации скорости полета летательного аппарата с адаптивным управлением пропорционально-дифференцирующим регулятором на основе нечеткой логики // ВИНТИ., Проблемы безопасности полетов.- 2017, № 12.- С. 44–58.
16. Jang R. Neuro-Fuzzy Modeling: Architectures, Analyses and Applications: Ph.D. University of California. Department of Electrical Engineering and Computer Science. Berkeley. 1992.
17. В. Дьяконов, И. Абраменкова, В. Круглов. MATLAB с пакетами расширений под ред. Проф. В.П. Дьяконова. М.: Нолидж. 2001. 880 с.
18. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. 480 с.
19. Чернов В.Г. Нечеткие контроллеры. Основы теории и построения: Учеб. пособие по курсу «Интеллектуальные системы управления» / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2003. 148 с.
20. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2009. 392 с.
21. ГОСТ Р МЭК 61131-7-2017 КОНТРОЛЛЕРЫ ПРОГРАММИРУЕМЫЕ. Часть 7. Программирование нечеткого управления (IEC 61131-7:2000, IDT).

### Сведения об авторах:

#### **Замыслов Михаил Александрович.**

Место работы: ВУНЦ ВВС «ВВА» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж), старший научный сотрудник.

Телефон сотовый – 8 950 762 2234,  
e-mail: mzam48@mail.ru.

#### **Мальцев Александр Михайлович.**

Место работы: ВУНЦ ВВС «ВВА» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж), старший научный сотрудник.

Телефон сотовый – 8 906 589 3616,  
e-mail: max\_alex\_67@mail.ru.

#### **Михайленко Сергей Борисович.**

Место работы: ВУНЦ ВВС «ВВА» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж), ведущий научный сотрудник.

Телефон сотовый – 8 904 211 2437,  
e-mail: mikhserbor@yandex.ru.

#### **Штанькова Надежда Викторовна.**

Место работы: ВУНЦ ВВС «ВВА» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж), младший научный сотрудник.

Телефон сотовый – 8 903 856 1228,  
e-mail: nadia\_shtankova@mail.ru.

Адрес организации: 394064, г. Воронеж, ул. Старых большевиков, д. 54а.

## УНИВЕРСАЛЬНОСТИ В ИЕРАРХИЧЕСКИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Доктор технических наук, профессор **Корольков Б.П.**

### UNIVERSALITY IN HIERARCHICALLY STRUCTURED TRANSPORT SYSTEMS

**Korolkov B.P.**, Doctor (Tech.), Professor

*Универсальность, иерархия, структура, поведение, систематика, идентификационное кодирование, структурированная мудрость.*

*Universality, hierarchy structure, conduct, systematics, inventory coding, structured wisdom.*

*Концепция универсальностей открывает разнообразные перспективы в науке и технике будущего, основанные на подобии структурного представления индивидуальной организации и характера функционирования объектов действительного мира и их математических моделей. В статье охвачены укрупнённым анализом явления самоорганизации, эволюции (изменения структур и поведения), систематика, идентификационное кодирование транспорта, авторский вариант структурированной мудрости.*

*The concept of universalities offers the challenge in science and technology based on similarities of structural presentation of individual organization and a kind of functioning of objects of the real world and their mathematical models. The paper describes phenomena of self-organization, evolution (structure modification and conduct), systematics, inventory coding of transport, author's version of structured wisdom.*

Стремление к чему-то универсальному было науке присуще всегда. Так французский математик и философ Рене Декарт считал, что порядок освобождает мысль, а австрийский физик Эрвин Шрёдингер утверждал: «Целостное универсальное знание – единственное, к чему может быть полное доверие» [1]. Английский философ Г. Спенсер хорошо понимал, что «если знания человека в беспорядочном состоянии, то чем больше он имеет их, тем сильнее расстраивается его мышление». Уже в наши дни всё в той же философии, прозревающей актуальность обобщающих устремлений знания, ставится вопрос о необходимости в русле позиции современной науки единого междисциплинарного подхода [24].

Как часто бывает, высказанные и признаваемые идеи не сразу находят адекватной поддержки: им не хватает «массы квалифицированных кадров». Так получилось с Тектологией А. Богданова, которая через десятилетия стала «теорией систем» Л. Берталанфи; давно провозглашённая и поддержанная Ноосфера В.И. Вернадского до сих пор ожидает конструктивного результата; сходная судьба у Универсального Эволюционизма Н.Н. Моисеева.

Автор данной статьи сам не раз публиковал результаты нового информационного подхода в железнодорожном транспорте, вроде и не отвергаемого, но не находящего вдумчивых усилий специалистов отрасли. Исходная позиция в обсуждении понятия универсальностей связана с применением возможностей математики, неравновесной термодинамики и теории систем. Предмет статьи обязан достижениям таких мыслителей

как Л. Эйлер, А. Пуанкаре, Л. Онзагер, И. Пригожин, Г. Хакен, В. Арнольд, Н. Моисеев и др. Ниже выделены направления, представляющие результаты последнего периода работы автора. Имея в виду более широкое и конструктивное развитие перспективных идей, в статье приведён необходимый список публикаций, в которых уделено повышенное внимание методической стороне исследований.

#### Самоорганизация систем

Как известно, явление самоорганизации внутренне присуще активности материи вообще, а тем более сложноорганизованной. Достигнуто понимание преваляирования внутренних свойств системы над внешними факторами развития: подлинная роль внешних условий функционирования – ограничения, накладываемые над-системой на самодвижение сложного объекта. Синергетика вывела науку из колыбели безмятежной линейности, открыв путь к познанию нелинейного мира. Феномен самоорганизации является следствием обнаружения в различных областях знания общих свойств процессов самоорганизации систем; особенно существенно их практически идентичное иерархическое структурирование.

Литература по самоорганизации реальных систем и их математических моделей обширна [3-6, 19-23]. В списке же опубликованных работ автора затронуты проблемы лишь в двух научных направлениях: структурные аспекты функционирования транспортных систем [5-14] и концепция структурированной мудрости [15-18].

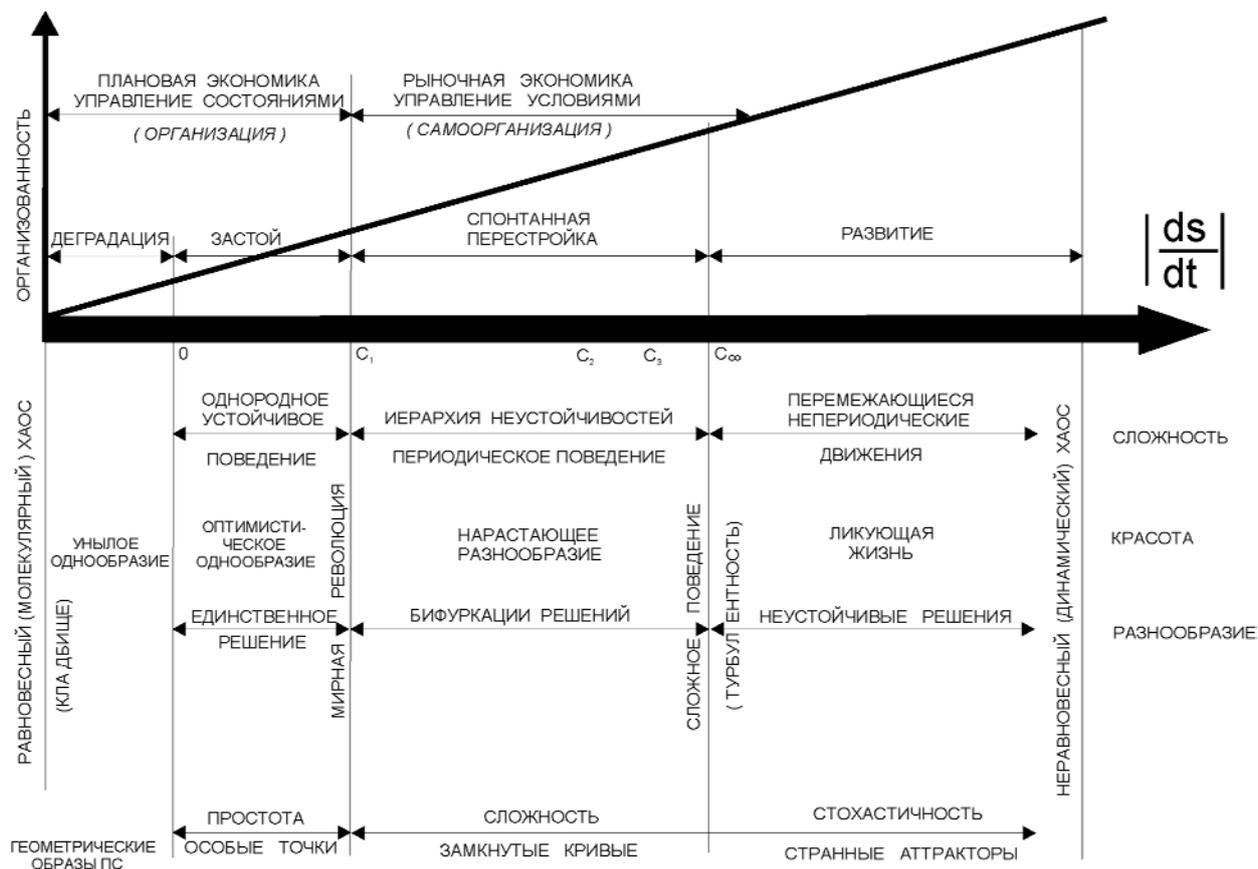


Рис. 1. Термодинамическая интерпретация картины развития структур и состояний,  $C_1$  – глобальное изменение структуры или поведения системы,  $C_1, \dots, C_\infty$  – точки критических переходов,  $C_\infty$  – точка появления *непериодических* структур и поведения. ПС – предельные состояния решений.

### Эволюция структур

В науке существуют разные подходы к изучению направления изменения структур во времени и пространстве. Так с позиции термодинамики неравновесных состояний построена наглядная картина развития структур и поведения, дающая представление о влиянии совокупности различных сочетаний конструктивных и режимных параметров на организацию и функционирование сложных систем разнообразной природы [4]. Рис. 1, иллюстрирующий указанное положение, обладает большой ёмкостью разноплановых результатов. Координатные оси: **абсцисс** – производство энтропии; оно характеризует внутренние свойства рассматриваемого объекта, а также интенсивность и особенности его взаимодействия с окружающей средой; **ординат** – качественная характеристика степени организованности термодинамической системы.

Определяющее значение в формировании тенденции достижения системой того или иного уровня организованности имеет пороговый характер состояний в зависимости от того или иного отрицательного значения производства энтропии. При достижении очередной пороговой величины происходит скачкообразный переход структуры или поведения системы при сохранении рассматриваемой тенденции изменения  $|ds/dt|$ . На оси абсцисс такие критические значения переходов получили названия точек бифуркаций  $C_i$ , где  $i$  – номер бифуркации.

Не располагая фактической стороной эволюции,

учёные древности и не столь давних времён, тем не менее, качественно обозначили характерные границы появления неоднозначных состояний<sup>1</sup>. Первая из них  $C_1$  служит признаком перехода от однородного устойчивого поведения системы к тому или иному режиму самоорганизации (мирной эволюции). Сохранение тенденции нарастания величины  $|ds/dt|$  будет приводить к появлению новых критических точек  $C_i$  вплоть до некоторого значения  $C_\infty$ , за которым появляется специфический тип неустойчивостей – перемежающиеся непериодические движения. В терминах геометрических образов предельных состояний (ПС) при этом происходят переходы от ОТ (особых точек) к замкнутым кривым и далее – к стохастическим состояниям, получившим название СА (странные аттракторы) нарастающего порядка. СА служат признаком хаотического поведения типа турбулентности. Такой хаос<sup>2</sup> конструктивен; в литературе разработан аппарат детального математического эволюционного описания и его решения [20-23].

Эмоциональные оценки состояний равновесия и неустойчивостей приведены на рис. 1: от унылого равновесного кладбищенского хаоса через мирную революцию к сложному поведению типа турбулентности вплоть до неравновесного (динамического) хаоса, свидетельствующего о сложности, красоте и разнообразии ликующей жизни.

<sup>1</sup> Если что-нибудь, изменившись, переступит свои пределы, это есть смерть того, что было прежде. **Лукреций**

<sup>2</sup> Всё рождается из хаоса. **Платон**

## Систематика

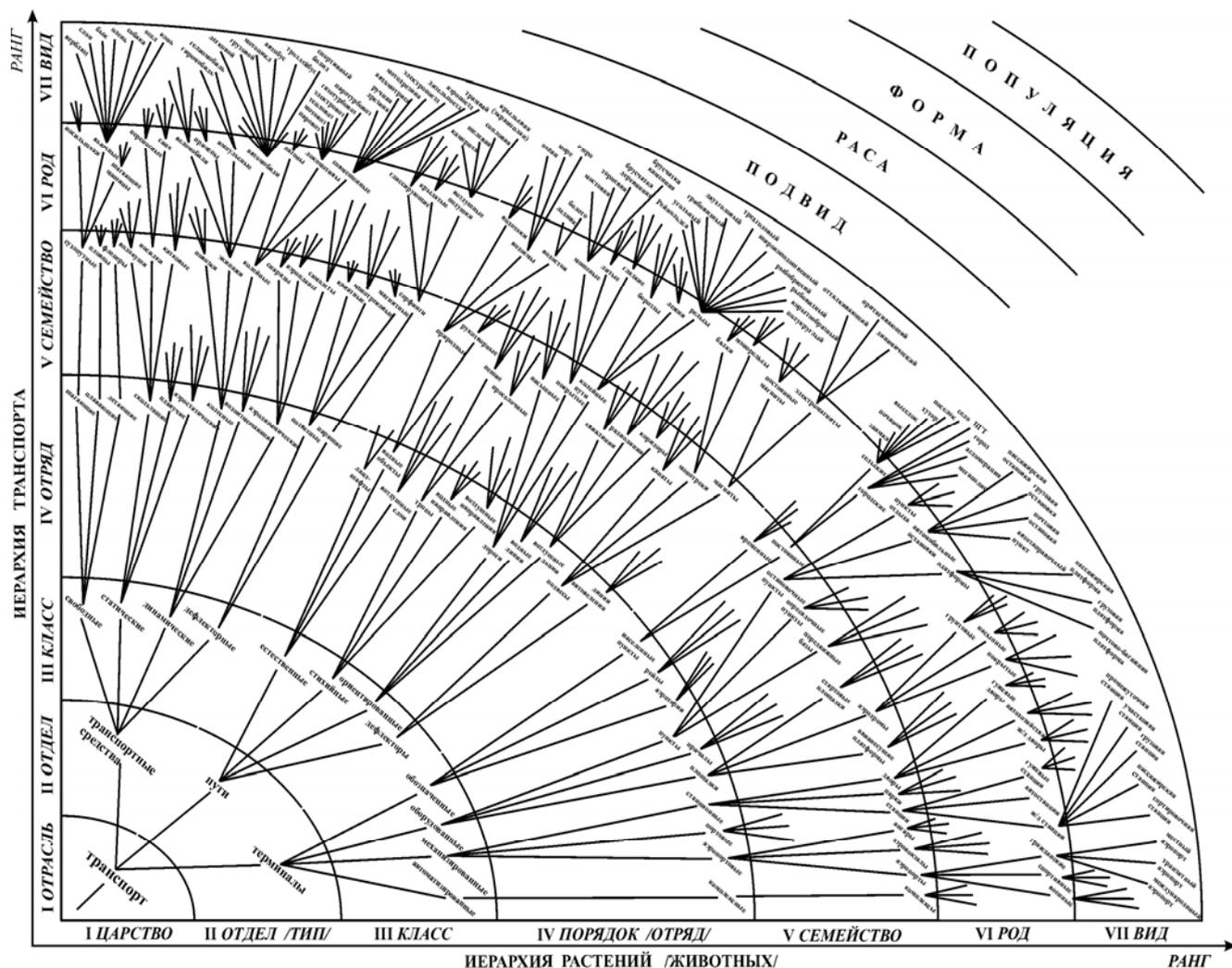


Рис. 2. Плоскостная систематика транспорта.

Таблица.

### Примеры наименований первых матриц ветвей дерева ряда отраслей.

Отрасль	Наименование первых матриц ветвей дерева		
<i>Транспорт</i>	Подвижной состав	Пути	Терминалы
<i>Энергетика</i>	Энергогенерирующее оборудование	Линии теплотрасс и электропередач	Электростанции (тепло-, гидро-, АЭС и др.)
<i>Растениеводство</i>	Механизмы	Поля	Агро-промышленные комплексы
<i>Информатика</i>	Аппаратное и программное обеспечение	Сети передачи данных	Информационные центры
<i>Наука</i>	Научные коллективы	Конференции, книги, журналы	НИИ, университеты
<i>Космос</i>	Ракеты	Траектории, орбиты	Космодромы, орбитальные системы

Познание с позиций термодинамики сложных принципиально неравновесных систем требовало детального конструктивного представления о них. Поэтому ответом на громадное разнообразие компонентов и их связей у отраслевых образований неизбежно должна была стать какая-то классификация или систематика<sup>3</sup>. Двумерная систематика, введённая в XVIII веке К. Линнеем [2] означала отказ от простейших подходов, характерных для многочисленных одномерных (частных) классификаций. Но, учитывая в свою очередь, опыт тупиков плоскостной линнеевской систематики, нами была предложена *многомерная* ранговая систематика [8-10]. В качестве конкретного примера вместе с аспирантами реализована трёхмерная ранговая модель наибольшего охвата подвижного состава железнодорожного транспорта и показана возможность распространить разработанный подход на другие категории железнодорожной инфраструктуры и транспорта вообще [9-14]. Идея предложенной систематики не исчерпывается транспортной отраслью. Показана возможность (рис. 2) всё на том же методическом материале дать примеры построения систематик для целого ряда отраслей науки, промышленности и др.<sup>4</sup>. Речь здесь может идти об обобщённой модели («дерева») сложно устроенной иерархической системы любой природы (материальной или идеальной) [9, 11].

### Универсальное кодирование на основе трёхмерных систематик и онтологий

Наличие модели обобщённой трёхмерной систематики открывает блестящие перспективы решения информационных и логистических задач современного знания и техники. На предыдущих уровнях представления универсальностей, носящих сугубо вербальный характер, теперь необходимо найти способ задания той же информации, но в более сжатом и менее зависимом от её фактической природы виде. Он давно известен: это адекватная цифровая форма. Необходимые сведения для переходов «слово – его цифровое содержание» детализированы в публикациях автора данной статьи и его учеников [9-14].

Построение систематик и глубина необходимого кодирования изучаемого объекта определяется конкретным заданием. Ниже приводится пример первых цифр кода, различающегося для основных видов (семейств) транспортной отрасли.

Речь может идти о системах любой природы (материальных, идеальных), а также о так называемых объектах уникального ряда [9, 13]. Не исключено, что прогресс науки и запросов реального хозяйства может потребовать в перспективе увеличения мерности систематик.

<sup>3</sup> Ариадниной нитью является система. Без неё – хаос. **К. Линней**;

Требуется хорошая систематизация, чтобы не потеряться безнадежно в лабиринте учёности. **Г. Гельмгольц**

В этом мире наша первая обязанность состоит в том, чтобы устраивать островки порядка и системы. **Н. Винер**

<sup>4</sup> Правильно в философии рассматривать сходство даже в вещах, далеко отстоящих друг от друга. **Аристотель**

При удивительной аналогии между практическим и теоретическим разумом оказывается и не менее удивительным и их различие. **И. Кант**

Единые транспортные коды  
(начиная с ранга СЕМЕЙСТВО)

ТИП ТРАНСПОРТА	КОД	ТИП ТРАНСПОРТА	КОД
Резерв	0	Воздушный	5
Железнодорожный	1	Трубопроводный	6
Автомобильный	2	Конвейерный	7
Морской	3	Космический	8
Речной	4	Резерв	9

Универсальное кодирование перспективно для успешного решения ряда задач в ещё одном направлении: области информационных технологий машинного извлечения знаний. Базовой здесь надо считать известную идею соединения обобщённых систематик и онтологий разных уровней: верхнего, отраслевого, а также конкретных задач (соответствующий пример продемонстрирован в кандидатской диссертации А.В. Дудаковой [11, 12]). На рис. 3 показана упрощенная структура, приводящая к формированию возможной системы обработки знаний.

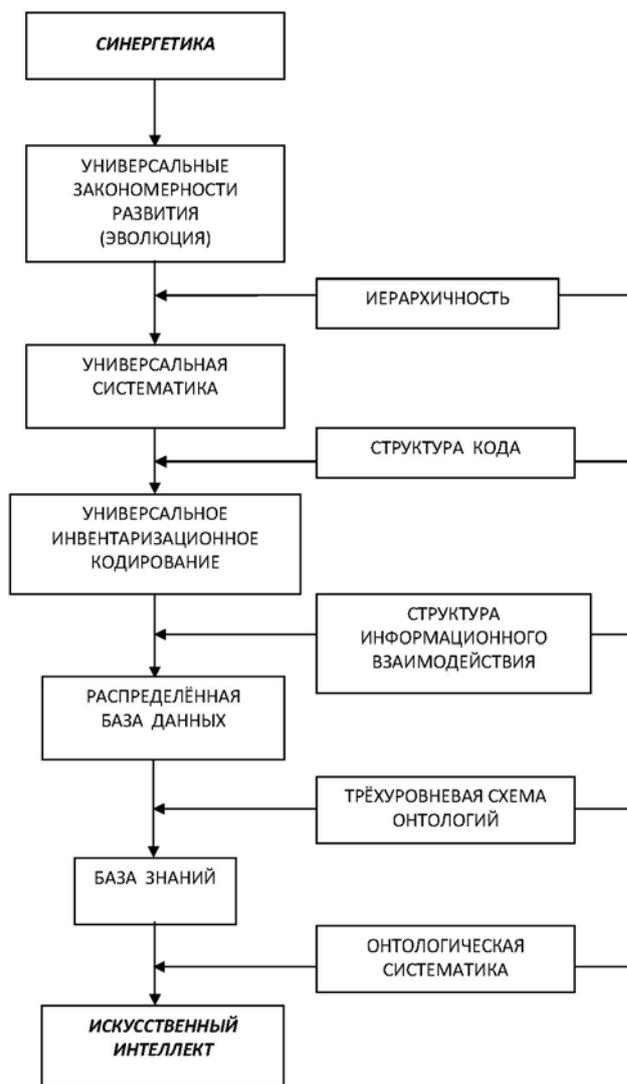


Рис. 3. Путь от синергетики к искусственному интеллекту

## Универсальность структурированной мудрости

Только универсальность структурированной мудрости в состоянии охватить и организовать в систему знания, выработанные в человекообразном (т. е. неформализуемом) опыте. Ориентиром в бесконечном множестве фактов, представленных **словом** элементарного знания, принята концепция *толкового словаря*, а совокупность конкретных **идей** – высказываний авторитетных представителей человечества (изречения, максимы, афоризмы, пословицы и др.) [15-18].

Структурированная мудрость – это своеобразный гуманитарный вариант науки, позволяющий охватить некую *высказываемую, но не обсуждаемую суть*, индивидуально существенную и избирательно необходимую для каждого отдельного человека.

### Заключение

Перечисленные результаты можно определить как заявку на цели, открывающие определённые перспективы в Познании. Сами цели лишь смутно просматриваются, но успех в продвижении к ним, несомненно, потребует настойчивости и упорства от исследователей будущего. Как известно, «путь к цели важнее самой цели» (Э. Чаргафф). Можно лишь надеяться на возможные прорывы в Незнаемое.

Для всех направлений характерно то общее, что вызывает сожаление о незавершённости каждого из них, пожелание дальнейшего развития. Это же относится и к «мудрости», но здесь ожидания не столь оптимистичны. На причину указал Даниил Заточник (XII век), которого академик Д.С. Лихачёв назвал первым интеллигентом на Руси: «Как псам и свиньям не нужно золота и серебра, так и глупому – мудрых слов». Остаётся надеяться на креативность и прилежность потомков.

### Литература

1. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики. – М.: РИМАС. – 2009. – 176 с.
2. Линней К. Система природы. Царство животных. Ч. 1-2. – СПб, 1804-1805. – (Stockholmiae, 1789-1796, 13 ed.).
3. Корольков Б.П. Лекции по самоорганизации систем: Учебное пособие. – Иркутск: ИрГУПС. – 2008. – 215 с.
4. Корольков Б.П. Термодинамические основы самоорганизации. Концепции и факторы. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, Germany. – 2012. – 167 с. ISBN: 978-3-8465-9925-9
5. Корольков Б.П. К проблеме создания универсальной системы эволюции // Транспорт. Наука, техника, управление. Сб. обзорной информации. ВИНТИ. – 2002. – № 2. – С.15-18.
6. Корольков Б.П. Синергетика в развитии структур и состояний / В кн. «Прикладная синергетика, фракталы и компьютерное моделирование структур». – Томск: ТГУ. – 2002. – С. 78-90.
- Synergetics in the Development of Structures and States / “Fractals, Applied Synergetics and Structures Design”, Chapt. 6. – N.Y.: Nova Science Publishers. – 2005.
7. Корольков Б.П. Синергетические основы универсальности в систематике / Тр. междунар. междисциплинарного симпозиума «Фракталы и прикладная синергетика» ФИПС-03. – М.: Изд-во МГОУ – 2003. – С. 18-24.

8. Корольков Б.П., Корольков П.Б. Систематика – не вечный двигатель, а веление времени // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2008. – № 3 (19) – С. 141-149.

9. Корольков Б.П. Всё изменяется. Траектория развития. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, Germany. – 2013. – 343 с. ISBN: 978-3-8465-9925-9

10. Корольков Б.П. Транспорту мира – единую систему инвентаризационного кодирования. Вестник национального исследовательского Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 9. – С. 104-115.

11. Корольков Б.П., Дудакова А.В. Систематика онтологий и структуризация категорий знаний // Мир транспорта. – 2010. – № 2. – С. 20-25.

12. Корольков Б.П., Дудакова А.В. Систематика и кодирование в структуре информационного обеспечения. Контейнерные перевозки. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, Germany. – 2013. – 157 с.

ISBN: 978-3-659-38023-5

13. Корольков Б.П. К вопросу о единообразных шифрах у объектов уникального ряда. – Инновационный транспорт. – 2014. – № 3. – С. 24-33.

14. Корольков Б.П. Кодирование подвижного состава транспорта: от простых договорённостей к научному обоснованию. – Транспорт. Наука, технология, управление. – 2017. – № 8. – С. 51-53.

15. Кладезь мудрости / Сост. Б.П. Корольков. – СПб: Издательство «Лань». – 1999. – 288 с.

16. Корольков Б.П. Мудрость великих: изречения и афоризмы. – Ростов н/Д: Феникс – 2007. – 349 с.

17. Корольков Б.П. Кладезь мудрости. Переключки эпох. – М.: Издательский дом «Наука» – 2012. – 528 с.

18. Корольков Б.П. Толковый Словарь Мудрости (изд. второе, дополненное). – Иркутск: ООО «Типография на Чехова». – 2018. – 660 с.

19. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. – М.: Мир, 1990. – 342 с.

20. Трубецков Д.И., Мчедлова Е.С., Красичиков Л.В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. – М.: Физматлит, 2002. – 202 с.

21. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. – М.: УРСС. – 2003. – 312 с.

22. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. – М.: КомКнига. – 2005. – 312 с.

23. Малинецкий Г.Г. Пространство синергетики. Взгляд с высоты. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». – 2013. – 248 с.

24. Ласло Э. Основания трансдисциплинарной единой теории // Вопросы философии. – 1997. – № 3. – С. 80-84.

### Сведения об авторе:

**Корольков Борис Петрович.**

Телефон (3952)428933, 89149376675.

E-mail: profkor@gmail.com.

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОКУМЕНТОВ СТАНЦИОННОЙ КОММЕРЧЕСКОЙ ОТЧЕТНОСТИ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Доктор технических наук, профессор **Арипов Н. М.**,  
аспирант **Камалетдинов Ш. Ш.**

(Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта. ТашИИТ)

**QUALITY ASSESSMENT OF STATION COMMERCIAL BOOKS AND RECORDS AT  
THE RAILWAYS OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**Aripov N.M.**, Doctor (Tech.), Professor,  
**Kamaletdinov Sh.Sh.**, Post-graduate Student  
(Tashkent Railway Engineering Institute TashREI)

*Станционная коммерческая отчетность, перевозочный процесс, количественная оценка качества, связанность документов, атрибуты.*

*Station commercial reporting, transportation process, quantitative quality assessment, document relatedness, attributes.*

*Представлена методика определения количественных показателей качества документов станционной коммерческой отчетности. Описаны атрибуты составляющих качества документов. Определены связи между документами, при этом выявлены прямые и косвенные связи для последующих документов. Для количественной оценки качества документов станционной коммерческой отчетности предложена методика, состоящая из следующих этапов: определение характеристик качества документов станционной коммерческой отчетности; определение методов и порядка измерения и оценки выбранных характеристик качества; количественная оценка характеристик качества с помощью предложенных методов.*

*In article is presented the definition technique quantitative indices of quality of documents of the station commercial reporting. The attributes making quality of documents are described. Communications between documents are defined. Direct and indirect connections for the subsequent documents are revealed. For quantitative assessment of quality of documents of the station commercial reporting the technique consisting of the following stages is offered: definition of characteristics of quality of documents of the station commercial reporting; definition of methods and an order of measurement and assessment of the chosen characteristics of quality; quantitative assessment of characteristics of quality by means of the offered methods.*

Внедрение электронного документооборота в технологические процессы в организациях с большим объемом работ дает значительный эффект. Однако на железнодорожном транспорте Республики Узбекистан в настоящее время практикуется традиционная бумажная технология ведения станционной коммерческой отчетности. Внедрение электронного документооборота требует правильной оценки качественных и временных характеристик заполнения документов станционной коммерческой отчетности.

На железных дорогах России, Украины и Беларуси достаточно давно практикуется электронное взаимодействие между клиентами и перевозчиками. Проводились исследования, доказывающие привлекательность применения электронного документооборота с точки зрения социального значения и экономического эффекта. В научных трудах ученых И. А. Елового [1], М. М. Колоса [2] и М.А. Гончара [3] рассмотрены вопросы разработки мероприятий по совершенствованию работы железнодорожного транспорта общего пользования Республики Беларусь в условиях применения электронных, юридически значимых документов, охватывающих различные аспекты технологии грузовой и коммерческой работы, а также выявлены преимущества применения электронных, юридически значимых документов и осуществление прогнозной оценки эффективности электронных документов в грузовой и коммерческой работе. Однако в этих работах не рассматривались

количественные показатели качества документов при заполнении на электронных формах и на бумажных носителях.

В научных работах Ю.И. Соколова [4], А.А. Алферовой [5] рассмотрены методики и модели оценки качества транспортного обслуживания грузовладельцев на железнодорожном транспорте, но не рассмотрен вопрос определения методики определения качества документов участвующих в перевозочных процессах.

В статьях Е.П. Булавского [6,7] рассмотрены вопросы определения количественных показателей технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. Разработана методика и рассчитаны качественные характеристики технических документаций.

В статье [8] моделированы процессы планирования и отправления грузов при композитном документообороте и выявлены преимущества электронного документооборота по временным характеристикам заполнения и удаленного обслуживания клиентов.

Анализ представленных выше трудов показал, что оценка качества документов станционной коммерческой отчетности количественными методами не производилась. Отсутствие возможности количественной оценки качества документов станционной коммерческой отчетности, может вызывать рост браков в работе, увеличивает финансовые и временные риски, связанные с грузовыми работами и перевозочными операциями.

Формы бланков станционной коммерческой отчетности делятся на учетные по пассажирским перевозкам (формы ЛУ), по грузовым перевозкам (формы ГУ) и отчетные (формы ФО, ГО)[9]. В настоящей статье будут оцениваться следующие документы, участвующие в планировании, учете и отправке грузов во внутриверстковом сообщении, по предлагаемой методике оценки характеристик качества документов станционной коммерческой отчетности:

1. Заявка на перевозку грузов - форма ГУ-12;
2. Декадная заявка – форма ГУ-11;
3. Учетная карточка – форма ГУ-1;
4. Памятка приемосдатчика – форма ГУ-45;
5. Ведомость подачи и уборки вагонов – ГУ-46;
6. Накопительные карточки для дополнительных сборов - форма ФДУ-92;
7. Накладная – форма ГУ-27;

### Качество документов станционной коммерческой отчетности

Все документы имеют атрибуты, т.е. свойства, определяющие отличительные особенности каждого из них. Таким образом, общее количество свойств документов участвующих в грузовых и коммерческих процессах определяется как сумма атрибутов каждого документа.

Для каждого документа станционной коммерческой отчетности могут быть определены “документы – предшественники” и “документы – последователи”. Документ - предшественник - это документ, на основе или с использованием элементов, атрибутов и связей которого создается данный документ. Документ - последователь - это документ, создаваемый на основе или с использованием элементов, атрибутов и связей данного документа.

При ручном заполнении, связи между документами предшественниками и последователями определяются эвристически, поэтому вероятность появления ошибок

по такому способу выше. При автоматизированном заполнении часть связей строго определены, и их учет осуществляется автоматически программным обеспечением.



Рис. 1. Взаимосвязь между документами станционной коммерческой отчетности

На рис. 1 показаны взаимосвязи основных документов станционной коммерческой отчетности. Связанность документов определяется соответствием атрибутов – последователей атрибутам порождающего документа.

При этом качество последователя зависит от качества предшественников, от соответствия нормативно-справочной информации, а также от уровня использования информации из базы данных.

Процессы подготовки и заполнения документов станционной коммерческой отчетности под управлением специализированного программного обеспечения, должна находиться под жестким контролем для обеспечения высокого качества перевозок. К особенностям систем автоматизации подготовки и заполнения документов станционной коммерческой отчетности относится то, что атрибуты строго соответствуют Правилам перевозок грузов и инструкции по ведению станционной коммерческой отчетности [9].



Рис. 2. Атрибуты заявки на перевозку грузов (ГУ-12)

На рис. 2 представлены основные атрибуты заявки на перевозку грузов (ГУ-12).

Для оценки качества документов станционной коммерческой отчетности предлагается методика, состоящая из следующих этапов:

1. Определение характеристик качества документов

станционной коммерческой отчетности.

2. Определение методов и порядка измерения и оценки выбранных характеристик качества.

3. Количественная оценка характеристик качества с помощью предложенных методов.

### Определение характеристик качества документов станционной коммерческой отчетности

Характеристики качества документов станционной коммерческой отчетности можно описать следующими показателями (рис. 3):

- удобство получения информации (возможность получения информации из соответствующих источников);
- связанность между документами (соответствие документов последователей к предшественникам);
- соответствие стандартам (соответствие документов станционной коммерческой отчетности Правилам перевозок грузов, международным стандартам и нормативно-справочным документам);
- удобство восприятия информации.



Рис. 3. Характеристики качества документов станционной коммерческой отчетности

Под удобством получения информации понимается наличие и доступность необходимых инструкций, справок и подсказок для правильного оформления документов. В системах автоматизированного оформления документов предусматривается возможность получения информации из соответствующей базы данных.

Под связанностью между документами понимается соответствие данного документа предшествующим документам, входящим в состав данного перевозочного процесса. При этом содержание одних определяет содержание других, однако такое соответствие не всегда однозначно. Наличие прямых связей между документами упрощает проверку их достоверности. Количество прямых связей между разными документами определяется объемом информации, содержащейся в каждом из них.

Под соответствием стандартам понимается соответствие документов станционной коммерческой отчетности Правилам перевозок грузов, инструкции по ведению станционной коммерческой отчетности, международным стандартам и нормативно-справочным документам.

Удобство восприятия информации, это скорость обработки информации, уровень утомляемости зрения и запоминания необходимых данных.

#### Определение методов и порядка измерения и оценки выбранных характеристик качества

Качество документов станционной коммерческой отчетности можно представить на основе описания предложенных выше характеристик. Таким образом, качество документов описывается функционалом вида:

$$K_0 = \{C_y, C_c, C_{cm}, C_a\};$$

где  $C_y$  – удобство получения информации;  $C_c$  – связанность документов;  $C_{cm}$  – соответствие стандартам;  $C_a$  – удобство восприятия информации.

Количественную оценку удобства получения информации можно определить, выбрав соответствующее значение по данным табл. 1.

Таблица 1.

$C_y$	Уровень удобства получения информации
0,3...0,5	Низкий уровень удобства
0,6...0,8	Средний уровень удобства
0,9...1	Высокий уровень удобства

При электронном документообороте  $C_y = 0,9$ , так как информацию об атрибутах можно получать из вспомогательных справочников и из базы данных автоматизированном или автоматическим образом. Следовательно, в бумажном документообороте принимаем  $C_y = 0,5$ , так как для бумажных документов получение нужной информации может быть достаточно трудоемким.

Связанность определим как:

$$C_c = \frac{N_c}{N_a} * \gamma;$$

где  $N_c$  – количество атрибутов связанных с предыдущими документами;

$N_a$  – общее количество атрибутов в документе;

$\gamma$  – коэффициент учета связей между документами.

Так как в электронном документообороте связи будут учитываться автоматически, целесообразно принимать  $\gamma = 0,93$ . В бумажном документо-обороте будет требоваться наличие предыдущих документов для сверки атрибутов, следовательно, справедливо принимать  $\gamma = 0,65$ .

Соответствие стандартам определим выбрав значения соответствующего уровня из табл. 2. Электронный документооборот будет включать форматный и логический контроль атрибутов на соответствия стандартам для данного типа документа. В бумажном документообороте правильное заполнение документов зависит от квалификации работника или грузоотправителя. Из вышеуказанного можно оценить степень соответствия стандартам электронного документооборота как  $C_{cm} = 0,1$ , а бумажный документооборот  $C_{cm} = 0,5$ .

Таблица 2.

$C_{ст}$	Уровень соответствия стандартам
0,3...0,5	Низкий уровень соответствия
0,6...0,8	Средний уровень соответствия
0,9...1	Высокий уровень соответствия

Удобство восприятия информации можно оценить на основе исследований зарубежных ученых. По данным американских исследователей, текст с экрана компьютера (монитора) воспринимается на 25 % медленнее, чем при чтении с листа бумаги, что необходимо учитывать при подготовке документов [10]. Следовательно, при электронном документообороте  $C_a = 1$ , а в бумажном  $C_a = 0,75$ .

## Количественная оценка характеристик качества с помощью предложенных методов

Результаты экспертной оценки семи различных документов сведены в табл. 3. Графическое представление оценки качества документов стационарной коммерческой отчетности представлено на рис. 4-5. На них по предложенной методике показаны результаты количественной оценки качества документов. Значение каждой из характеристик качества отображено точкой на соответствующей оси. Чем больше площадь полученного четырехугольника, тем выше качество документа.

Таблица 3.

Документы	$C_y$		$C_c$		$C_{cm}$		$C_a$	
	Элек.	Бум	Элек.	Бум	Элек.	Бум	Элек.	Бум
ГУ-12	0,9	0,5	0,27	0,19	1	0,5	0,75	0,5
ГУ-11	0,9	0,5	0,62	0,43	1	0,5	0,75	0,5
ГУ-1	0,9	0,5	0,36	0,25	1	0,5	0,75	0,5
ГУ-45	0,9	0,5	0,21	0,14	1	0,5	0,75	0,5
ГУ-46	0,9	0,5	0,44	0,31	1	0,5	0,75	0,5
ФДУ-92	0,9	0,5	0,23	0,16	1	0,5	0,75	0,5
ГУ-27	0,9	0,5	0,26	0,18	1	0,5	0,75	0,5

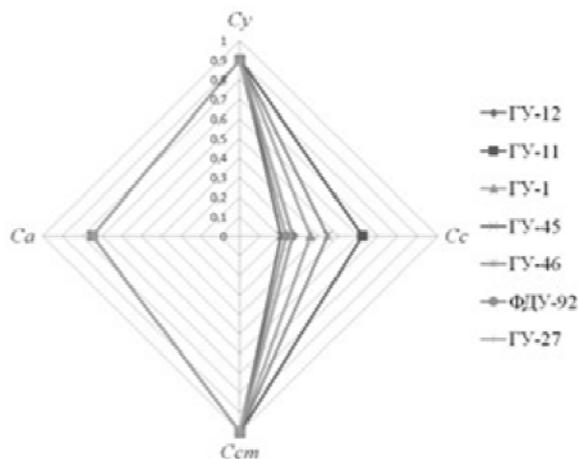


Рис. 4. Оценка качества документов стационарной коммерческой отчетности при электронном документообороте

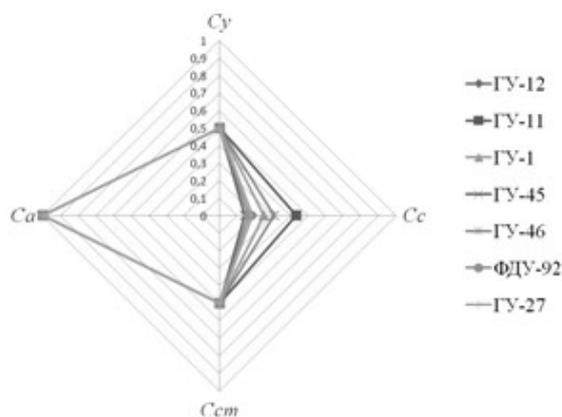


Рис. 5. Оценка качества документов стационарной коммерческой отчетности при бумажном документообороте

Таким образом, предложенная структура показателей позволяет производить количественную оценку качества документов стационарной коммерческой отчетности и моделировать процессы документооборота. Она

обеспечивает возможность предъявления требований к документам в электронном виде и дает возможность сравнивать варианты реализации документооборота в грузовых и коммерческих работах на железнодорожном транспорте.

## Литература

1. Еловой И. А. Организация грузовых перевозок с использованием электронных документов: Монография / Еловой И.А., Котова Ж.И., Колос М.М., Гончар М.А. /Белорусский государственный университет транспорта, 2017. – 170 с.
2. Колос М. М., Гончар М. А. Совершенствование технологии работы белорусской железной дороги в условиях применения электронных документов // Наука та прогрес транспорту. – 2016 – №4.
3. Гончар М.А Совершенствование грузовой и коммерческой работы на белорусской железной дороге при переходе к электронному документообороту/ Актуальные проблемы науки и техники глазами молодых ученых: Материалы Международной научно-практической конференции. 2016.
4. Соколов Ю.И. Управление качеством продукции на железнодорожном транспорте. Учебное пособие, – М.: МИИТ, 2008. – 168 с.
5. Алферова, А. А. Оценка качества транспортного обслуживания на железнодорожном транспорте. Канд. диссерт.: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. - Москва, 2017. – 232 с.
6. Булавский П. Е. Оценка качества технической документации на системы ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 8.
7. Булавский П.Е., Марков Д.С., Крючков К.И. Оценка влияния качества технических документов на временные характеристики процесса электронного документооборота систем железнодорожной автоматики // Известия Петербургского университета путей сообщения – 2013. – № 1.
8. Арипов Н.М., Камалетдинов Ш.Ш. Моделирование процессов композитного документооборота в грузовых и коммерческих работах железных дорог Республики Узбекистан на основе сетевого планирования и управления // Известия Транссиба. –2018.–№ 2.
9. Инструкция по ведению стационарной коммерческой отчетности: ЦФ/3504 / М-во путей сообщ. СССР, Фин. упр. - Москва : Транспорт, 1979. - 158 с
10. Джулер А., Дрюниани Б. Креативные стратегии в рекламе. – СПб.: Питер, 2002.–384 с.

## Сведения об авторах:

**Арипов Назиржон Мукармович**, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

Адрес: ул. Адылходжаева., д. 1, Ташкент, 100167, Республика Узбекистан.

Тел.: +99890 933-10-93.

E-mail: aripov1110@gmail.com.

**Камалетдинов Шохрух Шухратович**, аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

Адрес: ул. Адылходжаева, д. 1, Ташкент, 100167, Республика Узбекистан.

Тел.: +99893 583-45-69.

E-mail: shaxr2107@bk.ru.

## ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» включен в новый ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидатов наук, на соискание ученой степени докторов наук (распоряжением Минобрнауки России № 21-р. от 12 февраля 2019 г.)

(Из Перечня ВАК по состоянию на 03.04.2019 года)

(Раздел «Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК) mgsu.ru»).

URL: [http://mgsu.ru/science/publikatsionnaya-aktivnost/Perechen\\_VAK\\_03042019\\_specialnosti.pdf](http://mgsu.ru/science/publikatsionnaya-aktivnost/Perechen_VAK_03042019_specialnosti.pdf)

№ п/п	Наименование издания	ISSN	Группы научных специальностей/научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым присуждаются ученые степени	Дата включения издания в Перечень
1458.	Научный информационный сборник "Транспорт: наука, техника, управление"	0236-1914	05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки), 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки), 05.22.08 – Управление процессами перевозки (технические науки), 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки), 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта (технические науки), 05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта, судовождение (технические науки), 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (экономические науки)	с 28.12.2018

В рецензируемом научном информационном сборнике «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» редакция традиционно публиковала статьи по группам научных специальностей. Тематика статей включает информационные технологии на транспорте, общие вопросы транспорта, логистику, железнодорожный, автомобильный, внутренний водный, морской, воздушный, трубопроводный, промышленный и городской транспорт, взаимодействие видов транспорта, смешанные перевозки грузов.

При этом следует иметь в виду, что согласно новым правилам в журналах, включенных в Перечень ВАК, для защиты диссертаций будут учитываться только статьи по уточненным научным специальностям, а не по группам специальностей. Поэтому авторам при подготовке статей с целью их последующего учета при защите диссертаций следует особое внимание уделять шифру научного направления и обязательно сверяться с новым Перечнем ВАК.

**Соискателю ученой степени важно знать:** Публикации по другим специальностям, не соответствующим специальности защищаемой диссертации, ВАК засчитывать НЕ будет.

Если статья была опубликована до 28 декабря 2018г. (т.е. до публикации обновленного перечня ВАК), статья будет засчитана.

Разъяснения по новым правилам имеются в сети Интернет. Раздел «Новые правила публикации статей в журналах из перечня ВАК». Например, URL: [originaldissertations.com/newjournals2019.php](http://originaldissertations.com/newjournals2019.php)

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ THE INFORMATION FOR AUTORS

### ПРАВИЛА

#### направления, опубликования и рецензирования научных статей

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к тематике журнала, соответствовать его научному уровню, обладать определенной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей журнала.

2. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к публикации не принимаются.

3. Редакционная коллегия, а также рецензенты принимают на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи.

4. Рукопись должна содержать постановку задачи, исследование, библиографические ссылки и выводы.

5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом не более одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, включая пробелы). Статьи принимаются в распечатанном виде и по электронной почте.

6. **Рукопись статьи должна быть представлена в следующем составе и последовательности:**

- перед названием статьи должно быть указан индекс УДК;  
- название статьи на русском языке, под ним – фамилия автора (авторов) с указанием учёной степени, звания, места работы или учёбы;

- название статьи на английском языке, под ним – в латинской транслитерации фамилия автора (авторов) и на английском языке указание учёной степени (например, Doctor (Tech.), Ph. D.(Econ.)), звания (например, Professor, Associate Professor), места работы или учёбы;

- ключевые слова на русском языке, под ними - ключевые слова на английском языке (не менее пяти слов) (курсивом);

- аннотация (краткий реферат) не более 10 строк на русском языке, под ней - аннотация на английском языке (курсивом);

- текст, напечатанный шрифтом Times New Roman, кегль 14, через полтора интервала, в одну колонку, с полями не менее 20 мм, с пронумерованными страницами, с указанием номеров рисунков, рисунками, подрисовочными подписями и необходимыми к ним пояснениями. **Все рисунки должны быть черно-белыми, без оттенков, четко выполненными.** Рукопись не должна содержать более 10 рисунков и 5 таблиц;

- список использованной литературы (библиография) - не менее десяти источников, желательно использование также зарубежных источников;

- сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы и (или) учебы (полностью), адрес учреждения (с почтовым индексом) (домашний адрес не указывается), контактные телефоны (в том числе мобильный), e-mail;

- подписи авторов с указанием даты отправки рукописи.

7. **Рукопись должна быть представлена также на электронном носителе** (в программе Microsoft Word, шрифт Times New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5, расположение в одну колонку).

Текст и каждый рисунок должны быть представлены отдельными файлами:

- текста статьи – в формате DOC или RTF, имя файла текста статьи должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации (например, Karpuhin.doc)

- рисунки – в одном из форматов: TIFF, JPEG, GIF, EPS. Имя файла каждого рисунка должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации, дополненного знаком «подчеркивание» и номером рисунка в статье (например, Karpuhin\_1.tif; Karpuhin\_2.tif и т.д.).

8. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение размеров шрифтов менее № 8 (за исключением индексов). Таблицы, рисунки и формулы являются частью текста и должны допускать электронное редактирование. Сложные математические формулы должны быть представлены как встроенные в Word объекты Microsoft Equation (Math Type).

9. Ссылки на литературу даются в порядке упоминания; в тексте номер ссылки ставится в квадратные скобки. Список использованных источников приводится в конце рукописи под заголовком «Литература». Библиографические описания в этом списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

10. **К рукописи статьи прилагается экспертное заключение** о возможности публикации статьи в открытой печати, заверенное подписью и печатью.

11. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. К рецензированию могут привлекаться члены Редакционной коллегии.

12. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию сборника соответствующего запроса.

**Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, редакцией не рассматриваются.**

13. Все публикации в сборнике бесплатные. Авторские экземпляры научных сборников заказываются за плату.

14. Полные тексты статей сборника публикуются с отставанием на 12 мес. с момента выхода из печати и находятся в свободном доступе на сайте ВИНТИ РАН (Раздел «Издания и продукты»). – URL: <http://www.viniti.ru/products/publications/pub-12187#issues>.

15. Полное содержание журнала и метаданные статей (по мере выхода) находятся в свободном доступе на сайте НЭБ. – URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1367223>

## **ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**предлагает научным работникам, аспирантам и другим специалистам в области естественных, точных и технических наук, желающим быстро и эффективно опубликовать результаты своей научной и научно-производственной деятельности, использовать способ публикации своих работ через *систему депонирования*.**

**Депонирование (передача на хранение)** – особый метод публикации научных работ (отдельных статей, обзоров, монографий, сборников научных трудов, материалов научных конференций, симпозиумов, съездов, семинаров), разрешенных в установленном порядке к открытому опубликованию.

Подготовка и передача на депонирование научных работ происходит в соответствии с «Инструкцией о порядке депонирования научных работ по естественным, техническим, социальным и гуманитарным наукам» (М., 2014).

Депонированные научные работы находятся на хранении в депозитарии ВИНИТИ РАН, копии работ предоставляются заинтересованным организациям и специалистам на бумажном и электронном носителях и являются официальной публикацией.

Информация о депонированных научных работах включается в информационные издания ВИНИТИ РАН: Реферативный журнал, Базу данных и Аннотированный библиографический указатель «Депонированные научные работы».

Направить научную работу на депонирование можно, обратившись в Группу депонирования ЦНИО ВИНИТИ РАН по адресу:

**125190, Москва, ул. Усиевича, 20.**

**ВИНИТИ РАН, Группа депонирования ЦНИО**

**Тел.: 499-155-43-28, 499-155-43-76, 499-155-42-43, Факс: 499-943-00-60,**

**E-mail: [cnio@viniti.ru](mailto:cnio@viniti.ru), [dep@viniti.ru](mailto:dep@viniti.ru)**

С инструкцией о порядке депонирования можно ознакомиться на сайте ВИНИТИ РАН:  
**<http://www.viniti.ru>**