

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

Издается с 1990 г.

№ 5

Москва 2020

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

СОДЕРЖАНИЕ

Вакуленко С.П., Насыбуллин А.М. Технические решения для обеспечения погрузочно-разгрузочных работ с грузовыми поездами на электрифицированном пути логистического терминала	3
Зенина Н.Н., Козырев В.А., Зенин Р.Е. Модель структуры формальных институтов транспортной компании	9
Зубков В.В., Сирина Н.Ф. Интеллектуализация управления транспортно-логистической системой	14
Гордеев Б.А., Охулков С.Н., Титов Д.Ю., Ермолаев А. И., Ваягин А.В. Расчёт параметров гидропоры методом электромеханического эквивалента с учетом	19
Лёвин С.Б., Поспелова Л.Н., Крутова А.Ю. Цифровые технологии при контейнерных перевозках	29
Колин А.В., Айсина Л.Р. Принципы определения оптимального расстояния между остановочными пунктами железнодорожного транспорта	32
Туранов Х.Т., Илесалиев Д.И. Исследование математической модели обеспечения вагонами зерноэлеваторов	37
Безруков Д.Д., Луканькин А.Д. Технология оптимального размещения грузов в вагонах высокоскоростных грузовых поездов	41
Сафиуллин Р.Н., Морозов Е.В. Методика обоснования технических требований и оценки характеристик измерительных средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта	47
Володькин П.П., Рыжова А.С., Архипов С.А. Транспортная доступность общественных автобусных перевозок на примере Владивостока	52
Рагимов Э.А. Экологические проблемы транспортных средств	57
Раткин Л.С. Система распределенных стеганографических реестров для управления и обеспечения кибербезопасности транспортного комплекса	62
Лозовецкий В.В., Лебедев В.В., Черкина В.М. Моделирование массообменных и теплообменных процессов в системах кондиционирования транспортных средств	66
Информация для авторов	72

CONTENTS

Vakulenko S.P., Nasybullin A.M. Technical solutions to ensure loading and unloading works with freight trains on the electrified way of the logistics terminal	3
Zenina N.N., Kozyrev V.A., Zenin R.E. Model of structure of formal institutions of the transport company	9
Zubkov V.V., Sirina N.F. Intellectualization of management of transport and logistics system	14
Gordeev B.A., Ohulkov S.N., Titov D.Yu., Ermolaev A.I., Vanyagin A.V. Calculation of hydraulic support parameters by electromechanical equivalent method taking into account the added mass of the liquid in the throttle channels	19
Lyovin S.B., Pospelova L.N., Krutova A.Yu. Digital container technology	29
Kolin A.V., Aysina L.R. Principles of determining the optimal distance between the stopping points of railway transport	32
Turanov Kh.T., Ilesaliev D.I. Research of the mathematical model of carriage of grain elevators.....	37
Bezrukov D.D., Lukankin A.D. Technology of optimal loading cargo in cars of high-speed cargo trains	41
Safiullin R.N., Morozov E.V. Methodology for substantiation of technical requirements and assessment of characteristics of measuring means of automated control of motion of vehicle transport.....	47
Volodkin P.P., Ryzhova A.S., Arkhipov S.A. Transportation accessibility of public bus transport on the example of Vladivostok	52
Ragimov E.A. Environmental problems of vehicles	57
Rathkeen L.S. A system of distributed steganographic registers for managing and ensuring cyber security of the transport complex	62
Lozovetsky V.V., Lebedev V.V., Cherkina V.M. Modeling of mass transfer and heat exchange processes in vehicle air conditioning systems	66
Information for authors	72

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СБОРНИКА

(по состоянию на 20.01.2020 г.)

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

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

**ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ
С ГРУЗОВЫМИ ПОЕЗДАМИ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОМ ПУТИ
ЛОГИСТИЧЕСКОГО ТЕРМИНАЛА**

Кандидат техн. наук, профессор **Вакуленко С.П.**,
аспирант **Насыбуллин А.М.**
(Российского университета транспорта. РУТ - МИИТ)

**TECHNICAL SOLUTIONS TO ENSURE LOADING AND UNLOADING WORKS
WITH FREIGHT TRAINS ON THE ELECTRIFIED WAY
OF THE LOGISTICS TERMINAL**

Ph.D. (Tech)., Professor **Vakulenko S.P.**,
Post-graduate **Nasybullin A.M.**
(Russian University of Transport. MIIT)

Перевозка грузов, ускоренная, грузовой поезд постоянного формирования, высокодоходные грузы, грузовые операции на электрифицированном пути, грузовой экспресс, мультисистемные локомотивы, отводная контактная шина.

Cargo transportation, accelerated, permanent freight train, high-yield cargo, freight operations on an electrified track, freight Express, multi-system locomotives, moveable catenary system.

Статья описывает проблему обеспечения выполнения грузовых операций на электрифицированном приёмо-отправочном пути грузового терминала. Учитывая зарубежный опыт Германии, Японии и Южной Кореи, предложен ряд мероприятий для осуществления грузовых операций без отцепки вагонов от состава. На основании теоретического исследования выделяются и описываются характерные особенности предложенных мероприятий. Исследование может быть полезно при выборе технико-технологических решений при организации ускоренных железнодорожных грузовых перевозок.

The article describes the problem of ensuring the performance of cargo operations on the electrified receiving and sending path of the cargo terminal. Taking into account the foreign experience of Germany, Japan and South Korea, a number of measures are proposed for carrying out cargo operations without uncoupling cars from the train. Based on the theoretical research, the characteristic features of the proposed measures are identified and described. The article can be useful when choosing technical and technological solutions for the organization of accelerated rail freight transport.

Существующие тенденции на рынке транспортных услуг России диктуют для железных дорог необходимость в поиске новых решений для перевозки высокодоходных грузов. Так, в период с 1991-2019 г. доля грузовых перевозок железнодорожным транспортом, в общем объёме перевозок всеми видами транспорта, не демонстрирует роста. Всё чаще грузовладельцы и транспортно-экспедиторские компании выбирают альтернативу железнодорожному транспорту, предпочитая перевозку автотранспортом.

Сдерживающими факторами в конкурентной борьбе в коридоре 400-1500 км. являются скорость доставки, сложность выполнения подготовительных и начально-конечных операций, надёжность, гибкость и комплексность перевозки грузов.

С целью привлечения высокодоходных грузов на железнодорожный транспорт ученые транспортной отрасли приходят к единому мнению о целесообразности и эффективности запуска ускоренных грузовых поездов постоянной составности с возможностью осуществления грузовых операций на промежуточных станциях без изменения схемы поезда [1- 7].

Основной идеологией в обращении данных поездов является движение по согласованным временам прибытия и отправления, с выгрузкой и погрузкой грузов на

боковом приёмо-отправочном пути «промежуточных» станций (терминалов) в сочетании с ускоренным перегрузочным процессом.

Первые упоминания об эффективности организации подобных перевозок были опубликованы в 1940 г. В.В. Повороженко [7]. Однако до настоящего времени предложения так и не были реализованы.

На сегодняшний день для запуска рассматриваемых перевозок, за исключением концептуальных вопросов, не изучены, не разработаны и не предложены технико-технологические решения. Из-за отсутствия на территории РФ подобных перевозок не достаточно изучена возможность осуществления погрузочно-разгрузочных операций с контейнерами (и/или съёмными кузовами) на электрифицированном пути логистического терминала.

С целью выполнения рациональных погрузочно-разгрузочных операций с учетом высоких требований обеспечения безопасности при нахождении на электрифицированном пути авторы настоящей работы рассматривают следующие решения:

1 - использование анкерной контактной сети в пределах всей длины погрузочно-разгрузочного пути с оборудованием контактной сети секционными изоляторами;

2 - использование автоматического шинопровода контактной сети;

3 - отказ от использования контактной сети на логистическом терминале (заезд поезда по инерции, за счёт распределенной тяги и т.п.).

1. Применение анкерной контактной сети в пределах всей длины погрузочно-разгрузочного пути с оборудованием контактной сети секционными изоляторами

На первый взгляд, рациональным решением обеспечения безопасных погрузочно-разгрузочных операций на электрифицированном пути логистического терминала является обесточивание контактной сети. При этом полное обесточивание контактной сети анкерного типа предусматривает дополнительные временные затраты, связанные с закреплением состава, что в условиях ускорения перевозочного процесса не эффективно. В связи с этим для исключения потребности в закреплении состава предлагается (в пределах грузового фронта) выделение специального участка контактной сети секционными изоляторами. Секционирование позволит обеспечить выделение участка пути для локомотива под напряжением и обесточенного участка грузового фронта для соблюдения условий безопасности при выполнении грузовых операций.

На рисунке 1 представлена концептуальная схема секционирования контактной сети грузового фронта.



Рис. 1. Концептуальная схема секционирования контактной сети грузового фронта

При реализации предлагаемых мероприятий снижается вероятность поражения персонала электрическим током, однако существует риск с нарушением целостности устройств контактной сети анкерного типа.

В свою очередь, для гарантированной защиты опор и контактной сети необходимо применять механическую, в т.ч. программную защиту частей контактной сети от повреждения погрузчиком. Для механической защиты контактной сети допускается применять габаритную консоль в местах верхнего очертания габарита приближения строений. Консоль должна располагаться по всей длине погрузочно-разгрузочного пути грузового фронта, иметь покрытие из изоляционного материала или изоляторы. С целью снижения нагрузки на опоры контактной сети допускается монтировать консоль на самостоятельных опорах. Для устранения возможности повреждения подвижного состава при выполнении грузовых операций, грузовой фронт (в районе нижнего очертания габарита приближения строений) предлагается оборудовать специализированными барьерами.

На рис. 2 представлено концептуальное изображение защитных устройств контактной сети анкерного типа.

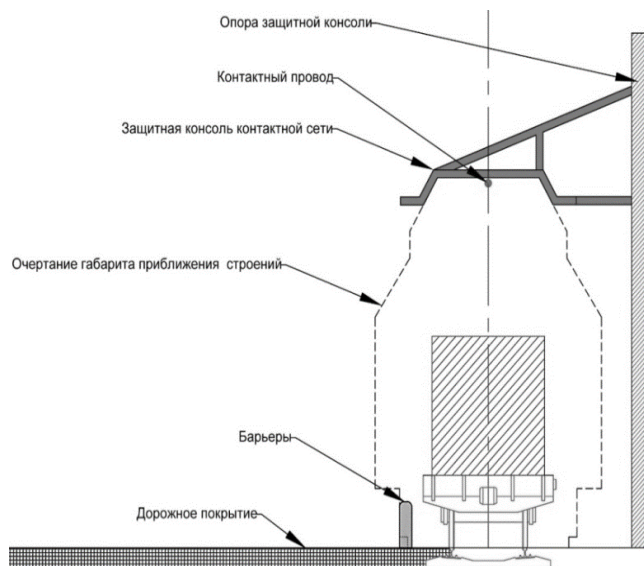


Рис. 2. Концептуальная схема размещения устройств, обеспечивающих безопасность погрузочно-разгрузочных работ

Применение данного технического оснащения снижает вариативность применения погрузочно-разгрузочных машин. Для работы под анкерной контактной сетью должна использоваться специализированная погрузочно-разгрузочная техника, обеспечивающая минимальный вертикальный вынос грузозахвата от крыши контейнера при съёме и установке контейнера на вагон.

Наиболее приемлемыми средствами механизации являются вилочный погрузчик или специализированный перегружатель, предназначенный для штабелирования контейнеров в один ряд. Однако применение вилочного погрузчика требует наличие контейнерных «карманов» для их захвата, что ограничивают сферу применения подобной техники.

С целью минимизации влияния человеческого фактора, для обеспечения комплексной безопасности, предлагается оборудовать ПРМ специальными устройствами, которые при необходимости будут задавать программное ограничение в их действиях.

Грузовой фронт также должен быть оборудован светозвуковой сигнализацией, однозначно указывающей на наличие или отсутствие напряжения в контактной сети.

Среди зарубежного опыта осуществления грузовых операций под контактным проводом анкерного типа стоит выделить Южнокорейский опыт, в котором

грузовые операции выполняются без механической защиты контактной сети. Применение Корейского опыта на территории РФ в условиях высоких требований к обеспечению безопасности весьма ограничено.

2. Использование автоматического шинопровода контактной сети

В данном варианте для восполнения условия безопасности грузовых операций с контейнерами и исключения возможности повреждения контактной сети анкерного типа допускается применять специализированную систему токосъема с автоматической отводной контактной шиной.

Такая контактная сеть может иметь два положения: нормальное и грузовое.

В нормальном положении шина контактного провода находится над осью железнодорожного пути и запитана электроэнергией, а в грузовом режиме шина убрана за пределы габарита подвижного состава и обесточена.

Система автоматического шинопровода контактной сети включает в себя: жесткую штангу, контактный рельс, тяговый привод, зажимы, изменяющие положение, и т.д. (рис. 3).

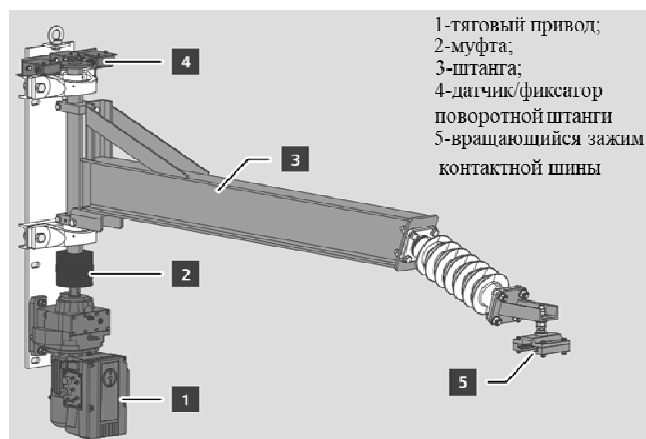


Рис. 3. Схема поворотной штанги отводного контактного шинопровода

Применение автоматического шинопровода контактной сети обеспечит прием поезда на грузовой фронт с использованием электрической тяги, а также предоставит возможность выполнения погрузочно-разгрузочных работ с учетом требований безопасности (рис. 4).

Для потребления электроэнергии для собственных нужд локомотива и нужд поезда во время грузовых операций ползотокоеприемника должен находиться на специализированном неотводном участке. Поэтому вся система отводного шинопровода должна иметь специализированный участок перехода с анкерного контактного провода на системы жесткого отводного контактного шинопровода.

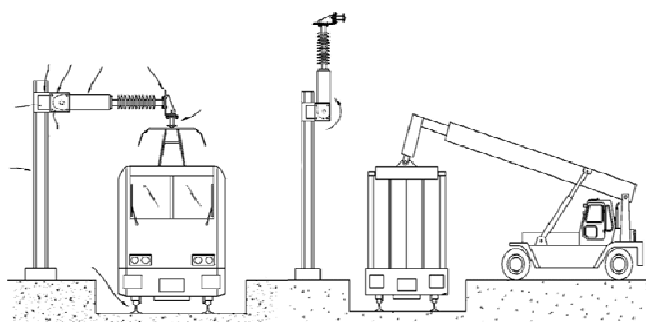


Рис. 4. Концептуальная схема расположения подвижного состава на погрузочно-разгрузочном пути, оборудованном отводным контактным шинопроводом

Среди зарубежного опыта, использование подобного отводного контактного шинопровода можно отметить на опытных контейнерных терминалах в Южной Корее [8].

Устройства отводных контактных шинопроводов применяют на территории России в современных моторвагонных депо Санкт-Петербурга и Москвы (станции Металлострой и Подмосковная) с целью сокращения затрат и времени на маневровые операции локомотивами и обеспечения требований безопасности при осмотре и ремонте всех частей составов.

Стоит отметить, что, несмотря на обеспечение оптимальных условий эксплуатации погрузочно-разгрузочного фронта, система отводной контактной шины характеризуется трудностью эксплуатации. Работоспособность системы отводного контактного шинопровода должна быть обеспечена во всем диапазоне температур наружного воздуха соответствующей климатической зоны, в которой расположен логистический терминал.

При использовании отводного контактного шинопровода может использоваться любая универсальная мобильная погрузочно-разгрузочная техника.

3. Отказ от использования контактной сети

В работе, для однозначного решения вопросов обеспечения безопасности, также рассматривается выборочное использование или полный отказ от контактной сети.

3.1 Выборочное использование контактной сети анкерного типа

Выборочное использование контактной сети предполагает частичный отказ от электрификации путей грузовых терминалов. Подобные решения применимы при потребности приема поезда с электрифицированного участка и проведении грузовых операций широкой номенклатурой техники без отцепки локомотивов от составов. С целью обеспечения условий питания электроэнергией локомотива и состава поезда место стоянки локомотива должно быть оборудовано участком контактной сети.

В рамках частичного отказа рассматривается два варианта прибытия поезда на путь погрузки и выгрузки.

1 вариант

Для выполнения условий прибытия поезда на грузовой фронт своей тягой, отсутствующий участок контактной сети поезд проследует с опущенными токоприёмниками с помощью накопленной кинетической энергии, то есть по инерции (накатом). Питание электровоза от контактной сети становится возможным после пересечения границы не электрифицированного участка (рис. 5).

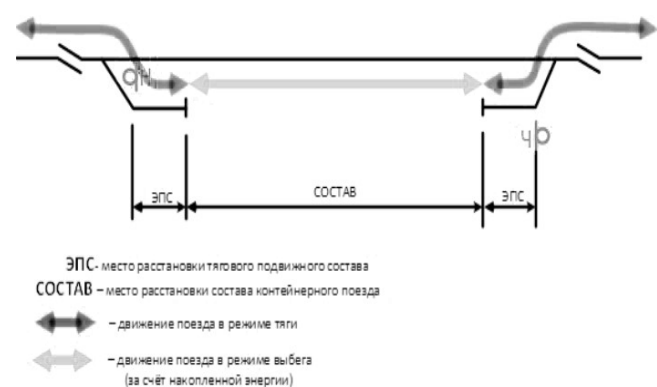


Рис. 5. Концептуальное изображение маршрута движения грузового поезда при выборочном использовании контактной сети анкерного типа

Использование данного варианта наиболее целесообразно для крупных контейнерных терминалов, оснащение которых отводной шиной контактного провода нецелесообразно.

В случае принятия решения о целесообразности выборочного использования контактной сети анкерного типа на грузовых фронтах ОАО «РЖД», необходимо

принять во внимание, что требование к скорости прибытия поезда и длине участка, свободного от контактной сети, должно быть подтверждено обосновывающими расчетами. Использование данной схемы работы терминала может быть предусмотрено технологией при получении согласования от перевозчика (Дирекции тяги ОАО «РЖД» или другой организации) и обучения локомотивных бригад.

Для станций, расположенных непосредственно на железнодорожных участках с интенсивным движением поездов, должно учитываться возможное перекрытие горловины станции поездом в связи с преждевременным срабатыванием автотормозов.

На случай остановки электровоза на участке без контактной сети может быть предусмотрено использование станционных маневровых локомотивов или специального шинопровода, обеспечивающего питание электроэнергией локомотива.

Среди зарубежного опыта применения выборочного использования контактной сети анкерного типа на логистических терминалах можно отметить немецкий терминал «DUSS - Terminal München-Riem».

2 вариант

Данный вариант, аналогично первому, предусматривает отсутствие контактной сети в пределах полезной длины грузового фронта.

Для обеспечения приёма поезда на рассматриваемый путь предлагается применение распределённой тяги по составу - системы «тяги-толкай». Другими словами, в составе грузового поезда постоянного формирования по двум его концам будет находиться по одной секции локомотива.

Для выполнения условий прибытия поезда на грузовой фронт своей тягой отсутствующий участок контактной сети поезд проследует с учетом питания от контактной сети хвостовым, а отправление – головным локомотивом.

Во время выполнения грузовых операций, локомотивы должны находиться на участках пути, оборудованных специализированной контактной сетью. При этом для выполнения условий нахождения локомотивов под участком контактной сети длина поезда долж-

на удовлетворять полезной длине погрузочно-разгрузочного пути.

При расположении электровозов по концам состава необходимо предусмотреть модульность управления секциями из ведущего локомотива. Модульность обеспечит исключение сильных продольных сжимающих усилий при ускорении и торможении за счет распределения тяги. Тем самым обеспечится снижение нагрузки на автосцепные устройства и рамы вагонов, наилучшее использование рекуперативного торможения (благодаря распределению сил сцепления по составу), а также ускорение работы классического фрикционного (пневматического) торможения посредством создания «воздушной волны» с двух концов состава [9].

В случае несинхронности работы локомотивов стоит отметить необходимость выполнения расчётов и проведения испытаний с проверкой на выдавливание лёгких порожних платформ в кривых, а также при работе исключительно хвостовой секции. При курсировании полноразмерных поездов (57 и 71 усл. вагонов) требуются дополнительные расчеты и испытания для создания специальной технологии вождения локомотивными бригадами.

Наличие локомотивов по концам составов, функционирующих по модульной системе, накладывает ограничение на смену локомотивов в пунктах стыкования родов токов. В связи с этим применяемые локомотивы (в голове и хвосте поезда) должны быть оборудованы устройствами, позволяющими движение по железнодорожным участкам, оборудованным переменным и постоянным током.

Примером рассматриваемого локомотива являются российский опытный двухсистемный электровоз 2ЭВ120 или пассажирский электровоз ЭП20, а также проектный электровоз 2ЭС20.

Наиболее близким примером реализации подобной тяги на территории РФ являются электропоезда ЭД1 и ЭД4ДК, ведомые по обоим концам состава двумя секциями электровоза ВЛ80с или ВЛ10 [10].

Среди зарубежного опыта эксплуатации подобных поездов с распределенной тягой можно выделить японский грузовой поезд «SuperRailCargo» M250, который с 2004 года используется для перевозки контейнеров на маршруте Токио – Осака (рис. 6) [11].

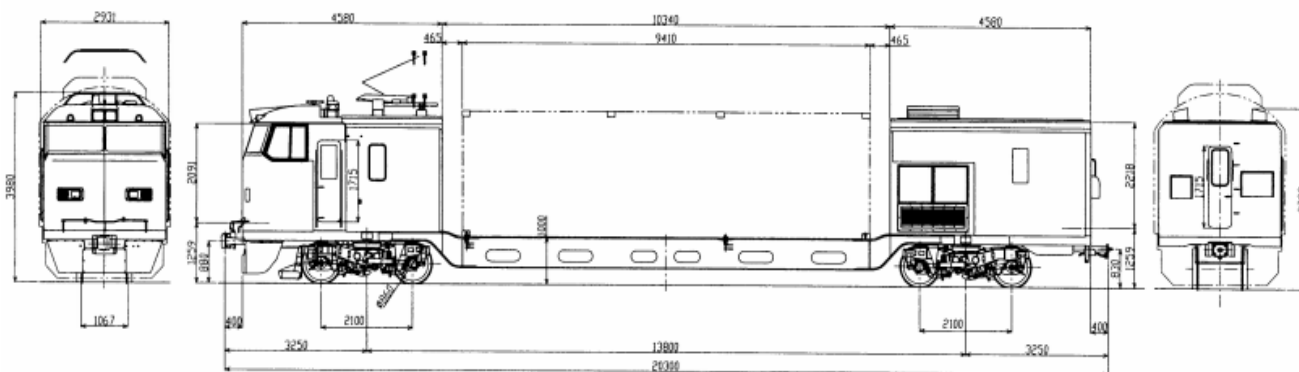


Рис.6. Схема вагона контейнерного поезда с распределенной тягой

3.2 Полный отказ от контактной сети

При полном отказе от использования контактной сети в пределах логистического терминала предлагается применять в качестве тяговой единицы мультисистемные локомотивы. Они могут обеспечить перевозный процесс, используя разные системы электроснабжения (переменный и постоянный ток). При этом для бесперебойной работы на участках, не имеющих электрификацию, локомотивы могут быть оснащены дизель-генераторным модулем.

Использование мультисистемного локомотива для курсирующих поездов с постоянной составностью может обеспечить выполнение грузовых операций на любых логистических терминалах (электрифицированных и не электрифицированных) без отцепки и с учетом требований безопасности. В случае необходимости мультисистемный локомотив может курсировать на не электрифицированных участках без его замены.

Среди зарубежных мультисистемных локомотивов можно выделить локомотив «VectronDualMode» [12], произведенный компанией Siemens, с конструкционной скоростью 160 км/ч. Локомотив оборудован дизель-генераторной установкой мощностью 2000 кВт. Запас дизельного топлива составляет 2500 литров. Производитель заявляет, что эксплуатация локомотива в режиме ДГУ позиционируется как «гибридный локомотив», технические возможности которого позволяют проследовать в данном режиме 20% маршрута.

В качестве примера отечественного локомотива на сети железных дорог РФ можно отметить опытный мультисистемный локомотив 2ЭВ120 «Князь Владимир». Локомотив может курсировать на переменном 25кВ и постоянном токе 3кВ, 50Гц, а также оборудован компактным ДГМ на каждой из секций, мощностью до 500 кВт.

Локомотив 2ЭВ120 спроектирован на базе мультисистемного локомотива BOMBARDIER TRAXX AC, особенностью которого является предусмотренная функция LastMile, позволяющая выполнять маневровые операции на не электрифицированных путях.

Стоит отметить, что применение мультисистемных локомотивов на территории железных дорог России требует дополнительных обоснований на предмет использования маломощных ДГУ в грузовых поездах, содержание дополнительного, универсального штата локомотивных бригад, имеющего допуск к управлению локомотивами на постоянном и переменном токе, а также тепловозной тяге.

Выводы

Для обеспечения условий совмещения процессов погрузки-выгрузки и питания электровоза, необходимо применение одного из предлагаемых технических решений: отводной шины контактного провода, применения секционных изоляторов и отказа от контактного провода в зоне проведения погрузки-выгрузки.

Применение секционных изоляторов с совместной защитной консолью характеризуется металлоёмкостью и трудоёмкостью монтажа, при этом из-за особенностей выполнения грузовых операций ограничивается сфера применения узкоспециализированной погрузочно-разгрузочной техники.

Наиболее предпочтительным вариантом оснащения станции, позволяющим производить погрузочно-разгрузочные работы без расформирования состава, является участок, свободный от контактной сети (DUSS - Terminal München - Riem – в качестве примера реализации подобного мероприятия). Стоит отметить, что данный вариант требует меньших капитальных и эксплуатационных затрат по сравнению с другими.

Исходя из местных условий некоторые станции, на которых невозможно проследование поезда по участку, свободному от контактной сети, под действием кинетической энергии, могут быть оборудованы системой отводной шины контактного провода. При этом рациональность оснащения станции должна быть экономически и технологически обоснована.

При переходе к новой правовой модели реализации проекта, предусматривающей владение единым собственником как тяговым, так и не тяговым подвижным составом, имеет смысл использовать мультисистемный тяговый подвижной состав или подвижной состав с распределённой тягой («тяни-толкай»), который позволяет решать полный спектр вопросов, связанных с обеспечением погрузки-выгрузки на электрифицированных железнодорожных путях.

Во всех случаях необходимо дополнительно произвести технико-экономические расчеты при принятии решения о целесообразности рассмотренных решений.

Литература

1. Вакуленко С.П. Новая технология ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, М.Н. Прокофьев // Транспорт РФ. – 2014. - № 2 (51). - С.20-25.
2. Прокофьев М.Н. Совершенствование технологии ускоренных грузовых перевозок железнодорожным транспортом / Дисс. канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – 182с.
3. Прокофьев М.Н. Маршрутная сеть ускоренных перевозок // Мир транспорта. - 2010. - № 5. – С. 78-83.
4. Колин А.В. Возможности скоростной перевозки грузов / А.В. Колин, В.А. Котов // Железнодорожный транспорт. - 2008. - №3. – С. 20–23.
5. Колин А. В. Скоростные грузоперевозки // Газета Гудок. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=717214>.
6. Колин А.В., Насыбуллин А.М., Айсина Л.Р. Скоростные грузовые поезда постоянного формирования на линии Москва–Казань // Вестник транспорта. - 2016. - № 10.
7. Повороженко В.В. Организация грузовой работы промежуточных станций и движения сборных поездов. // Москва 1940. –168 с.
8. Soon-Dal, Park Seong-Cheol, KimSang-Woon Byun. The world's first domestic development of movable rigid catenary system for container yards // Journal of Korean society for urban Railway. 2017. - Vol.5. No4. – P.1045-1051.
9. Зайцев А.А., Троицкий П.С. Моторвагонные грузовые электропоезда – альтернатива локомотивной тяге. Сравнение и анализ // Мир транспорта. - 2019. - Том 17, № 3. – С. 72–81.

10. Лещев А.И., Кошкина Н.В., Солтус К.П. Электropоезд ЭД1 с локомотивной тягой. Проблемы развития рельсового транспорта // IX Международная научно-техническая конференция. Тезисы докладов. — Крым, Алушта, 1999. — С. 38–39.

11. Asakura K., Nakagawa T. Development of Series M 250 Freight Electric Multiple - Unit // Journal - Institute of Electrical Engineers of Japan №125. 2005. — P. 288 - 291.

12. Компания Siemens представила локомотив Vectron с комбинированным приводом [Электронный ресурс] // Официальный сайт журнала «Железные дороги мира». - [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.zdmira.com/news/kompaniasiemenspredstavila-lokomotivvectronskombinirovannymprivodom>

Сведения об авторах

Вакуленко Сергей Петрович, профессор, к.т.н., директор Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (МИИТ),

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

Тел. +7(499) 972-34-19

E-mail: post-iuit@bk.ru.

Насыбуллин Айрат Марсович, аспирант (шифр специальности 05.22.08), ассистент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (МИИТ),

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

Тел. +7(495)6842120 (доб.3793), моб. +7-906-052-60-05

E-mail: nasybullin.airat@mail.ru.

МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ФОРМАЛЬНЫХ ИНСТИТУТОВ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

Кандидат экон. наук, доцент **Зенина Н.Н.**,
доктор техн. наук, профессор **Козырев В.А.**,
аспирант **Зенин Р.Е.**
(Российский университет транспорта. РУТ - МИИТ)

MODEL OF STRUCTURE OF FORMAL INSTITUTIONS OF THE TRANSPORT COMPANY

Ph.D. (Econ.), Associate Professor **Zenina N. N.**,
Doctor (Tech.), Professor **Kozyrev V. A.**,
Post -graduate Student **Zenin R. E.**
(Russian University of Transport. RUT - MIIT)

Формальный институт, регламент, модель, ОАО «РЖД».

Formal institution, rules, model, JSC "Russian Railways".

В статье представлен анализ теоретических подходов к оценке качества институтов организации. Предлагается использовать для оценки качества института модель структуры института. Приведены результаты апробации модели при оценке качества регламентов по управлению персоналом в ОАО «РЖД».

The article presents an analysis of theoretical approaches to assessing the quality of institutions of the organization. It is proposed to use the model of the Institute structure to assess the quality of the Institute. The results of approbation of the model in assessing the quality of regulations on personnel management in JSC "RZD" are presented.

Введение

Железнодорожный транспорт России с 2003 года находится в состоянии реформирования. В 2003 году была создана крупнейшая транспортная компания мира - Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). За шестнадцать лет произошли значительные изменения в производственной структуре компании. Выведены в дочерние общества услуги перевозки - контейнерные, пассажирские, грузовые. Продолжается перевод на аутсорсинг бизнес-процессов как вспомогательных, так и основных. Преобразована организационная структура ОАО «РЖД» из линейно-функциональной в матричную, в которой региональные органы управления перевозками - Региональные центры корпоративного управления (РЦКУ) - дополнены функциональными филиалами. В организации производится планомерное сокращение персонала линейных предприятий ОАО «РЖД», что изменяет взаимодействие в организации, вызывает необходимость перераспределения функций и, как результат, - рост напряженности труда.

Как отмечают Бланчад О. и Кремер М. в работе «Дезорганизация», всякая трансформация приводит к дезорганизации системы, усугубляя издержки адаптации [1]. О причинах дезорганизации и путях ее преодоления пишет российский исследователь А.И. Пригожин [2]. Он подчеркивает, что для снижения дезорганизации, следовательно, и уровня вариативности основное значение имеют характеристики регламентов деятельности компании. Регламент – документ, фиксирующий рациональные методы и правила деятельности подразделений организации, приводящие к достижению целей организации.

Регламент имеет вложенные характеристики с точки зрения инструмента управления. Положительной его характеристикой является способность стабилизировать и упорядочивать принятие рутинных решений и сокращать затраты на их выработку. Однако он основывается на прошлом опыте организации и игнорирует современное состояние среды, а потому адаптивность организации снижается. Ярким примером негативных характеристик регламентации является «итальянская забастовка» - саботаж в форме выполнения сотрудниками только предусмотренной регламентами работы. Результатом является невозможность эффективного осуществления текущей деятельности организации.

В ИСО 9000 описан рекомендуемый выход из этого организационного тупика. В соответствии с ИСО 9000 все процессы, касающиеся качества продукта, должны быть регламентированы, но необходима периодическая актуализация таких регламентов с рекомендуемым периодом в три месяца [3].

Процедура согласования и утверждения новых регламентов в ОАО «РЖД» занимает важное место, она значительно длительнее по времени, так как структура компании многоуровневая и сложная. В «Автоматизированной системе правовой информации на железнодорожном транспорте» (БД АСПИЖТ) содержится тридцать пять тысяч документов. Устаревший регламент не может выполнить свою основную задачу – упорядочивание деятельности организации. Ответ зависит от возможности изменения регламента для регулирования деятельности организации в соответствии с текущей ситуацией. Именно эта его способность определяет качество регламента. Оценка качества регламента имеет ключевое значение для определения эффективности управления организацией.

В работе представлена методика оценки качества института с позиций новой институциональной экономической теории.

Теоретические подходы к измерению институтов

Формирование, трансформация и взаимодействие институтов в рамках отдельной фирмы рассмотрены в работах лауреата Нобелевской премии О. Уильямсона. Им выстроена схема правил, актуальная для любых социальных систем, включающая институциональное соглашение и институциональную среду, а также индивида. Как следует из данной схемы, регламент является экономическим институтом, т.е. таким институтом, который непосредственно определяет форму организации хозяйственной деятельности, в рамках которых экономические агенты принимают решения об использовании ресурсов организации и взаимодействуют между собой.

Эти характеристики позволяют нам рассматривать регламент как формальный экономический институт. «Формальный институт», как понятие, в научной литературе является объектом дискуссии. Коллектив авторов под руководством А.А. Аузана считает, что основная характеристика формального института заключается в том, что принуждение правила к исполнению является специализированной деятельностью гаранта [4]. Мы разделяем позицию Д. Норта: «Институты представляют собой сконструированные людьми ограничения, которые структурируют человеческие взаимодействия. Они состоят из формальных ограничений (например, правил, законов, конституций), неформальных ограничений (например, норм поведения, конвенций, самоустанавливающихся кодексов поведения) и механизмов принуждения их к исполнению» [5]. Из данного определения следует, что формальным является институт, имеющий форму документа, зафиксированный письменно и утвержденный в установленном в организации порядке.

Научная дискуссия развернулась и по вопросу выбора методов оценки и описания институтов.

Возможно, транзакционные издержки могли бы стать наиболее объективной количественной мерой института, это позволило бы проводить сравнительный анализ институтов и иметь основу для институционального выбора. Этот подход обосновал Р. Коуз еще в 30-х годах прошлого века и впоследствии его развивал О. Уильямсон. Вместе с тем, отсутствие надежных методов измерения транзакционных издержек сдерживает развитие этого подхода.

Тамбовцев В.Л., рассматривая вопрос измерения институтов, отмечает, что существуют явные и неявные описания институтов. Попов Е. В., развивая эту мысль, пишет: «Для неявных описаний характерны функциональные количественные зависимости между издержками на функционирование института и выгодами, которые порождает его действие. Математический аппарат дифференциального исчисления и формальные модели теории игр являются в институциональной экономике базовыми методами анализа и прогнозирования институциональных изменений. К особому виду исследований институтов...следует отнести их социологические и семиотические описания» [6]. Автор, таким образом, противопоставляет математические методы оценки институтов и экспертные методы. Следует

отметить настойчивые попытки исследователей абстрагироваться от влияния человеческого фактора в оценке институтов и таким образом снизить уровень неопределенности. Однако мы считаем, что в вопросе оценки правил взаимодействия субъектов приоритетный характер имеет именно их мнение. Известно, что одни и те же институты в разных социальных группах дают совершенно противоположные результаты.

Базовые принципы оценки институтов, которые получили положительную оценку научного сообщества, разработал Voigt S. Он отмечает [7]:

1 - измерители институтов должны относиться к отдельным институтам, поскольку такие агрегатные меры, как «верховенство права», слишком широки и расплывчаты, чтобы содержать осмысленную информацию;

2 - необходимо всегда различать измерения институтов как формально специфицированных в законодательстве (*de jure*) и как фактически функционирующих (*de facto*);

3 - объективные оценки измерителей в целом предпочтительнее субъективных.

На государственном и региональном уровнях используются в большей степени различные рейтинговые оценки правил взаимодействия. Рейтинговые оценки исходят из того, что возможны формальные (процедурные) институты, которые определяют наличие или отсутствие каких-либо законодательных актов, регулирующих органов, официально закрепленных процедур, и т.д. Другая возможность сравнения институтов заключается в применении содержательных (субстантивных) индексов - иначе, оценок внешних экспертов на основании их мнения, опыта, способности сравнения качества институтов в различных регионах, а также пользователей институтов (например, граждан, предпринимателей, администраторов). В настоящее время в политической и экономической практике используются десятки индикаторов, разрабатываемых аналитическими центрами, рейтинговыми агентствами, группами ученых и международными организациями. Все они являются объектами для критики. В [8] мы проводим критический анализ современных подходов к анализу институтов организации.

Модель формального института

В настоящей работе предлагается использовать структурный подход к оценке качества регламента как формального института транспортной компании. Методологической основой данного подхода являются социологические подходы к исследованию процессов и явлений [9] и статистические методы обработки данных [10].

В структуре института выделяют следующие элементы:

- ситуация Y , в которой действует правило и определяющие условия его выполнения;
- адресат I , т.е. индивид или группа индивидов, к которым относится правило;
- правило A , запрещающее, разрешающее или предписываемое;
- санкции S , накладываемые на адресата за неисполнение правила;
- гарант санкций G - субъект, применяющий санкции к адресатам, нарушающим правила.

Представим качество института как функцию на основании того, что существует прямая зависимость этого параметра от составляющих его переменных элементов:

$$R = f(Y; I; A; S; G), \quad (1)$$

где R - качество регламента или формального института.

Функция может быть представлена как линейная зависимость от перечисленных выше переменных. Тогда она может иметь следующий вид:

$$R = \alpha_1 Y + \alpha_2 I + \alpha_3 A + \alpha_4 S + \alpha_5 G, \quad (2)$$

где: α_i - вес влияния фактора.

При этом

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 = 1 \quad (3)$$

Весовые коэффициенты выделенных факторов определяются экспертным методом. В результате, построена эконометрическая модель, которая обеспечивает оценку качества регламента через оценку качества его элементов.

Апробация модели формального института

Данная модель была использована для оценки регламентов управления персоналом Московской железной дороги.

В результате реформы ОАО «РЖД» структура Московской железной дороги в 2019 году включает 15 региональных дирекций. Численность работников Московской железной дороги на 1 января 2018 г. составляла 6487 чел. Численность персонала линейных предприятий, структурных подразделений, филиалов ОАО «РЖД», действующих в границах Московской железной дороги, составляла 77391 чел.

В результате реформирования ОАО «РЖД», функции Московской железной дороги в общей системе управления радикально поменялись. Это повлекло пересмотр всей системы регламентов. Новые регламенты по управлению персоналом были утверждены в 2014 году. В ОАО «РЖД» разработана процессная модель управления персоналом, в которую включены девять бизнес-процессов. На каждый бизнес-процесс разработаны схемы взаимодействия и регламенты.

Для апробации структурной модели оценки регламента, авторы статьи исследовали регламент взаимодействия по процессу №2 «Обеспечение персоналом».

Процесс «Обеспечение персоналом» ОАО «РЖД» включает взаимодействие:

- Корпоративного университета – обеспечивает инструменты оценки и методологию оценки персонала.

- Общего центра обслуживания (ОЦО) или регионального центра обслуживания (ОЦО р) – производят выплаты в рамках бюджетных лимитов.

- Департамента экономики (ЦЭУ) и корпоративных финансов (ЦФ) – определяют бюджетные лимиты.

- Подразделения аппарата управления (АУ), структурных подразделений филиалов в регионе (СПФР), региональных центров корпоративного управления (РЦКУ), функциональных филиалов (ФФ), линейных предприятий (ЛП) – обеспечивают наём и отбор персонала, планирование, управление миграцией сотрудников и кадровым резервом.

- Департамента управления персоналом компании (ЦКАДР) – определяет целевые параметры и стандарты по обеспечению персоналом.

В соответствии с распоряжением руководителя ОАО «РЖД», которым был введен в действие, рассматриваемый регламент, порядок выполнения процесса «Обеспечение персоналом» обязателен для исполнения всеми участниками процесса во всех филиалах, а также в структурных подразделениях ОАО «РЖД». Для оценки настоящего формального института была выполнена выборка функций, закрепленных в Регламенте за РЦКУ «Московская железная дорога».

Первый этап оценки качества регламента сводится к осуществлению экспертного опроса. В состав экспертной группы были включены работники службы управления персоналом Московской железной дороги в составе 9 человек, а также руководители структурных подразделений управления персоналом линейных предприятий Московской железной дороги в составе 15 человек.

Опрос осуществлялся в два этапа. Первый этап - оценка степени выполнения регламента. Высокая степень выполнения регламента характеризуется диапазоном от 80 до 100%, средний уровень оценивается от 50 до 80%, низкий уровень оценки - от 30 до 50%; регламент не выполняется - ниже 30%.

Из 34 функций Регламента управления персоналом были выполнены только 11 функций, что оценивается только на 34%. По шкале, приведенной выше, это соответствует низкой степени выполнения регламента. При этом 7 из 11 функций выполняются только на уровне службы управления персоналом. Только 4 функции из 34 выполняются на уровне линейных предприятий, Оценка степени их выполнения регламента составляет 16,4%, - это самый низкий уровень оценки регламента.

На втором этапе в экспертном опросе выявлялась степень влияния на уровень качества регламента каждого из пяти вышеперечисленных факторов, включенных в структурную модель формального института (2). Такой анализ проводился для выявления точек «блокировки», что позволяет осуществить перепроектирование института. Для анализа выборки использовались статистические методы, а именно, показатели средних взвешенных оценок, дисперсии, среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации.

Адекватность проведенного выборочного исследования подтверждает значение коэффициента вариации по всем факторам, которое оказалось меньше 0,4 (от 0,133 до 0,268). Это позволяет сделать вывод, что мнения экспертов практически не расходятся относительно сильного влияния на качество института выбора адресата, а также описания правил, в то время как по вопросу влияния санкций оценки экспертов разошлись. Однако данная выборка считается однородной, так как значение коэффициента менее 0,4.

Средние взвешенные экспертные оценки по каждому показателю позволяют построить функцию, характеризующую качество формального института.

$$R = 0,243 Y + 0,214 I + 0,291 A + 0,128 S + 0,124 G \quad (4)$$

Как следует из модели, регламент имеет низкие оценки в формулировке правил взаимодействия, а также в описании ситуации и определении адресата. Данная функция (4) является функцией пяти переменных, при этом каждая из них соответственно может быть представлена в виде отдельной функции.

Например, рассмотрим функцию доминирующей составляющей (по мнению экспертов) - характеристику

правила института. Для определения значений данной характеристики воспользовались балльным методом. При этом эксперту предлагалось ответить на 20 вопросов, характеризующих правило. Каждая отрицательная оценка указанных факторов составляла 0 баллов, положительная оценка - 1 балл. Полученные оценки были просуммированы, что позволило определить интегральный показатель качества правила в исследуемом формальном институте. Максимальное значение общего показателя, характеризующего влияние на институт, составляет 20, а минимальное – 0 баллов.

Так как сами оценки относятся к классу непрерывных величин и могут принимать любые числовые значения в некотором интервале, необходима формализация информации путем построения интервальной шкалы оценок. В результате данной формализации полученные результаты экспертного опроса были упорядочены в виде интервальных вариационных рядов. Далее, при помощи статистической группировки многосложная совокупность оценок была распределена по однородным группам.

Использование формулы Стерджесса является наиболее часто применяемым методом определения оптимального количества групп (n):

$$n=1 + 3,322 \lg N, \quad (5)$$

где N - число единиц совокупности.

В данном случае получаем число групп 5:

$$n = 1 + 3,322 \lg 20 = 5 \quad (6)$$

В рассматриваемом случае вариация признака проявляется в узких границах. Исходя из того что распределение носит равномерный характер, допустимо построить группировку равными интервалами. При этом величину интервала определяем по формуле:

$$k= K/n, \quad (7)$$

где K определяется как $K = X_{\max} - X_{\min}$ и характеризует размах вариации

Для рассматриваемого случая:

$$k = (20-0)/5 = 4 \quad (8)$$

В результате статистической группировки было получено пять групп однородных оценок путем суммирования данной величины с элементами формируемого ряда. В таблице 1 представлена градация оценки переменной характеристик правила в регламенте.

Таблица 1. Градация оценки характеристики правила в регламенте.

Границы интервала	Характеристика правила
$x \leq 4$	Правило оценивается как неэффективное и не наблюдается предпосылок к его улучшению.
$4 \leq x \leq 8$	Правило оценивается как неэффективное, оно препятствует реализации основных бизнес- процессов одной из сторон.
$8 \leq x \leq 12$	Правило оценивается как недостаточно эффективное.
$12 \leq x \leq 16$	Правило оценивается как эффективное, обеспечивает взаимодействие сторон
$16 < x$	Правило оценивается как эффективное, имеются предпосылки для его развития.

Правила, не охватывающие все аспекты взаимодействия сторон, вошли в первый интервал. В этом случае отсутствуют способы обеспечения действенности ограничений. При этом формальный институт фактически не работает, он обрастает регулярными практиками, представляющими собой неформальные институты, которые позволяют обеспечить реализацию процессов организации в соответствии с текущими условиями и возможностями.

Правила, сконструированные с «блокировками», нарушающими интересы одной из сторон, вошли во второй интервал. Такие блокировки были выявлены при исследовании формальных институтов взаимодействия с аутсорсинговыми компаниями, а также институтов взаимодействия со смежными подразделениями.

Правила, которые требуют актуализации, попадают в третий интервал. В проведенном исследовании именно в эту группу попала большая часть характеристик регламента «Обеспечение персоналом». Регламент не соответствует деловой практике управления персоналом в компании и не выполняется исполнителями, несмотря на то что он принят в 2014 году.

Эффективные правила включают четвертый и пятый интервалы.

Предложенная структурная модель для оценки регламента может быть использована для анализа составляющих элементов формального института с использованием факторного анализа, выявления доминирующих

элементов, определения блокировок в использовании института, а также при перепроектировании институтов в целях формирования эффективной институциональной среды в организации.

Литература

1. Blanchard O., Kremer M. Disorganisation. Pre-print, MIT and NBER, October 1996.
2. Пригожин А. И. Дезорганизация: Причины, виды, преодоление / А. И. Пригожин. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. — 402 с.
3. Кондратьев В.В., Краснова В.Б. Реструктуризация управления компанией. - М., 2000.- 240 с.
4. Институциональная экономика: Новая институциональная экономическая теория. / Под ред. Аузана А.А.-2-е изд.- М.: Инфра-М, 2011. - 447с.
5. North D.C. Economic Performance through Time //American Economic Review. - 1994. - Vol. 84. - No 3. - P. 361.
6. Попов Е.В. Институты. - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2017. - 651 с.
7. Voigt S. How (not) to measure institutions. University of Marburg. Joint discussion paper series in economics, 2009. - P 37.
8. Зенина Н.Н. Организационная диагностика транспортной компании. //Экономика железных дорог. - 2018. - № 8. - С. 40-50.

9. Байрамов В.Д., Куликов Е.М., Кубякин Е.О., Райдугин Д.С. Методология и методы социологического исследования. / Под общей редакцией д.с.н., профессора Байрамова В.Д. – М.: МГТУ, 2016. – 250 с.

10. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. - М.: Финансы и статистика, 2004. - 656 с.

Сведения об авторах

Зенина Надежда Николаевна, к.э.н., доцент кафедры «Управление производством и кадровое обеспечение транспортного комплекса» Российского университета транспорта (РУТ - МИИТ),

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

Тел. +7 905 551 35 52

E-mail: znn1@yandex.ru.

Козырев Валентин Александрович, д.т.н., профессор кафедры «Управление производством и кадровое обеспечение транспортного комплекса» РУТ-МИИТ.

Тел. +7 916 431 13 08

E-mail: v_a_kozyrev@mail.ru.

Зенин Роман Евгеньевич, аспирант кафедры «Управление производством и кадровое обеспечение транспортного комплекса» РУТ - МИИТ.

Тел. +7 905 503 74 20

E-mail: zre777@gmail.com.

ИНТЕЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙКандидат техн. наук **Зубков В.В.**

(АО «Федеральная грузовая компания», Московское представительство, г. Екатеринбург)

Доктор техн. наук, профессор **Сирина Н.Ф.**

(Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург)

INTELLECTUALIZATION OF MANAGEMENT OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMPh.D.(Tech.) **Zubkov V.V.**

(JSC Federal Freight Transport Company, Moscow office, Ekaterinburg)

Doctor (Tech.), Professor **Sirina N.F.**

(Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg)

Интеллектуализация управления, транспортно-логистическая система, транспортно-производственный процесс, транспортно-информационное пространство, информационная модель.

Management intellectualization, transport and logistics system, transport and production process, transport and information space, information model.

Рассматривается интеллектуализация управления транспортно-логистической системой, путем создания информационных моделей для сбора, обработки, анализа, ранжирования, накопления, хранения необходимой информации и обеспечения благоприятной среды для поиска, просмотра, визуализации данных, сравнения возможных вариантов решений проблемных вопросов и выборе наилучшего на основе накопленных знаний, опыте и имеющихся ресурсных возможностей. Представлена концептуальная модель управления транспортно-логистической системой, а также предложена методика формирования онтологий.

The author analyzes the management of the transport and logistics system by creating information models for collecting, processing, analyzing, ranking, accumulating, storing the necessary information and providing a favorable environment for searching, viewing, visualizing data, comparing possible solutions to problematic issues and choosing the best based on the accumulated knowledge, experience and available resource capabilities. A conceptual model for managing the transport and logistics system is presented, as well as a methodology for the formation of ontologies is proposed.

Введение

Анализ развития технологий в железнодорожной отрасли, применения транспортных процессов, использования ее ресурсов, показывает положительную корреляцию с развитием и совершенствованием информационных технологий. Объясняется это постоянно увеличивающейся наукоемкостью транспортной системы, ускорением научного и технического прогресса в сфере промышленных, информационных и цифровых технологий, созданием электронных способов получения, обработки, учета, хранения и использования информационных данных.

Уникальностью настоящего времени, является усиление внимания на получение знаний из информационного пространства от реализации и применении транспортно-производственных процессов (подпроцессов) и создание технологий их использования с помощью информационных систем, моделей, получивших определение искусственные когнитивные системы.

Реализация в транспортной системе концепции промышленного развития приводит, с одной стороны к увеличению возможности конверсии потребителей услуг железнодорожной отрасли, увеличению их производительности, а с другой стороны, усложняет процесс качественного управления транспортными компаниями (системами).

В области интеллектуализации управления транспортно-логистической системой, а также автоматизиро-

ванной обработки производственно-технической информации, поступающей из глобальных и корпоративных сетей, до сих пор остается не решенной задача анализа и дальнейшего накопления ее квалификационного (профессионального) слоя знаний [1]. На основании этих знаний определяется наилучший вариант управленческих действий, необходимых для решения проблемных вопросов, поиска заинтересованных партнеров в их решении, оценки результативности принимаемых решений и выбора стратегических направлений производственной деятельности.

Онтологии в информационных системах создают возможности углубленного поиска необходимой информации, но сам поиск требует длительных временных затрат и наличия такой активной онтологии, которая бы соответствовала конкретному транспортно-производственному процессу (подпроцессу), при том что создание онтологии в настоящее время является трудоемкой и многосложной инженерной задачей [2].

Пользователь (руководитель транспортно-логистической системы или ее структурного предприятия), не получая необходимого результата, заинтересован в автоматизации данного процесса [2]. Такого процесса, который при минимальной детальности и минимальных затратах времени позволит управлять информационным поиском, полученными и накопленными знаниями о том или ином объекте или процессе, а также обеспечить выбор наилучшего варианта управленческого действия

в контексте имеющихся ресурсных возможностей и соответствии квалификационного (профессионального) интереса [2,3].

Одним из решений такой задачи является создание информационной модели для сбора, обработки, анализа, ранжирования, накопления, хранения необходимой информации и обеспечения благоприятной среды для поиска, просмотра, визуализации данных, сравнения возможных вариантов решений проблемных вопросов и выбора наилучшего на основе накопленных знаний, опыта и имеющихся ресурсных возможностей.

Постановка и подход к решению задачи

Для создания информационной модели управления транспортно-логистической системой требуется разработать методику формирования онтологий. Данная методика необходима для отражения проблемных областей реализации транспортно-производственных процессов (подпроцессов). Такие онтологии необходимы заинтересованным субъектам транспортной системы, для согласования своих взаимодействий при решении проблемных вопросов и принятии (применении) управленческих действий. В том числе методика должна обеспечивать когнитивную связь между отражением проблемной области реализации процессов (подпроцессов) и формальным отражением непосредственно транспортно-производственных процессов (подпроцессов). Процессы (подпроцессы) отражаются таким образом, чтобы можно было сформировать прототип системы, представляющей собой многоагентную систему, имеющей способность промоделировать процессы (подпроцессы) и в дальнейшем управлять ими [4].

Для формирования методики построения системы разработана концептуальная модель управления транспортно-логистической системой, основанная на накопленных знаниях и имеющихся ресурсных возможностях. Данная модель представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Концептуальная модель управления транспортно-логистической системой, основанная на накопленных знаниях и имеющихся ресурсных возможностях

На рисунке 1 видно, что нижние уровни концептуальной модели - это уровни описания проблемных областей реализации транспортно-производственных процессов. Основным продуктом этих уровней - это описание знаний о проблемных областях реализации. Дан-

ное описание должно проходить в универсальной форме, которая будет соответствовать необходимой модели онтологии.

Уровень инфраструктуры концептуальной модели представлен агентной платформой, при помощи которой обеспечивается взаимодействие заинтересованных агентов модели при решении управленческих задач.

Онтологии в совокупности с агентской платформой создают условия для формирования следующего уровня концептуальной модели, а именно уровня самоподдержания транспортно-производственных процессов и уровня управления производственными предприятиями.

Транспортно-производственные процессы формализуют, используя созданные онтологии, ресурсные возможности и заинтересованные субъекты, планируемые в использовании при реализации процессов, при этом определяются непосредственно в онтологиях. Данный подход при описании транспортно-производственных процессов на базе созданных онтологий формирует условия для дополнительного контроля над производственной средой предприятия (изменение области реализации процессов посредством воздействия внутренних или внешних факторов ведет к изменению или корректировке самих процессов) [5].

Онтологии, их дальнейшая формализация, определяющаяся на полученных знаниях, обеспечивают формирование и реализацию верхнего уровня концептуальной модели, это - уровень интеграции. Главным продуктом данного уровня является интеграция производственных предприятий в интегрированные информационные системы управления транспортно-производственными процессами. Онтологии на данном уровне определяют протокол для осуществления процесса интеграции взаимодействующих информационных систем и формируют единые правила и нормы взаимодействия между заинтересованными агентами (субъектами). Интеграция реализуется на основе информационной самоподдержки транспортно-производственных процессов предприятий.

Таким образом, в концептуальной модели определены связи проблемных областей реализации процессов и непосредственно самих транспортно-производственных процессов, при этом каждую онтологию (K_n) выражаем в виде кортежа:

$$K_n = \{K_n^w, K_n^c, K_n^p, K_n^s\}, \quad (1)$$

где: K_n^w - множество значений n -й онтологии;

K_n^c - множество связей между положениями (представлениями) n -й онтологии;

K_n^p - множество процессов значений n -й онтологии;

K_n^s - множество подпроцессов значений n -й онтологии.

Множество значений n -й онтологии выглядит следующим образом:

$$K_n^w = \{w_{nj} | j = \overline{1, J^w}\}, \quad (2)$$

где: J^w - количество значений n -й онтологии, $K_n^w \neq \emptyset$.

Из всего множества значений выделяем следующие два основополагающих подмножества:

$$K_n^{wp} \subseteq K_n^{wR} \subseteq K_n^w, \quad (3)$$

где: K_n^{wp} – множество значений исполнителей процессов (подпроцессов) производственных предприятий в n -й онтологии;

K_n^{wR} – множество значений ресурсных возможностей n -й онтологии.

Исполнители процессов (подпроцессов) и ресурсные возможности определяются для каждой проблемной области реализации транспортно- производственных процессов.

Множество связей между положениями (представлениями) n -й онтологии выражаем видом:

$$K_n^c = \{c_{nj} | j = \overline{1, J^c}\}, \quad (4)$$

где J^c – количество связей между значениями n -й онтологии, $J^c = |K_n^c|$.

$$c_{nj} = (c_j^f C_j), \quad (5)$$

где: c_j^f – множество свойств j -й связи; C_j – кортеж j -х связей n -й онтологии.

Связи между значениями онтологии обеспечивают описание норм, правил, которые определяют взаимодействие объектов (субъектов) при организации и управлении транспортно-производственными процессами.

Множество процессов значений n -й онтологии представляем в виде:

$$K_n^p = \{p_{nj} | j = \overline{1, J^p}\}, \quad (6)$$

где p_{nj} – множество процессов j -го значения n -й онтологии, $J^p = |K_n^p|$. При этом K_n^p может не иметь значений, тогда:

$$p_{nj} = \{p_{nja} | a = \overline{1, A_j^p}\}, \quad (7)$$

где: p_{nja} – A -й процесс j -го значения n -й онтологии;

A_j^p – количество процессов j -го значения n -й онтологии, p_{nj} может быть $\emptyset$.

Множество подпроцессов значений n -й онтологии выглядит следующим образом:

$$K_n^s = \{s_{nja} | a = \overline{1, J^s}\}, \quad (8)$$

где: s_{nja} – множество подпроцессов j -го значения n -й онтологии, $J^s = |K_n^s|$. При этом K_n^s при определении значений может их не иметь, тогда:

$$s_{nja} = \{s_{nja} | a = \overline{1, A_j^s}\}, \quad (9)$$

где: s_{nja} – a -й подпроцесс j -го значения n -й онтологии;

A_j^s – количество подпроцессов j -го значения n -й онтологии, s_{nja} может быть $\emptyset$.

Из этого следует, что перед началом описания транспортно-производственных процессов необходимо провести формализацию областей реализации этих процессов, в том числе формализацию проблемных областей реализации [6]. Для этого нужно определить и описать значения онтологии, в частности, объекты (нормы, правила, стандарты), используемые в информационных потоках, которые взаимоувязывают транспортно-производственные подпроцессы, процессы и их исполнителей. При определении и описании исполнителей процессов (подпроцессов) необходимо в онтологии описывать их ресурсные возможности, которые обеспечат или не смогут обеспечить реализацию функции непосредственно процесса (подпроцесса) [7].

Принципы формирования информационных моделей

Предложенная методика формирования онтологий использовалась при создании информационных моделей управления транспортно-логистической системой, таких как:

- «Автоматизированное рабочее место. Проблемные вопросы»;

- «Автоматизированная система планирования и учета рабочего времени руководителя».

Информационная модель «Автоматизированное рабочее место. Проблемные вопросы» предназначена для интеллектуализации управления транспортно-логистической системой при выборе наиболее эффективного и рационального варианта управленческого решения проблемных вопросов [8]. Виртуализация рабочих мест влияет на повышение качества управления масштабными транспортно-логистическими компаниями. Построение программы основано, в том числе, на методе анализа иерархий. Оценочное значение вариантов решений проблемных вопросов с использованием предложенной методики формирования онтологий и метода анализа иерархий происходит на базе объективной и субъективной входящей информации.

Проблемы в определении наиболее правильного выбора актуальны во всех видах деятельности производственных предприятий. Управляющие транспортно-производственными процессами руководители решают их на тактическом и стратегическом уровнях. Выбранное оптимальное решение, должно характеризоваться как лучшее из возможных. Учесть все факторы, влияющие на данный выбор, невозможно без интеллектуализации данного процесса, при этом значительно сложнее это сделать при выборе стратегических решений, влияющих как на предприятия, так и систему в целом в долгосрочной перспективе.

Разработанная информационная модель осуществляет хранение, ранжирование и мониторинг в автоматизированной базе данных, всех приоритетных направлений деятельности структурных подразделений и компании в целом. Осуществляет накопление знаний о проблемных областях реализации транспортно-производственных процессов, а также обеспечивает оптимальный выбор управленческого решения из возможных их вариантов и предоставляет данную информацию руководителям производственных вертикалей, уполномоченным комиссиям, с последующей оценкой их возможностей, в том числе ресурсных, и контролем процесса их выполнения.

Информационная модель имеет следующие основные характеристики: тип ЭВМ IBM PC совместимость с персональным компьютером (ПК), язык PL/SQL+PHP+HTML, система управления базой данных (СУБД) Oracle 10.2,

операционная система (ОС) Windows 2003 Server SP2 [8].

Эскалация уровня рассмотрения приоритетных направлений в данной информационной модели представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Схема эскалации уровня рассмотрения приоритетных направлений в модели «Автоматизированное рабочее место. Проблемные вопросы»

В многоуровневой и многоагентской транспортно-логистической системе руководителям структурных подразделений, руководителям органов управления различных уровней системы сложно при рассмотрении проблемных вопросов, многосложных управленческих задач качественно и рационально спрогнозировать и спланировать ресурсы рабочего времени, проанализировать, учесть и своевременно оценить свои действия. Для исключения в работе руководителей данных рисков разработана информационная модель «Автоматизированная система планирования и учета рабочего времени руководителя» [9].

Разработанная информационная модель предназначена для рационального использования, учета, систематизации и контроля рабочего времени руководителя. Она позволяет систематизировать и качественно распределить во временных периодах выполнение производственных задач. Фиксировать мероприятия, которые требуют их повторения для получения положительного результата от реализации транспортно-производственных процессов. Выявлять временные резервы руководителей структурных предприятий и органов управления системы на всех этапах производственных процессов. Модель обеспечивает хранение и оповещение за-

интересованных субъектов транспортных услуг обо всех организационно-распорядительных документах, сопровождающих решение проблемных производственных вопросов. Хранение в автоматизированной базе данных информации о плановых и фактически выполненных мероприятиях способствует оценке эффективности принятия решений, а также использования своего рабочего времени [9].

Сочетание количественного и качественного мониторинга, учета и анализа рабочего времени руководителя не ограничивает оценочные действия лишь множеством шаблонных критериев, но при этом дает возможность формализовать не структурированные между собой параметры.

Представленные информационные модели функционируют в едином транспортно-информационном пространстве и интегрируют в комплекс информационных систем управление транспортно-производственными процессами [10].

Визуализация информационных моделей

Примеры визуализации функционирования информационных моделей представлены на рисунках 3, 4.

АРМ Проблемные вопросы

Вы вошли как:

Выход

Главная Ввод

Проблемные вопросы									
№ п/п	Дата регистрации	Проблемные вопросы	Пути решения	Ответственный	Причастная служба, дирекция, департамент	Куратор	Срок исполнения	Категория	Статус
Нет записей для отображения									

Рис. 3. Пример фрагмента основного цифрового слоя «Проблемные вопросы»

Добавить вопрос	
Ответственный: ИВЦ	
Проблема	
Пути решения	
Куратор	ИЗТер
Причастная служба, дирекция, департамент	
Срок исполнения	19.07.2017 V
Отмена Добавить	

Рис. 4. Пример фрагмента цифрового слоя «Авторизация пользователя»

Выводы

Интеллектуализация управления транспортно-логистической системой представляет собой альтернативный путь повышения качества организации и управления многоуровневой и многоагентной системой, а также рационального использования, учета, систематизации и контроля рабочего времени руководителя.

Концептуальная модель управления транспортно-логистической системой определяет и устанавливает связи проблемных областей реализации процессов и непосредственно самих транспортно-производственных процессов.

Методика формирования онтологий отражает проблемные области реализации транспортно-производственных процессов (подпроцессов).

На основе разработанной методики формирования онтологий созданы информационные модели управления транспортно-логистической системой «Автоматизированное рабочее место. Проблемные вопросы» и «Автоматизированная система планирования и учета рабочего времени руководителя». Данные информационные продукты прошли государственную регистрацию.

Литература

1. Treber S., Breig R., Kentner M., Hafner B., Lanza G. Information Exchange in Global Production Networks: Increasing Transparency by Simulation, Statistical Experiments and Selection of Digitalization Activities. *Procedia CIRP*, vol. 84, (2019), pp 225-230. DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.214
2. Pekka Leviakangas. Digitalisation of Finland's transport sector. *Technology in Society*, vol. 47, (2016), pp1-15. DOI: 10.1016/j.techsoc.2016.07.001
3. Wang Hai, Yang Hai. Methodological Ridesourcing systems: A framework and review. *Transportation Research Part B*, vol. 129, (2019), pp 122-155. DOI: 10.1016/j.trb.2019.07.009
4. Митрофанов В.Г., Гришина Т.Г., Феофанов А.Н., Управление автоматизированными технологическими системами и моделирование оперативности при принятии решений// *Технология машиностроения*. – 2015. – №8. – С. 43 – 45.
5. Yi Li, Fulong Wu. The transformation of regional governance in China: The rescaling of statehood. *Progress*

in Planning, vol. 78, (2012), pp 55–99. DOI: 10.1016/j.progress.2012.03.001

6. Бодюл В. И., Феофилов А. Н. Система управления перевозками грузов для операторов железнодорожного подвижного состава // *Наука и техника транспорта*. – 2012. – №1. – С. 57 – 62.

7. Sébastien M. R. Dente, Lóránt A. Tavasszy. Impacts of trade related sustainability strategies on freight transportation: Modelling framework and application for France. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 58, (2018), pp 308–319. DOI: 10.1016/j.trd.2017.04.006

8. А.с. 2017660359 Российская Федерация. АРМ Проблемные вопросы / В.В. Зубков, О.В. Амелченко. – № 2017617667; заявл. 24.06.2017; опубл. 21.09.2017.

9. А.с. 2017660356 Российская Федерация. Автоматизированная система планирования и учета рабочего времени руководителя / В.В. Зубков, О.В. Амелченко. – № 2017618552; заявл. 24.06.2017; опубл. 21.09.2017.

10. Zubkov V., Sirina N., Amelchenko O. (2020) Information Technologies in the Area of Intersectoral Transportation. In: Murgul V., Pasetti M. (eds) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 982, pp. 366-375. Springer, Cham, http://DOI.org/10.1007/978-3-030-19756-8_34

Сведения об авторах

Зубков Валерий Валерьевич, к.т.н., заместитель начальника департамента производственной инфраструктуры, Акционерное общество «Федеральная Грузовая компания» (АО «ФГК»), Московское представительство,
620026, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 44, литер Д.
Телефон: +7(343) 380-71-44, доб. 4603.
E-mail: zubkovvv1973@gmail.com.

Нина Фридриховна Сирина, д.т.н., профессор, Уральский государственный университет путей сообщения,
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.
Телефон: +7(343)221-24-16.
E-mail: nsirina@usurt.ru.

**РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРООПОРЫ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО
ЭКВИВАЛЕНТА С УЧЕТОМ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ ЖИДКОСТИ
В ДРОССЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ ¹**

Доктор техн. наук, профессор, Главный научный сотрудник **Гордеев Б.А.**

(Институт проблем машиностроения Российской академии наук)

Кандидат физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник **Охулков С.Н.**

(Институт проблем машиностроения Российской академии наук)

Кандидат техн. наук, доцент **Титов Д.Ю.**

(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)

Младший научный сотрудник **Ермолаев А. И.**

(Институт проблем машиностроения Российской академии наук)

Ведущий электроник **Ванягин А.В.**

(Институт прикладной физики Российской академии наук)

**CALCULATION OF HYDRAULIC SUPPORT PARAMETERS BY ELECTROMECHANICAL
EQUIVALENT METHOD TAKING INTO ACCOUNT THE ADDED MASS OF THE LIQUID
IN THE THROTTLE CHANNELS**

Doctor (Tech), Professor, Ch. Researcher **Gordeev B.A.**

(Institute of Mechanical Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences. IPM RAS)

Ph. D. (Phys.-Math.), Senior Researcher (IPM RAS), Associate Professor (NSTU) **Ohulkov S.N.**

(Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences. IPM RAS)

Ph. D. (Tech), Senior Researcher, Associate Professor (NSTU) **Titov D. Yu.**

(Nizhny Novgorod State Technical University. R. E. Alekseev. NSTU)

Junior researcher **Ermolaev A. I.**

(Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences. IPM RAS)

Leading electronics engineer **Vanyagin A.V.**

(Institute of applied physics of the Russian Academy of Sciences, IAP RAS)

Виброзащита, МР-гидроопора, магнитореологический трансформатор, электромеханический подход, Simulink, передаточная функция, динамическая вязкость, коэффициент диффузии, присоединенная масса, возбуждающий электромагнит (ВЭ), амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

Vibration protection, Mr-hydraulic support, magnetorheological transformer, Electromechanical approach, Simulink, transfer function, dynamic viscosity, diffusion coefficient, attached mass, exciting electromagnet (FE), amplitude-frequency response (AFC).

В статье рассмотрено влияние присоединенной массы магнитореологической жидкости (МРЖ), обладающей неньютоновскими свойствами, на характеристики магнитореологической гидроопоры (МР-гидроопоры) с магнитореологическим трансформатором (МРТ). Рассчитаны амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) МР-гидроопоры при различных температурах с изменяющимися присоединенными массами МРЖ в дроссельных каналах МР-гидроопоры.

In article influence of added masses of magnetorheological fluid (MRF) having non-Newtonian properties on characteristics of magnetorheological hydraulic support (Mr-hydraulic support) optional transformer (MRI). Calculated amplitude-frequency characteristic (AFC) Mr-hydraulic support at different temperatures with varying attached masses MRF in the throttle channel Mr-hydraulic support.

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН на проведение фундаментальных научных исследований на 2019-2022 гг. по теме № 0035-2019-0026 (№ госрегистрации 01201458049).

¹ The work was carried out within the Russian state task for fundamental scientific research for 2019-2022 (the topic No. 0035-2019-0026, the state registration No. 01201458049).

Введение

Из активных средств виброзащиты и защиты от ударов при транспортировке крупногабаритных грузов применяются гидропоры с МРТ. Важнейшей задачей при проектировании МР-гидропоры с МРТ является оптимальный для данных условий выбор МРЖ. Технические характеристики МР-гидропоры зависят от рабочей МРЖ. При тепловом движении ферромагнитные частицы МРЖ в жидкости-носителе подчиняются молекулярно-кинетическим законам. Их движение может быть различным и зависит от размера частиц [1]. Ферромагнитные частицы коллоидной МРЖ перемещаются поступательно в разнообразных направлениях, так как испытывают многочисленные удары соседних частиц с различных сторон [2].

1. Моделирование АЧХ магнитоуправляемых гидропор в среде программирования Simulink программного пакета Matlab

1.1. Электрическая схема замещения МР-гидропоры с МРЖ как загоражающий фильтр-пробка и её передаточная функция

Нагруженная гидропора с инерционным трансформатором (ИТ) представляется, по методу электроаналогий, как загоражающий фильтр – пробка, основным элементом которого является последовательный колебательный контур. Схема гидропоры с ИТ как четырёхполюсника – загоражающего фильтра – приведена на рисунке 1 [4, 5, 8].

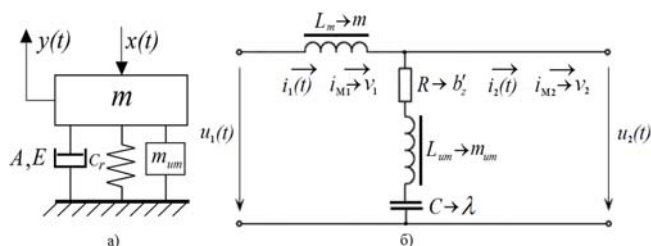


Рис. 1. Модель гидропоры при силовом возбуждении на неподвижном основании (а); Электрическая схема замещения гидропоры с МРЖ как загоражающий фильтр – пробка во временной форме без действия МРТ (б)

На рисунке 1 показаны: а) m – масса нагрузки, кг; m_{um} – присоединённая масса ИТ; c_r – жесткость упругого элемента Н/м; A – площадь поршневого действия, м²; E – емкость дополнительной камеры;

б) Напряжение u – сила F ; электрический ток i – скорость v ; общая индуктивность $L + L_{um}$ – общая масса $m + m_{um}$; электрическое сопротивление R – коэффициент демпфирования $b'_z = b_z + b_z(j\omega)$; емкость C – податливость λ .

Схема замещения (см. рис. 1, б) является последовательным RLC-электрическим контуром МР-гидропоры с МРЖ без действия внешнего магнитного поля в МРТ.

Нагруженная гидропора с ИТ, как загоражающий фильтр, в виде электрической цепи на основе последовательного контура (см. рис. 1, б) имеет передаточную функцию [4,8]:

$$H(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{R + (j\omega L_{um} - 1/(j\omega C))}{R + [j\omega(L + L_{um}) - 1/(j\omega C)]} \quad (1)$$

В операторной форме записи данная передаточная функция нагруженной гидропоры с ИТ как загоражающего фильтра представлена в виде [4, 8]:

$$H(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{R + (sL_{um} - 1/(sC))}{R + [s(L + L_{um}) - 1/(sC)]} \quad (2)$$

где s – переменная преобразования Лапласа.

Передаточная функция нагруженной гидропоры с ИТ в виде механической цепи представлена в виде [1, 2]:

$$H(j\omega) = \frac{F(j\omega)}{F_m(j\omega)} = \frac{b'_z + (j\omega m_{um} - c/j\omega)}{b'_z + [j\omega(m + m_{um}) - c/j\omega]} \quad (3)$$

В операторной форме записи передаточная функция нагруженной гидропоры с ИТ как загоражающего фильтра на основе механической схемы замещения представляется в виде [4, 8]:

$$H(s) = \frac{F(s)}{F_m(s)} = \frac{b'_z + (sm_{um} - c/s)}{b'_z + [s(m + m_{um}) - c/s]} \quad (4)$$

Получив передаточную функцию гидропоры с ИТ как загоражающего фильтра, далее переходят к имитационной модели МР-гидропоры.

1.2. Имитационная модель гидропоры с МРТ и входные параметры

На рисунке 2 показана имитационная модель гидропоры с МРТ [4, 5, 8].

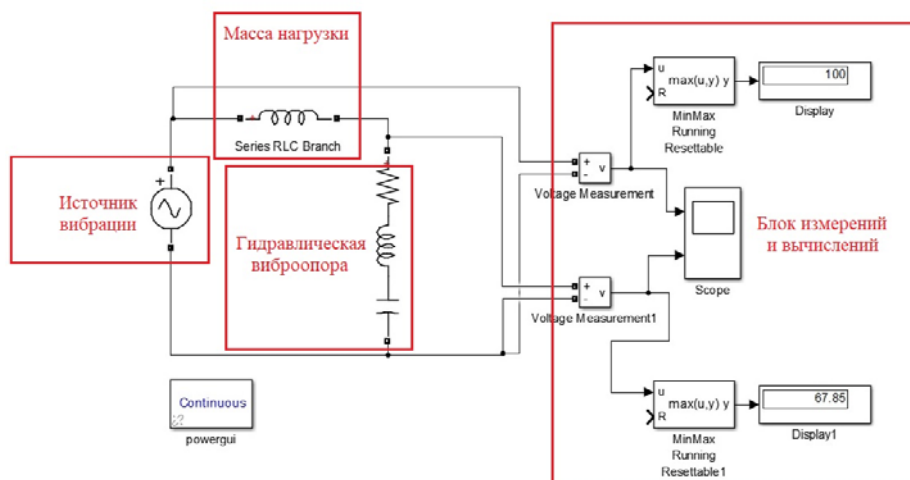


Рис.2. Имитационная модель гидропоры с МРТ

При моделировании учитывались изменение динамической жесткости (таблица 1) и коэффициента демп-

фирования МР-гидроопоры ОМГ-50 при нагрузке массой 50 кг в зависимости от частоты (таблица 2) [2, 6].

Таблица 1.

Значения динамической жесткости одной МР-гидроопоры ОМГ – 50 до частоты 100 Гц при входном СКО 50 м/с²

Частота, Гц	3,1	6,1	12,2	18,3	24,4	30,5	36,6	42,7	48,8	54,9	61,0	67,1	73,2	79,3	85,4	91,6	97,7	103,8
$C(f)$, кН/м	993,86	649,99	836,34	740	105,61	290,20	324,11	5483,66	33,623	32,042	281,877	44,336	6,399	0,251	1,399	119,41	70,976	20,759

Расчет и построение АЧХ МР-гидроопоры при массе нагрузки в 27 кг выполнялись для двух режимов работы дроссельных каналов магнитореологического трансформатора:

- 1) при напряженности магнитного поля $H = 0$ кА/м;
- 2) при напряженности магнитного поля $H = 252$ кА/м.

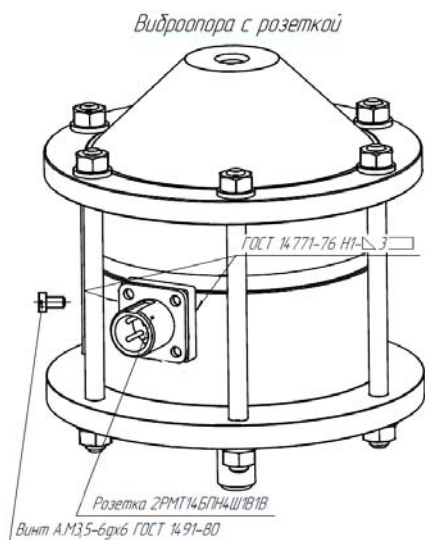
Таблица 2.

Обобщенные гидравлические коэффициенты трения в дроссельных каналах длиной $l = 15$ мм в зоне полюсов ВЭ ОМГ – 50 для частот возбуждения при $H = 252$ кА/м и температурах 20°C, 30°C, 40°C, 60°C

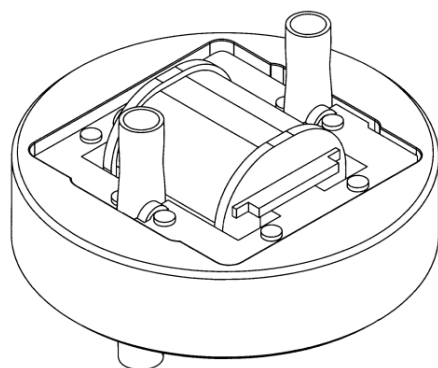
Температура MRF-132DG			Жесткость ОМГ–50	20°C	30°C	40°C	60°C
i	f_i , Гц	ω_i , рад/с	$C(f)$, Н/м (50 м/с ²)	$b^{(252)}_{zi}$, кг/с	$b^{(252)}_{zi}$, кг/с	$b^{(252)}_{zi}$, кг/с	$b^{(252)}_{zi}$, кг/с
1	3,1	19,477858	993863,3913	650,422	648,77	647,3123	644,2018
2	6,1	38,327398	649992,5722	740,585	737,483	734,4659	728,3453
3	12,2	76,654796	836339,0859	863,769	857,6323	851,5307	839,2896
4	18,3	114,98219	740947,3041	959,2241	950,1153	940,8665	922,5052
5	24,4	153,30959	105604,1521	1042,489	1030,265	1018,012	993,53
6	30,5	191,63699	290198,0526	1118,756	1103,414	1088,161	1057,558
7	36,6	229,96439	324105,5693	1190,441	1172,231	1153,726	1117,003
8	42,7	268,29179	483661,751	1258,873	1237,38	1216,039	1173,195
9	48,8	306,61918	33623,89291	1324,868	1300,53	1275,914	1226,95
10	54,9	344,94658	32041,51141	1388,962	1361,347	1333,889	1278,805
11	61	383,27398	281876,9047	1451,53	1420,83	1390,34	1329,133
12	67,1	421,60138	44335,6412	1512,845	1479,31	1445,532	1378,209
13	73,2	459,92878	6399,602417	1573,108	1536,461	1499,678	1426,232
14	79,3	498,25617	250,5318779	1632,478	1592,611	1552,929	1473,362
15	85,4	536,58357	1399,081435	1691,077	1648,094	1605,409	1519,721
16	91,6	575,53929	119403,0702	1749,949	1703,967	1658,061	1566,153
17	97,7	613,86669	70976,24084	1807,276	1758,117	1709,269	1611,24
18	103,8	652,19408	20758,59681	1864,08	1811,933	1759,954	1655,805

1.3. Присоединённые и общие массы МРТ гидроопоры

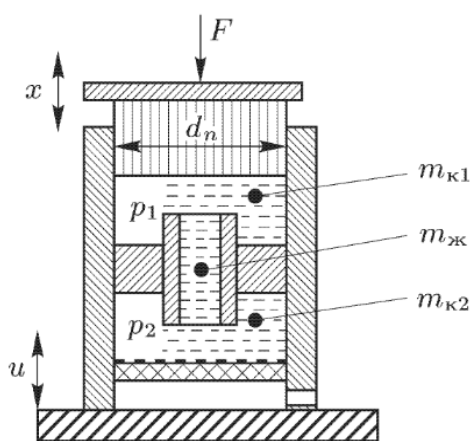
Для настройки на рабочую частоту МР-гидроопоры ОМГ-50 (рис. 3, а) необходимо создать инерционность по относительному перемещению [1-3].



а)



б)



в)

Рис. 3. Внешний вид МР-гидроопоры ОМГ-50 (а); перегородка МРТ с возбуждающим электромагнитом и двумя дроссельными каналами (б); принципиальная схема инерционного дроссельного канала (в)

При определении инерционности рабочей МРЖ в дроссельных каналах МР-гидроопоры необходимо знать, какие диссипативные и инерционные параметры присущи МРЖ при её абсолютном и относительном движении в дроссельных каналах МРТ.

На рисунке 3, в рассматривается принципиальная схема инерционного вертикального дроссельного канала, (по движению рабочей МРЖ при воздействии на поршень силы F), где x и u - перемещения поршня МР-гидроопоры и основания.

Относительное перемещение обеспечивается отношением квадратов площадей поршневого действия обечайки $S_{\Pi}^2 = S_{Об}^2$ и эквивалентного дроссельного канала $S_{к.к}^2$ [1]. Принимаем площадь поршневого действия обечайки равной $S_{Об} = \pi \cdot R_{Об}^2 = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, а площадь эквивалентного дроссельного канала равной $S_{к.к} = \pi \cdot R_{к.к}^2 = 31,976 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

Первоначально считаем, что МРЖ в дроссельном канале $m_{МЖ}$ работает как твердый стержень без деформаций.

Без действия внешнего магнитного поля присоединённую массу МРТ $m_{МРТ}$, которая превышает реальную массу МРЖ в дроссельных каналах МР-гидроопоры, можно определить по [1-3]:

$$m_{МРТ}^{(H=0,t)} = m_{ит.} = \frac{(\pi \cdot R_{Об}^2)^2}{(\pi \cdot R_{к.к}^2)^2} \cdot m_{МЖ}^{(H=0,t)} \text{ [кг]}, \quad (5)$$

$$m_{МЖ}^{(H=0,t)} = \rho_{МЖ}^{(H=0,t)} \cdot l \cdot \pi \cdot R_{к.к}^2,$$

где $m_{МЖ}$ – масса рабочей МРЖ; $m_{МРТ} = m_{ит.}$ – приведенная масса МРТ, равная приведенной массе $m_{ит.}$ без действия внешнего магнитного поля; l – длина эквивалентного дроссельного канала, м; $\rho_{МЖ} = 2950 \text{ кг/м}^3$ – плотность рабочей МРЖ при температуре нагрева 20°C и без действия внешнего магнитного поля.

Вычисление массы $m_{МЖ}$ МРЖ в дроссельном канале МР-гидроопоры при действии температуры и магнитного поля производят по выражению:

$$m_{МЖ}^{(H,t)} = \rho_{МЖ}^{(H,t)} \cdot l \cdot \pi \cdot R_{к.к}^2 = \frac{\eta_{ij}^{(t)}}{\nu_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot l \cdot \pi \cdot R_{к.к}^2 \text{ [кг]}. \quad (6)$$

где $\eta_{ij}^{(t)} / \nu_{1.1}^{(20^\circ)} = \rho_{МЖ}$ – плотность МРЖ при j -ой температуре; $\eta_{ij}^{(t)}$ – динамическая вязкость j -ой температуры МРЖ; $\nu_{1.1}^{(20^\circ)}$ – кинематическая вязкость при температуре 20°C и наименьшей напряжённости магнитного поля $H = 9 \text{ кА/м}$.

В таблице 3 приведены значения вязкости рабочей МРЖ MR Fluid MRF-132DG в зависимости от изменения температуры в диапазоне от 20°C до 60°C и изменения напряжённостей магнитного поля от $9,0 \text{ кА/м}$ до 252 кА/м .

Числовые значения вязкости рабочей МРЖ MR Fluid MRF-132DG в зависимости от изменения температуры в диапазоне от 20 °С до 60 °С и изменения напряжённостей магнитного поля от 9,0 кА/м до 252 кА/м.

H , кА/м	9	39	67	89	128	152	179	219	252
η , мПа·с	$\eta_{H1}(9)$	$\eta_{H2}(39)$	$\eta_{H3}(67)$	$\eta_{H4}(89)$	$\eta_{H5}(128)$	$\eta_{H6}(152)$	$\eta_{H7}(179)$	$\eta_{H8}(219)$	$\eta_{H9}(252)$
$\eta_{T1}(20^\circ)$	530	710	830	880	920	950	990	1015	1030
$\eta_{T2}(25^\circ)$	512,6	686,9	803,1	851,5	890,2	919,2	957,9	982,1	996,6
$\eta_{T3}(30^\circ)$	495,7	663,9	776,2	822,9	860,4	888,4	925,8	949,2	963,2
$\eta_{T4}(35^\circ)$	478,5	640,9	749,3	794,5	830,6	857,6	893,8	916,3	929,9
$\eta_{T5}(40^\circ)$	461,3	617,9	722,4	765,9	800,7	826,9	861,7	883,4	896,5
$\eta_{T6}(45^\circ)$	444,1	594,9	695,5	737,4	770,9	796,1	829,6	850,5	863,1
$\eta_{T7}(50^\circ)$	426,9	571,5	668,6	708,9	741,1	765,3	797,5	817,6	829,7
$\eta_{T8}(55^\circ)$	409,8	548,9	641,7	680,4	711,3	734,5	765,4	784,8	796,4
$\eta_{T9}(60^\circ)$	392,6	525,9	614,8	651,86	681,49	703,71	733,34	751,89	762,97

Исследования динамической вязкости МРЖ проводились на установке с ротационным вискозиметром Брукфильда «Digital Viscometer RVDV-1» с магнитной системой соленоидов и термостатом в исследовательской лаборатории «Управляемая виброзащита электротехнических комплексов» НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

Плотность МРЖ определяют как отношение динамической вязкости рабочей МРЖ $\eta_{мж}$ к коэффициенту кинематической вязкости $\nu_{мж}$ [10]:

$$\rho_{мж} = \eta_{мж} / \nu_{мж}, \quad (7)$$

и если считать МРЖ ньютоновской жидкостью, то при всех температурах её нагрева в однофазном режиме её плотность всегда постоянна:

$$\begin{aligned} \rho_{мж} &= \eta_{ij}^{(t)} / \nu_{ij}^{(t)} = \eta_{1.1}^{(20^\circ)} / \nu_{1.1}^{(20^\circ)} = \eta_{2.3}^{(30^\circ)} / \nu_{2.3}^{(30^\circ)} = \\ &= \eta_{3.5}^{(40^\circ)} / \nu_{3.5}^{(40^\circ)} = \dots = \eta_{i.9}^{(60^\circ)} / \nu_{i.9}^{(60^\circ)} = const \end{aligned} \quad (8)$$

Так как масса МРЖ определяется через произведение её плотности $\rho_{мж}$ на объём дроссельного канала, то приведённую массу МРТ в дроссельных каналах МР-гидропоры (присоединённую инерционную массу к нагрузке МР-гидропоры) при действии магнитного поля и температуры вычисляют с учётом плотности МРЖ при j -ой температуре из выражения:

$$m_{мрт}^{(H,t)} = \frac{(\pi \cdot R_{об}^2)^2}{(\pi \cdot R_{к.к}^2)^2} \cdot m_{мж}^{(H,t)} = \frac{\eta_{ij}^{(t)}}{\nu_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot l \cdot \pi \cdot R_{к.к}^2 \cdot \frac{(\pi \cdot R_{об}^2)^2}{(\pi \cdot R_{к.к}^2)^2} \text{ [кг]}. \quad (9)$$

Динамическая вязкость МРЖ при j -ой температуре определяется как:

$$\eta_{ij}^{(t)} = \left(\frac{\nu_{ij}^{(t)}}{\nu_{1.1}^{(20^\circ)}} \right) \cdot \eta_{1.1}^{(20^\circ)} = \rho_{мж} \nu_{ij}^{(t)} \text{ [кг/мс]}, \quad (10)$$

где $\nu_{ij}^{(t)} / \nu_{1.1}^{(20^\circ)}$ – относительный температурный коэффициент вязкости МРЖ определяемый с учётом реперной точки при температуре в 20 °С и $H = 9$ кА/м:

$$k_{ij}^{(t)} = \nu_{ij}^{(t)} / \nu_{1.1}^{(20^\circ)} = \eta_{ij}^{(t)} / \eta_{1.1}^{(20^\circ)}; \quad k_{ij}^{(t)} \neq k_{1.1}^{(20^\circ)}; \quad k_{1.1}^{(20^\circ)} = 1, \quad (11)$$

где $\eta_{1.1}^{(20^\circ)}$ – динамическая вязкость при температуре 20°С и наименьшей напряжённости магнитного поля $H = 9$ кА/м (см. таблицу 3).

Тогда приведённая масса МРТ при действии магнитного поля и температуры определяется через отношение динамических вязкостей:

$$\begin{aligned} m_{мрт,ij}^{(H,t)} &= k_{ij}^{(t)} \cdot \frac{(\pi \cdot R_{об}^2)^2}{(\pi \cdot R_{к.к}^2)^2} \cdot m_{мж}^{(H=0,t)} = \\ &= \frac{\eta_{ij}^{(t)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot \frac{(\pi \cdot R_{об}^2)^2}{(\pi \cdot R_{к.к}^2)^2} \cdot m_{мж}^{(H=0,t)} \end{aligned} \quad [кг], \quad (12)$$

Выражение (12) для расчёта приведённой массы МРТ при действии магнитного поля и температуры можно представить в виде:

$$m_{мрт,ij}^{(H,t)} = k_{ij}^{(t)} \cdot \rho_{мж} \cdot \frac{S_{п}^2}{S_{к.к}} \cdot \ell = \frac{\eta_{ij}^{(t)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot \rho_{мж} \cdot \frac{S_{п}^2}{S_{к.к}} \cdot \ell \text{ [кг]}. \quad (13)$$

Вычисление приведённой массы $m_{мрт}$ МРЖ в эквивалентном дроссельном канале при действии магнитного поля и температуры и значениях динамической вязкости производим по формулам (12).

В эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15$ мм приведённая масса МРЖ MRF-132DG в зоне полюсов ВЭ МРТ при напряжённости магнитного поля $H = 0$ кА/м, температуре 20°С и $\rho_{мж} = 2950 \text{ кг/м}^3$ равна:

Таблица 4.

**Значения присоединённых и общих масс МРТ
МР-гидропоры при $H = 0$ кА/м и $H = 252$ кА/м
для температур 20°C, 40°C и 60°C**

Без магнитного поля (0 кА/м)		При магнитном поле (252 кА/м)	
Приведённые массы МРТ, кг	Общие массы МРТ, кг	Приведённые массы МРТ, кг	Общие массы МРТ, кг
$m_{ит(20^\circ C)} = 28,023$	$m + m_{ит(20^\circ C)} = 55,023$	$m_{мрт(20^\circ C)} = 54,448$	$m + m_{мрт(20^\circ C)} = 81,448$
$m_{ит(40^\circ C)} = 24,391$	$m + m_{ит(40^\circ C)} = 51,391$	$m_{мрт(40^\circ C)} = 47,3909$	$m + m_{мрт(40^\circ C)} = 74,3909$
$m_{ит(60^\circ C)} = 20,760$	$m + m_{ит(60^\circ C)} = 47,760$	$m_{мрт(60^\circ C)} = 40,3322$	$m + m_{мрт(60^\circ C)} = 67,3322$

$$m_{мрт.1.1} = \frac{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot (\rho \cdot l_1) \frac{S_{\Pi}^2}{S_{\text{кк}}} =$$

$$= 1,0 \cdot (2950 \cdot 0,015) \frac{4,5^2 \cdot 10^{-6}}{31,976 \cdot 10^{-6}} = 28,023 \text{ кг.} \quad (14)$$

Также были вычислены и другие значения приведённой массы МРТ при напряжённости магнитного поля $H = 0$ кА/м для температур 40°C и 60°C при $\rho_{мж} = 2950 \text{ кг/м}^3$ (таблица 4).

В эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15$ мм приведённая масса МРЖ MRF-132DG в зоне полюсов ВЭ МРТ при напряжённости магнитного поля $H = 252$ кА/м, температуре 20°C и $\rho_{мж} = 2950 \text{ кг/м}^3$ равна:

$$m_{мрт.9.1} = \frac{\eta_{9.1}^{(20^\circ)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot (\rho \cdot l_1) \frac{S_{\Pi}^2}{S_{\text{кк}}} =$$

$$= 1,943 \cdot (2950 \cdot 0,015) \frac{4,5^2 \cdot 10^{-6}}{31,976 \cdot 10^{-6}} = 54,448 \text{ кг.} \quad (15)$$

В эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15$ мм приведённая масса МРЖ MRF-132DG в зоне полюсов ВЭ МРТ при напряжённости магнитного поля $H = 252$ кА/м, температуре 30°C и $\rho_{мж} = 2950 \text{ кг/м}^3$ равна:

$$m_{мрт.9.3} = \frac{\eta_{9.3}^{(30^\circ)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot (\rho \cdot l_1) \frac{S_{\Pi}^2}{S_{\text{кк}}} =$$

$$= 1,817 \cdot (2950 \cdot 0,015) \frac{4,5^2 \cdot 10^{-6}}{31,976 \cdot 10^{-6}} = 50,917 \text{ кг.} \quad (16)$$

В эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15$ мм приведённая масса МРЖ MRF-132DG в зоне полюсов ВЭ при напряжённости магнитного поля $H = 252$ кА/м, температуре 40°C и $\rho_{мж} = 2950 \text{ кг/м}^3$ равна:

$$m_{мрт.9.5} = \frac{\eta_{9.5}^{(40^\circ)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot (\rho \cdot l_1) \frac{S_{\Pi}^2}{S_{\text{кк}}} =$$

$$= 1,691 \cdot (2950 \cdot 0,015) \frac{4,5^2 \cdot 10^{-6}}{31,976 \cdot 10^{-6}} = 47,3909 \text{ кг.} \quad (17)$$

В эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15$ мм приведённая масса МРЖ MRF-132DG в зоне полюсов ВЭ МРТ при напряжённости магнитного поля $H = 252$ кА/м, температуре 60°C и $\rho_{мж} = 2950 \text{ кг/м}^3$ равна:

$$m_{мрт.9.9} = \frac{\eta_{9.9}^{(60^\circ)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot (\rho \cdot l_1) \frac{S_{\Pi}^2}{S_{\text{кк}}} =$$

$$= 1,439 \cdot (2950 \cdot 0,015) \frac{4,5^2 \cdot 10^{-6}}{31,976 \cdot 10^{-6}} = 40,3322 \text{ кг.} \quad (18)$$

Значения приведённых и общих масс при напряжённости магнитного поля $H = 0$ кА/м и $H = 252$ кА/м при температурах МРЖ MRF-132DG в 20°C, 40°C и 60°C приведены в таблице 4.

1.4. Значения частот настроек МР-гидропоры

Без действия внешнего магнитного поля при $H = 0$ кА/м частота настройки гидропоры с МРТ определяется по [1-3]:

$$f_{нас.}^{H=0} = (1/2\pi) \sqrt{C_{об} / (m + m_{ит})} \text{ [Гц]}, \quad (19)$$

где $C_{об} = C_{01}(f_{01}) = 740 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$ – статическая жёсткость МР-гидропоры – минимальная динамическая жесткость на основной резонансной частоте при массе нагрузки в 27 кг при максимальных перемещениях в ± 4 мм (см. таблицы 1 и 2).

При внешнем магнитном поле при ($H = 252$ кА/м) частота настройки МР-гидропоры определяется по [1-3]:

$$f_{нас.}^{H=252} = (1/2\pi) \sqrt{C_{об} / (m + m_{мрт})} \text{ [Гц]}. \quad (20)$$

Значения частот настроек МР-гидропоры при $H = 0$ кА/м и $H = 252$ кА/м для температур рабочей МРЖ в 20°C, 40°C, 60°C приведены в таблице 5.

Таблица 5.

**Значения частот настроек МР-гидропоры
при $H = 0$ кА/м и $H = 252$ кА/м для температур
температурах рабочей МРЖ в 20°C, 40°C, 60°C**

Без магнитного поля (0 кА/м)			При внешнем магнитном поле (252 кА/м)		
Общие массы		Частоты настройки	Общие массы		Частоты настройки
$m + m_{ит(20^\circ C)}$	55,02 кг	18,46 Гц	$m + m_{мрт(20^\circ C)}$	81,44 кг	15,18 Гц
$m + m_{ит(40^\circ C)}$	51,39 кг	19,10 Гц	$m + m_{мрт(40^\circ C)}$	74,39 кг	15,87 Гц
$m + m_{ит(60^\circ C)}$	47,76 кг	19,81 Гц	$m + m_{мрт(60^\circ C)}$	67,33 кг	16,69 Гц

При отсутствии магнитного поля в дроссельных каналах МРТ при температуре 20°C масса $m_{мрт} = 28,023$ кг меньше общей массы нагрузки, равной 55,023 кг, в 1,963 раза. Можно записать, что $m + m_{мрт} = 1,963 \cdot m_{мрт}$.

Следовательно, циклические частоты можно выразить:

$$f_{li} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_i}{m_{мрт}(i^\circ C)}} \text{ и } f_{2i} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_i}{1,963 m_{мрт}(i^\circ C)}}. \quad (21)$$

Можно сказать, что между частотами имеется соотношение $f_{i1} = 1,216 \cdot f_{2i}$.

1.5. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидроопоры

При произведенном расчёте АЧХ МР-гидроопоры учитывалась только основная гармоника входящего вибросигнала. Гармоники более высокого порядка не учитывались.

На рисунках 4 - 7 приведены расчётные зависимости логарифмических АЧХ МР-гидроопоры от частоты возбуждения $f_{в1}$ при напряжённости магнитного поля $H = 252$ кА/м в дроссельных каналах для температур МРЖ в 20°C, 40°C и 60°C, построенные при помощи среды программирования Simulink программного пакета Matlab.

1. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидроопоры при входном среднеквадратичном отклонении в 50 м/с² при температуре рабочей МРЖ 20°C приведены на рисунке 4.

Из амплитудно-частотных характеристик МР-гидроопоры (см. рис. 4) видно, что входной вибросигнал в виде белого шума ослабляется на 7 дБ без магнитного поля ($H = 0$ кА/м) в диапазоне частот от 25 до 42 Гц и на 10,5 дБ при внешнем магнитном поле ($H = 252$ кА/м).

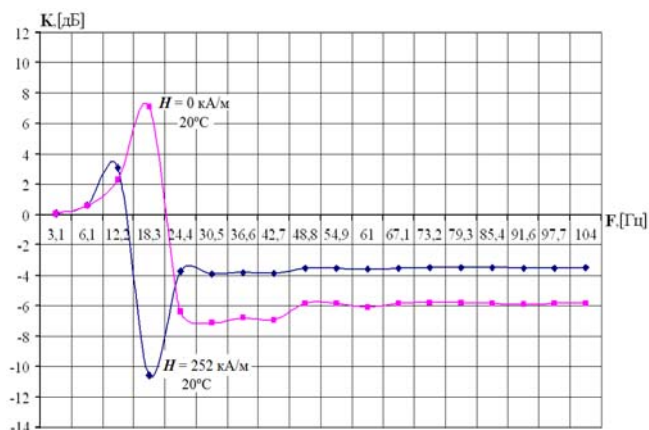


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидроопоры при температуре рабочей МРЖ 20°C и $H = 252$ кА/м

Передаточная функция МР-гидроопоры имеет вид [1-3,7]:

$$H(s) = \frac{m_{\text{мрт}(20)}s^2 + b_{(20)}(i)s + c(i)}{(m + m_{\text{мрт}(20)})s^2 + b_{(20)}(i)s + c(i)}. \quad (22)$$

Причём при 20°C и внешнем магнитном поле ($H = 252$ кА/м) наблюдается уход резонансной частоты $f_{\text{нас}}^{H=0} = 26,173$ Гц на частоту $f_{\text{нас}}^{H=252} = 18,3$ Гц. Кроме того, при внешнем магнитном поле на АЧХ МР-гидроопоры имеется горизонтальный участок на уровне -4 дБ в диапазоне частот от 25 Гц до 100 Гц.

Данный горизонтальный участок в диапазоне частот от 25 Гц до 100 Гц можно объяснить через представление передаточных функций (4) и (22) в виде произведения передаточных функций (последовательного соединения) форсирующего и колебательного звеньев второго порядка [7]. Получаемые логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) этих последовательно соединённых звеньев, складываются, но так как результирующая АЧХ в логарифмических масшта-

бах относительно не нулевого, исходного уровня отображаются зеркально, то в полосе частот от 25 Гц до 100 Гц информация теряется. Поэтому наиболее эффективная работа МРТ наблюдается в полосе частот до 25 Гц (см. рис.4), так как наблюдается наибольший магнитореологический эффект МРЖ по выходному сигналу.

2. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидроопоры при входном среднеквадратичном отклонении в 50 м/с² при температуре рабочей МРЖ 40°C приведены на рисунке 5.

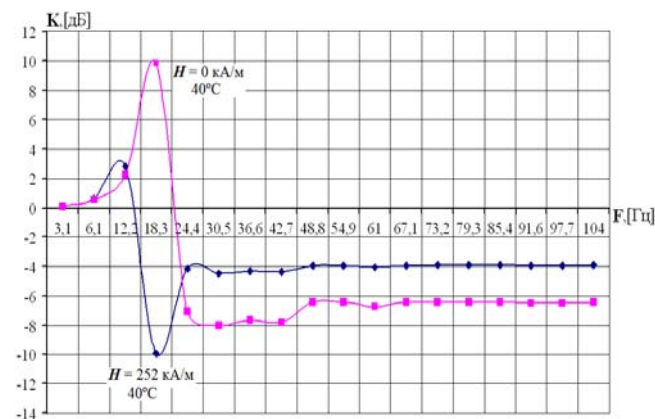


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидроопоры при температуре рабочей МРЖ 40°C и $H = 252$ кА/м

Передаточная функция МР-гидроопоры имеет вид [1-3,7,9]:

$$H(s) = \frac{m_{\text{мрт}(40)}s^2 + b_{(40)}(i)s + c(i)}{(m + m_{\text{мрт}(40)})s^2 + b_{(40)}(i)s + c(i)}. \quad (23)$$

Из амплитудно-частотных характеристик МР-гидроопоры (см. рис. 5) видно, что входной вибросигнал в виде белого шума ослабляется на 8 дБ без магнитного поля ($H = 0$ кА/м) в диапазоне частот от 25 до 42 Гц и на 10 дБ при внешнем магнитном поле ($H = 252$ кА/м).

Причём при 40°C и напряжённости в $H = 252$ кА/м наблюдается уход резонансной частоты $f_{\text{нас}}^{H=0} = 26,173$ Гц на частоту $f_{\text{нас}}^{H=252} = 18,3$ Гц. Кроме того, при внешнем магнитном поле на АЧХ МР-гидроопоры наблюдается горизонтальный участок на уровне -4 дБ в диапазоне частот от 25 Гц до 100 Гц.

Данный горизонтальный участок в диапазоне частот от 25 Гц до 100 Гц также объясняется через представление передаточных функций (4) и (23) в виде произведения передаточных функций форсирующего и колебательного звеньев второго порядка [7]. При сложении ЛАЧХ форсирующего и колебательного звеньев возникает прямолинейный участок на искомой АЧХ МР-гидроопоры в области высоких частот, где информация об искомой АЧХ МР-гидроопоры теряется (рис. 5). Поэтому наиболее эффективная работа МРТ также наблюдается в полосе частот до 25 Гц, так как здесь также наблюдается ещё большой магнитореологический эффект МРЖ по выходному сигналу.

3. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидроопоры при входном среднеквадратичном отклонении в 50 м/с² при температуре рабочей МРЖ в 60°C приведены на рисунке 6.

Передаточная функция гидропоры имеет вид [1-3, 7]:

$$H(s) = \frac{m_{\text{мрт}(60)}s^2 + b_{(60)}(i)s + c(i)}{(m + m_{\text{мрт}(60)})s^2 + b_{(60)}(i)s + c(i)}. \quad (24)$$

Из амплитудно-частотных характеристик МР-гидропоры (см. рис. 6) видно, что входной вибросигнал в виде белого шума ослабляется на 9,5 дБ без магнитного поля ($H = 0$ кА/м) в диапазоне частот от 25 до 42 Гц и на 4 ÷ 5 дБ при внешнем магнитном поле (252 кА/м). Здесь при температуре рабочей МРЖ в 60°C и внешнем магнитном поле ($H = 252$ кА/м) наблюдается падение демпфирования МР-гидропорой входного вибросигнала.

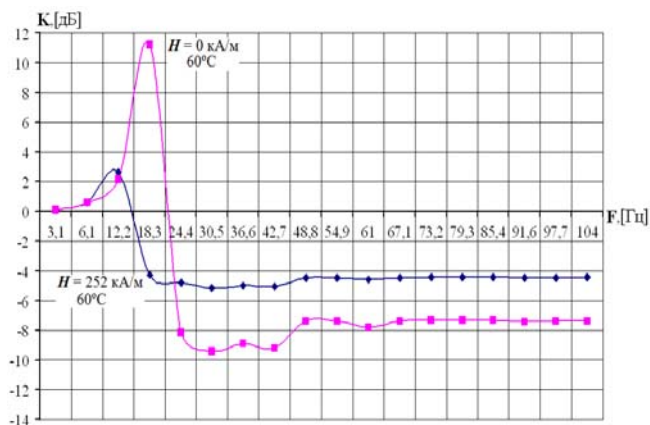


Рис.6. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидропоры при температуре рабочей МРЖ 60°C и $H = 252$ кА/м

Причём при 60°C и напряжённости в $H = 252$ кА/м наблюдается уход резонансной частоты $f_{\text{нас.}}^{H=0} = 26,173$ Гц на частоту $f_{\text{нас.}}^{H=252} = 18,3$ Гц. Кроме того, при внешнем магнитном поле на АЧХ МР-гидропоры ОМГ-50 наблюдается горизонтальный участок на уровне -4,5 дБ в диапазоне частот от 20 Гц до 100 Гц.

Данный горизонтальный участок в диапазоне частот от 25 Гц до 100 Гц также объясняется через представление передаточных функций (4) и (24) в виде произведения передаточных функций форсирующего и колебательного звеньев второго порядка [7]. При сложении ЛАЧХ форсирующего и колебательного звеньев возникает прямолинейный участок на искомой АЧХ МР-гидропоры в области высоких частот, информация об искомой АЧХ МР-гидропоры теряется [7] (рис. 6). Поэтому и в полосе частот до 25 Гц работа МРТ менее эффективна, чем при температурах МРЖ в 20°C и 40°C, так как наблюдается потеря магнитореологического эффекта МРЖ по выходному сигналу.

4. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидропоры при входном среднеквадратичном отклонении в 50 м/с² при температурах 20°C, 40°C, 60°C приведены на рисунке 7.

Отличие резонансных частот АЧХ МР-гидропоры, построенных при помощи среды программирования Simulink программного пакета Matlab, от расчётных значений, приведённых в таблице 5, можно объяснить аппроксимацией редактора Microsoft Office Excel.

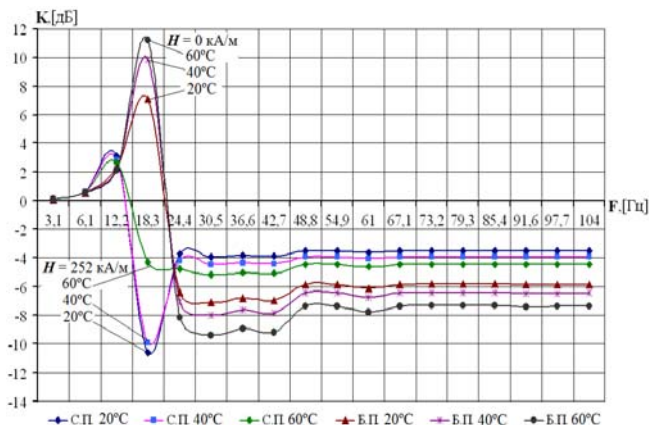


Рис. 7. Амплитудно-частотные характеристики МР-гидропоры при температурах рабочей МРЖ 20°C, 40°C, 60°C и $H = 252$ кА/м

1.6. Расчёт собственных частот настройки МР-гидропоры в зависимости от напряжённости магнитного поля при температуре 20°C

При имитационном моделировании динамических характеристик МР-гидропор с МРЖ необходимо также учитывать изменение частот настройки МР-гидропоры в зависимости от напряжённости магнитного поля при различных температурах рабочей МРЖ в дроссельных каналах. В данном разделе приведём только расчёт собственных частот настройки МР-гидропоры в зависимости от напряжённости магнитного поля при температуре 20°C.

В работе [3] получено выражение для приведённой массы в дроссельном канале ИТ (присоединённой инерционной массы к нагрузке МР-гидропоры):

$$m_{\text{пр}} = \frac{\pi d^2}{4} \rho l \frac{D^4}{d^4} = \frac{\pi}{4} \rho l \frac{D^4}{d^2} = 0,7854 \rho l \frac{D^4}{d^2}. \quad (25)$$

Для примера приведём расчёт приведённых масс в дроссельных каналах МРТ гидропоры по выражению (28) при диаметрах поршня $D = 0,076$ м и эквивалентного дроссельного канала $d = 0,007922$ м МР-демпфера ОМГ-50, рабочий объём которого заполнен МРЖ с $\rho_{\text{мж}} = 2950$ кг/м³ при $t^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$.

Длина дроссельных каналов в зоне полюсов ВЭ МРТ $l = 15$ мм.

Приведённая масса МРТ с МРЖ и $\rho_{\text{мж}} = 2950$ кг/м³ при напряжённости магнитного поля $H = 0$ кА/м при 20°C равна:

$$m_{\text{пр.мж}} = 0,7854 \rho_{\text{мж}} l \frac{D^4}{d^2} = 0,7854 \cdot 2950 \cdot 0,015 \frac{(0,076)^4}{(7,922 \cdot 10^{-3})^2} = 18,475 \text{ кг} \quad (26)$$

При расчёте приведенной массы МРТ $m_{\text{мрт}}$ в дроссельных каналах принимают усреднённый круглый радиус дроссельного канала. Усреднённый радиус дроссельного канала МР-гидропоры определён как:

$$R_{\text{к.к1}} = \left(\sqrt{S_{\text{пк1}}/\pi} + (3,0 + 3,0) \cdot 10^{-3} \right) / 3 = (2,4 + 3,0 + 3,0) / 3 = 2,801 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \quad (27)$$

Площадь эквивалентного дроссельного канала МР-гидропоры определяется суммой площадей двух усредненных дроссельных каналов как:

$$S_{\text{кк}} = 2S_{\text{кк1}} = 2\pi \cdot R_{\text{к.к1}}^2 = 2\pi \cdot 2,801^2 \cdot 10^{-6} = 49,306 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (28)$$

Масса рабочей МРЖ MRF-132DG в эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 50 \text{ мм}$ в зоне полюсов ВЭ МР-гидропоры ОМГ-50 при напряженности магнитного поля $H = 0 \text{ кА/м}$ и при температуре 20°C и $\rho_{\text{мж}} = 2950 \text{ кг/м}^3$ равна:

$$m_{\text{мж}}^{(H=0, 20^\circ)} = \rho_{\text{мж}}^{(H=0, 20^\circ)} \cdot l \cdot \pi \cdot R_{\text{к.к}}^2 = 2950 \cdot 0,05 \cdot \pi \cdot (2,801 \cdot 10^{-3})^2 = 3,636 \cdot 10^{-3} \text{ кг}. \quad (29)$$

Приведенная масса МРЖ MRF-132DG в эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 50 \text{ мм}$ в зоне полюсов ВЭ МРТ при напряженности магнитного поля $H = 252 \text{ кА/м}$, температуре 20°C и $\rho_{\text{мж}} = 2950 \text{ кг/м}^3$ равна:

$$m_{\text{мрт.9.1}} = \frac{\eta_{9.1}^{(20^\circ)}}{\eta_{1.1}^{(20^\circ)}} \cdot 0,785 \rho_{\text{мж}} l \frac{D^4}{d^2} = 1,943 \cdot 0,785 \cdot 2950 \cdot 0,015 \frac{(0,076)^4}{(7,922 \cdot 10^{-3})^2} = 27,74 \text{ кг} \quad (30)$$

Значения приведенных масс $m_{\text{мрт}}$ в эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15 \text{ мм}$ в зоне полюсов ВЭ МР-гидропоры ОМГ-50 при напряженностях магнитного поля и температуре МРЖ MRF-132DG 20°C приведены в таблице 6.

Таблица 6.

Приведенные массы МР-гидропоры ОМГ-50 в эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15 \text{ мм}$ с МРЖ MRF-132DG в зоне полюсов ВЭ при различных напряженностях магнитного поля и температуре 20°C

H , кА/м	9	39	67	89	128	152	179	219	252
η , мПа·с, (20°)	530	710	830	880	920	950	990	1015	1030
$m_{\text{мрт}}$, кг, (20°)	14,274	19,121	22,353	23,699	24,776	25,584	26,662	27,335	27,739

В таблице 6 сведены значения приведенных масс МРТ, создающие дополнительную инерционность по отношению к перемещению в эквивалентном дроссельном канале с МРЖ MRF-132DG, добавляемые к общей внешней нагрузке одной МР-гидропоры ОМГ-50.

Результирующие инерционные массы складываются из общей внешней нагрузки в 50 кг для МР-гидропоры и приведенных масс МРТ, создающих дополнительную инерционность по отношению к перемещению в эквивалентном дроссельном канале с МРЖ. В результате возникает сумма масс $m + m_{\text{мрт}}$ при заданных напряженностях магнитного поля и температуре МРЖ.

В таблице 7 представлены значения общих масс $m + m_{\text{мрт}}$ МРТ МР-гидропоры ОМГ-50 с МРЖ

MRF-132DG в эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15 \text{ мм}$ в зоне полюсов ВЭ.

Таблица 7.

Значения общих масс МРТ МР-гидропоры ОМГ-50 в эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15 \text{ мм}$ с МРЖ MRF-132DG при напряженностях магнитного поля и температуре 20°C

H , кА/м	9	39	67	89	128	152	179	219	252
η , мПа·с, (20°)	530	710	830	880	920	950	990	1015	1030
$m_{\Sigma 1}$, кг, (20°)	41,274	46,121	49,353	50,699	51,776	52,584	53,662	54,335	54,739

Собственные частоты настройки МР-гидропоры с МРТ при закрытом эквивалентном дроссельном канале следующие:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{\text{об}}}{m_0}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{740 \cdot 10^3}{50}} = 19,362 \text{ [Гц]}, \quad (31)$$

Резонансная частота при открытом дроссельном канале определяется с учетом диаметров поршня и дроссельного отверстия.

Частота настройки МР-гидропоры при открытом дроссельном канале с МРЖ с $\rho_{\text{мж}} = 2950 \text{ кг/м}^3$ и $l = 15 \text{ мм}$ без действия внешнего магнитного поля при температуре 20°C с учетом диаметров поршня и дроссельного канала равна:

$$f_{2. \text{мж}}^{(20^\circ)} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{\text{об}}}{m_0 + m_{\text{мрт}}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_{\text{об}}}{m_0 + 0,7854 \rho_{\text{мж}} l D^4 / d^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{740 \cdot 10^3}{27 + 0,7854 \rho_{\text{мж}} l (0,076)^4 / (0,007922)^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{740 \cdot 10^3}{27 + 18,475}} = 18,505 \text{ [Гц]}. \quad (32)$$

Значения частот настройки МР-гидропоры ОМГ-50 с МРЖ MRF-132DG при открытом эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15 \text{ мм}$ в зоне полюсов при напряженностях магнитного поля, вычисленные по выражению (32) при температуре 20°C , представлены в таблице 8.

Таблица 8.

Частоты настройки МР-гидропоры ОМГ-50 с МРЖ MRF-132DG при открытом эквивалентном дроссельном канале длиной $l = 15 \text{ мм}$ при напряженностях магнитного поля и температуре 20°C

H , кА/м	9	39	67	89	128	152	179	219	252
$m_{\Sigma 1}$, кг, (20°)	64,274	69,121	72,353	73,699	74,776	75,584	76,662	77,335	77,739
f_2 , Гц (20°)	21,311	20,160	19,489	19,228	19,027	18,880	18,689	18,574	18,505

Приведенная масса МРЖ в дроссельных каналах МР-демпфера является функцией скорости ее движения, а так как скорость движения неньютоновской жидкости зависит от температуры, от наличия в ней растворенных газов и от разности давлений на входе и выходе дроссельного канала, то гидроопора существенно является нелинейным элементом. Поэтому при повышении присоединенной массы понижается собственная частота гидроопоры. Из расчетов приведенных масс МРТ следует, что с ростом напряженности внешнего магнитного поля в его открытом эквивалентном дроссельном канале численное значение собственной частоты МР-гидроопоры меняется на несколько Герц.

Заключение

В статье гидроопора с МРТ представлена электро-механическим эквивалентом, а именно, загораживающим фильтром на основе последовательного колебательного электрического контура. Приведены результаты построения АЧХ МР-гидроопоры ОМГ-50 при температурах рабочей МРЖ 20°C, 40°C, 60°C, при напряженностях магнитного поля $H = 0$ кА/м и $H = 252$ кА/м по заданной динамической жесткости МР-гидроопоры.

Представлен расчет приведенных масс в дроссельных каналах МРТ и резонансных частот МР-гидроопоры при напряженностях магнитного поля $H = 0$ кА/м и $H = 252$ кА/м.

Моделирование динамических характеристик гидроопор с МРТ в среде программирования Simulink программного пакета Matlab может рассматриваться как инструмент при разработке магнитоуправляемых гидроопор.

Литература

1. Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Синев А.В., Мугин О.О. Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 176 с.
2. Охулков С.Н., Плехов А.С., Титов Д.Ю., Шевырёв Ю.В. Методы и устройства ослабления вибрации электромеханических комплексов: монография; Нижний Новгород. Нижегород. гос. техн. у-т им. Р.Е. Алексеева, 2016. — 254 с.
3. Брысин А.Н., Шохин А.Е., Синев А.В. и др. Совершенствование методики испытаний систем виброзащиты. — 2012. - № 4. — С. 80-83. с инерционными преобразователями// Проблемы машиностроения и автоматизации.
4. Гордеев Б.А., Охулков С.Н., Осмехин А.Н., Степанов К.С. Этапы построения математических моделей магнитоуправляемых гидроопор методом электромеханических аналогий.// Актуальные проблемы электроэнергетики: сб.ст. / НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, 2018. — С. 119 - 128.

5. Чикуров Н. Г. Синтез математических моделей технических систем методом электроаналогий.// Вестник УГАТУ, Уфа. — 2009. - Т.12, № 2. - С. 156 -165.

6. Гордеев Б.А., Любимов А.К., Охулков С.Н., Титов Д.Ю., Ермолаев А.И. Влияние входного виброускорения широкополосной случайной вибрации на амплитудно-частотные характеристики гидроопор // Вестник машино-строения. — 2019. - № 6. - С. 62-67.

7. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. Учеб. для машиностроительных вузов. - М.: Машиностроение, 1976. - 423 с.

8. Дружинский И. А. Механические цепи. - Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. - 240 с.

9. Беляев Е.С., Ермолаев А.И., Титов Е.Ю., Тумаков С.Ф.. Магнитореологические жидкости: технологии создания и применение: монография / Е.С. Беляев [и др.]; под ред. А.С. Плехова. - Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2017. — 94 с. ISBN 978-5-502-00963-8.

10. Башта Т. М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие. Издание 2-е, переработанное. - М.: Машиностроение, 1971. - С. 672.

Сведения об авторах

Гордеев Борис Александрович, доктор техн. наук, профессор, Главный научный сотрудник Института проблем машиностроения Российской академии наук (ИПМ РАН); профессор Нижегородского Государственного архитектурно-строительного университета (ННГАСУ),

603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85

Тел.: (831) 432 - 23 - 56; факс (831) 432 - 23 - 40.

E-mail: gord349@mail.ru.

Охулков Сергей Николаевич, кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории виброзащиты машин ИПМ РАН, доцент кафедры “Теоретическая и общая электротехника” НГТУ,

603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85

E-mail: oxulkovs@mail.ru.

Титов Дмитрий Юрьевич, кандидат техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудования, электропривода и автоматики» НГТУ им. Р.Е. Алексеева,

603950, г. Н. Новгород, ул. Минина, д. 24.

Ермолаев Артём Игоревич, м.н.с. лаборатории «Виброзащита машин» ИПФ РАН, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85.

E-mail: acidwolfvx@rambler.ru.

Ванягин Алексей Владимирович, ведущий электроник «Институт прикладной физики Российской академии наук»(ИПФ РАН),

603950 г. Н. Новгород, ул. Ульянова д. 46.

Тел.: (831)418-90-84.

E-mail: e678xk@mail.ru

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Доктор техн. наук **Лёвин С.Б.**,
кандидат техн. наук **Поспелова Л.Н.**,
аспирант /инженер **Крутова А.Ю.**
(Российский университет транспорта. РУТ - МИИТ)

DIGITAL CONTAINER TECHNOLOGY

Doctor (Tech.) **Lyovin S.B.**,
Ph.D. (Tech.) **Pospelova L.N.**,
Post-graduate / Engineer **Krutova A.Yu.**
(Russian University of Transport. RUT - MIIT)

Контейнерные перевозки, железнодорожный транспорт, цифровая логистика, единый электронный документооборот, терминалы, единая цифровая платформа.

Container shipping, rail transport, digital logistics, a single electronic document management, terminals, a single digital platform.

Оценивается развитие внутренних контейнерных перевозок. Рассматривается применение цифровых технологий на терминалах и необходимость создания единой цифровой платформы терминально-логистических центров.

The development of domestic container traffic is assessed. The application of digital technologies at terminals and the need to create a single digital platform of terminal and logistics centers are considered.

Введение

В эпоху развития цифровой логистики и цифровой экономики значительное влияние на повышение эффективности оказываемых перевозчиком услуг является совершенствование перевозочного процесса.

Контейнерные перевозки в нашей стране развиваются медленными темпами. Основными причинами слабого развития внутренних контейнерных перевозок является недостаточное финансирование в строительство и обслуживание современных контейнерных терминалов. Основными причинами недостаточного развития контейнерных перевозок в международном сообщении можно назвать отсутствие единого электронного взаимодействия между государствами – участниками перевозки, отсутствие единого электронного документооборота с таможенными органами соседних государств. Следствием этого является возникновение простоев контейнеров на пограничных переходах при передаче контейнеров из одного государства в другое. Отсутствие должной инфраструктуры для перевозок грузов железнодорожным транспортом сказывается на качестве доставки контейнера до получателя. Значительные простои на терминалах, связанные с неравномерной загрузкой различных направлений перевозок, в ожидании погрузки или выгрузки снижают привлекательность железнодорожного транспорта для грузовладельца. Применение цифровых технологий на контейнерных терминалах должно решить эту проблему в будущем.

Единая цифровая платформа в контейнерных терминалах

Согласно Программе развития ОАО «РЖД» на период до 2025 года [1] и Концепции реализации комплексного научного проекта «Цифровая железная дорога» [2]

перевозчиком разработаны и утверждены приоритетные задачи развития железнодорожного транспорта. Основными направлениями деятельности в области «Цифровой железной дороги» было принято расширение спектра и повышение качества транспортно-логистических услуг.

Общий объем инвестиций от частных инвесторов, которые планируется привлечь за период с 2019 по 2025 годы на развитие «Цифровой железной дороги», составляет 4 трлн. рублей. Объем государственной поддержки составляет при этом около 200 млрд. рублей [3].

Только на программу корпоративной информатизации перевозочного процесса в период с 2019 по 2025 года отводится около 132 млрд. рублей. На создание единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте за тот же период отводится 3,5 млрд. рублей.

Важнейшей задачей в области контейнерных перевозок является применения цифровых технологий на контейнерных терминалах. Основными принципами компаний, обеспечивающих цифровые технологии на железнодорожном транспорте, будут являться полная согласованность и общая база информационных данных (единая цифровая платформа); прием и передача данных в режиме он-лайн (своевременный учет требуемых параметров перевозочного процесса и необходимая отчетность), кроме этого, контроль показателей услуг клиентов [1].

Для применения цифровых технологий на терминалах необходимо создание единой цифровой платформы терминально-логистических центров. Цифровая платформа терминально-логистических центров приведена на рисунке 1.

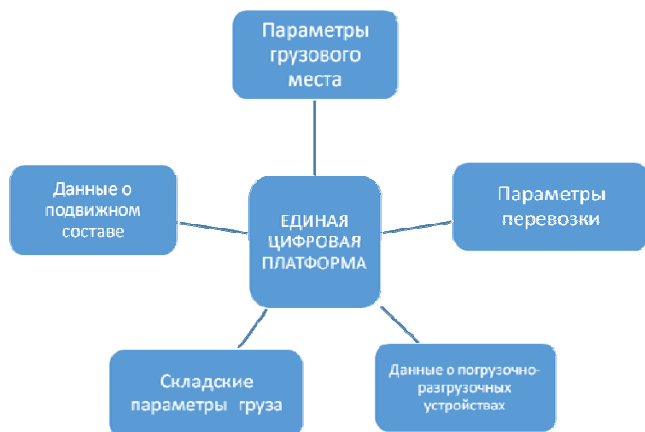


Рис. 1. Цифровая платформа терминально-логистического центра

Параметры, которые необходимо включить и использовать в базе данных цифрового логистического центра, следующие:

- данные о контейнере - номер, типоразмер, принадлежность контейнера, особенности контейнера, масса нетто и брутто, год постройки, срок ремонта и технического обслуживания, наименование завода изготовителя;

- данные о грузе - наименование груза, размер партии, размер грузового места, вес грузового места, особенности маркировки, пункт отправления, пункт назначения по контракту, особенности погрузки;

- наименование грузоотправителя, его местонахождение.

В случае предъявления опасного, негабаритного или имеющего другие особенности груза на терминал в контейнере, подробные данные о грузе должны учитываться в общем массиве данных единой цифровой платформы логистического центра [4 - 7].

При развитии контейнерных терминалов в условиях цифровой логистики особое внимание необходимо уделить разработке и совершенствованию нового поколения погрузочно-разгрузочных машин и механизмов. Возможность современных погрузчиков должна заключаться в следующем: прием и обработка данных о грузе, размере суточной партии переработки груза или груза в контейнере, потребность в конкретном погрузочно-разгрузочном механизме, местонахождение груза или контейнера на терминале, данные о дальнейшем продвижении груза или контейнера, сроки доставки груза.

Основные данные, используемые на контейнерных терминалах единой цифровой платформы, приведены на рисунке 2.



Рис. 2. Основные данные, используемые на контейнерных терминалах единой цифровой платформы

Функции цифровых сервисов терминалов заключается в удаленном управлении информационными ресурсами предприятия. Перевозочный процесс представляет собой сложную бизнес-модель с большим объемом исходных данных. Использование цифровой платформы позволит снизить стоимость перевозки, сократить время на планирование, оформление документации, внесение изменений в перевозочный процесс. Появляются новые технологии «Умный контейнер», «Умный склад», «Умный локомотив» и т.д.

Выводы

В целом, при переходе на «цифровую перевозку» изменится структура трудовых функций работников. Необходимо будет обучать персонал для взаимодействия с искусственным интеллектом.

Литература

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года / Распоряжение правительства РФ №466-р от 19.03.2019.

2. Концепция реализации комплексного научного проекта «Цифровая железная дорога».

3. Электронный ресурс: <https://habr.com/ru/post/445080/> [дата обращения 05.11.2019г].

4. Поспелова Л.Н. «Повышение эффективности транспортно-логистических услуг на основе функционирования логистических центров»/Диссертация на соискание степени кандидата технических наук 05.22.01/Л.Н. Поспелова. – М., 2018.- 182.

5. Полянский, Ю.А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю.А. Полянский, П.В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. НТИ / ВИНТИРАН.- 2003.- № 7.- С.8-18.

6. Филипченко С.А., Куренков П.В., Медведева Н.Л., Беспалова Н.А. Автоматизированный мониторинг парка грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт.- 2015.- № 8.- С.14-18.

7. Бубнова Г.В., Зенкин А.А., Куренков П.В., Астафьев А.В., Куприяновский В.П. Транспортные коридоры и оси в цифровой транспортной системе // Транспорт: наука, техника, управление: Сб. ОИ / ВИНТИ.- 2017.- № 7.- С.11-20.

Сведения об авторах

Лёвин Сергей Борисович, д.т.н. Российского университета транспорта (РУТ - МИИТ). Генеральный директор ООО «РРЛ» (Rail & Road Logistics), 123290, г. Москва, 1-й Магистральный тупик, 5А. Тел. 8-495-211-2112
E-mail: SL@9915535.ru.

Поспелова Любовь Николаевна, к.т.н., Самарский государственный университет путей сообщения, кафедр «Техника и технология железнодорожного транспорта».
E-mail: pospelovaln@mail.ru.

Крутова Анастасия Юрьевна, инженер, аспирант Российского университета транспорта (МИИТ).

**ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ
ОСТАНОВОЧНЫМИ ПУНКТАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Начальник научно-образовательного центра **Колин А.В.**,
аспирант **Айсина Л.Р.**
(Российского университета транспорта. РУТ - МИИТ)

**PRINCIPLES OF DETERMINING THE OPTIMAL DISTANCE BETWEEN
THE STOPPING POINTS OF RAILWAY TRANSPORT**

Head of the Scientific and Educational Center **Kolin A.V.**,
Post-graduate **Aysina L.R.**
(Russian University of Transport. MIIT)

Железнодорожные пассажирские перевозки, размещение остановочных пунктов, протяженность перегонов, пешеходная доступность, транспортная доступность, транспортные системы, МЦД, пригородно-городские.

Suburban and urban rail passenger services, selection of station locations, lengths between stations, pedestrian accessibility, transport accessibility, transport system, MCD, the Moscow Central Diameters.

В статье рассмотрены основные аспекты, оказывающие влияние на выбор места расположения остановочных пунктов пригородно-городского железнодорожного транспорта, даны рекомендации по определению оптимальных мест размещения остановочных пунктов.

This article presents the main aspects that affect the choice of the location of suburban and urban railway transport stops. The article also describes recommendations to determining the optimal location of transport stops.

Опыт ввода в эксплуатацию перевозочного пассажирского сервиса на Московском Центральном Кольце (далее – МЦК) показал высокую востребованность этого вида сервиса и необходимость интенсификации внутригородских и пригородно-городских железнодорожных пассажирских перевозок [1]. Ввод МЦК в эксплуатацию стал переломным в восприятии железнодорожного транспорта как одного из основных видов транспорта для городских нужд практически за последние 50 лет.

В 2019 году начата реализация программы интенсификации пригородно-городского движения в Московском железнодорожном узле. Новый сервис получил название «Московские центральные диаметры (далее – МЦД). МЦД призваны создать новые транспортные связи и обеспечить предоставление услуг по перевозке пассажира на высоком уровне.

Проект МЦД планирует эксплуатироваться как по уже существующим, так и по перспективным маршрутам. Для повышения уровня доступности сервиса населению планируется размещение новых остановочных пунктов или перенос местоположения существующих. Стоит отметить, что регламентирующие нормы в области размещения остановочных пунктов сервиса «городской электрички» до настоящего времени не разработаны. Существуют градостроительные документы, которые содержат предписания по размещению остановочных пунктов городского общественного транспорта, но они не учитывают специфики работы железнодорожного транспорта и поэтому не могут применяться в полной мере при реализации МЦД.

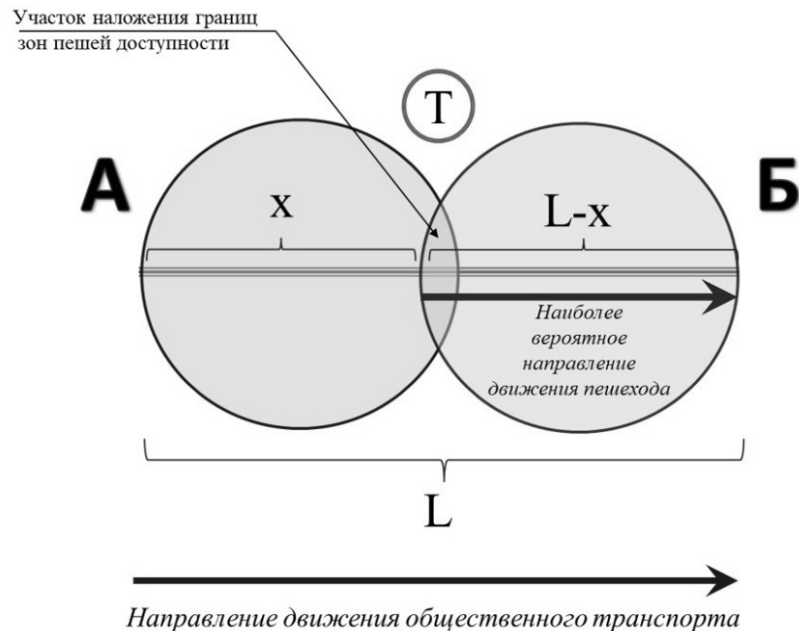
Среди отечественных ученых в области железнодорожного транспорта сложно выделить тех, кто занимался именно размещением остановочных пунктов в пригородно-городском сообщении. Однако можно отметить зарубежных ученых - Джаретта Уокера и Вукана Вучика [2, 3], занимающихся вопросами перемещения пассажиров, планировки улично-дорожной сети и размещения остановочных пунктов различных видов пассажирских сервисов.

Среди советских ученых следует отметить А.Х. Зильберталь, занимавшегося изучением размещения остановочных пунктов на трамвайных линиях в начале XX века и положившего основу для применяемых ныне нормативных значений городского планирования с учетом общественного транспорта [4]. Несмотря на то что А.Х. Зильберталь проводил исследования в 1930-х годах и на примере трамвайного транспорта, преемственность его трудов прослеживается и в работах современных ученых, в том числе и зарубежных.

А.Х. Зильберталь, Д. Уокер и В. Вучик рассматривали зоны пешеходной доступности и рассуждали о поведении пассажиров, чей путь начинается в зонах «наложения» границ доступности остановочных пунктов (рис. 1).

Д. Уокер отмечал положительное качество транспортной системы и обеспечение большей транспортной доступности при наложении границ.

А. Зильберталь и В. Вучик рассматривали возможные векторы пешего перемещения пассажира, начинающего свой путь в точке, находящейся приблизительно на равноудаленном расстоянии от двух остановочных пунктов.



Условные обозначения

- Ⓣ Точка начала движения пассажира
- A, B** Остановочные пункты
- L** Расстояние между остановочными пунктами
- x** Расстояние между остановочным пунктом «А» и точкой начала движения пассажира
- L-x** Расстояние между остановочным пунктом «В» и точкой начала движения пассажира

Рис. 1. Размещение средней точки начала движения пассажира относительно остановочных пунктов

Основным выводом из рассуждений ученых является то, что в большинстве случаев пассажир будет идти к остановочному пункту с учетом направления движения транспорта. За редким исключением - в обратном направлении, когда расстояние будет намного короче и время, необходимое для преодоления искомого расстояния, будет меньше, чем сумма времени пешего проследования к остановочному пункту по ходу движения транспортного средства и проезда одного перегона.

Согласно Зильберталю [4] средняя точка начала пути для пассажира характеризуется следующим выражением:

$$\frac{x}{v_{пеш}} + \frac{L}{v_{т.с.}} = \frac{L-x}{v_{пеш}},$$

или

$$\frac{2x}{v_{пеш}} = \frac{L}{v_{пеш}} - \frac{L}{v_{т.с.}},$$

$$x = \frac{L(v_{т.с.} - v_{пеш})}{2v_{пеш}} = \frac{L}{2} \left(1 - \frac{v_{пеш}}{v_{т.с.}} \right),$$

$$L-x = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{v_{пеш}}{v_{т.с.}} \right),$$

где $V_{пеш}$ – скорость движения пешехода, км/ч;

$V_{т.с.}$ – скорость движения транспортного средства, км/ч.

Следовательно, пассажиры, идущие вперед по движению транспорта, пройдут в среднем расстояние

$$\frac{L}{4} \left(1 + \frac{v_{пеш}}{v_{т.с.}} \right),$$

а пассажиры, идущие против движения

$$\frac{L}{4} \left(1 - \frac{v_{пеш}}{v_{т.с.}} \right).$$

Принимая равное распределение пассажиров, идущих по ходу движения и против движения, А.Х. Зильберталь пришел к выводу, что средняя протяженность пешеходного подхода для пассажира с учетом минимальных временных затрат составляет $L/4$. С учетом, что при выходе из транспортного средства пассажир руководствуется минимальным расстоянием, которое необходимо пройти пешком, дальность второго пешего прохода принимается также $L/4$. В сумме за поездку в одну сторону пассажир проходит расстояние, равное $L/2$, что соответствует времени $\frac{L}{2v_{пеш}}$.

Однако стоит учесть тот факт, что А.Х. Зильберталь в своих трудах оценивал факторы, влияющие на размещение трамвайных остановок. Большое значение также имеет то, что исследования проводились в первой половине XX века.

В. Вучик и А.Х. Зильберталь при оценке средней точки начала движения пассажира условно принимали линейное распределение подобных точек вдоль линии траектории движения транспорта, заведомо пренебрегая двухмерной системой координат. Но точки зарождения пассажиропотоков распределяются и вглубь населенных пунктов. Кроме того, планировка улиц не позволяет пассажиру пройти по прямому вектору.

Натурные наблюдения позволили оценить протяженность жилой застройки в Московской области вглубь населенного пункта относительно железнодорожной линии и принять среднее его значение в 1 км.

Если принять условные допущения, при которых, согласно А.Х. Зильберталю, потенциальный пассажир действительно проходит четверть от протяженности перегона и среднее размещение жилой застройки вдоль железнодорожной линии, можно выразить среднее расстояние (а) следующим выражением:

$$a = \sqrt{l^2 + \left(\frac{L}{4}\right)^2},$$

где а– среднее расстояние пешего подхода пассажира с учетом уточнения (рис. 2).

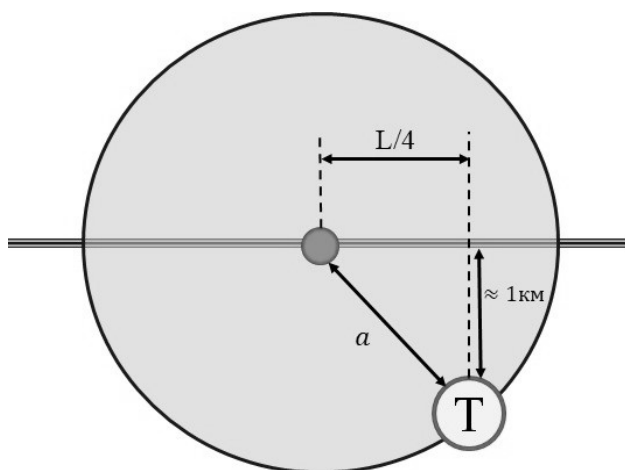


Рис. 2. Определение среднего расстояния в зоне пешей доступности

Таким образом, время пешего подхода можно найти из выражения:

$$t_{neu}^a = \sqrt{\left(\frac{1}{v_{neu}}\right)^2 + \left(\frac{L}{2v_{neu}}\right)^2}.$$

Безусловно, большая часть пассажиров может начинать свой путь на меньшем расстоянии от остановочного пункта, но в силу не прямолинейности векторов движения пешеходов в виду разветвленности улично-дорожной сети в расчетах принято максимальное расстояние пешего подхода в зоне доступности.

Достоверность принимаемых значений подтверждает и исследование, проводимое Д.Н. Власовым и И.А. Бахиревым, при оценке пешей доступности станций МЦК, которая составляет около 1,7 км [5]. Данные

исследования говорят о том, что пассажир готов пройти расстояние более 1 км в случае последующей комфортной поездки на общественном транспорте.

Для определения оптимального значения протяженности перегонов необходим расчет полного времени нахождения пассажира в пути. Для этого необходимы исходные данные, содержащие среднюю дальность поездки, время пешего подхода, время простоя на перегоне (принимается 1 мин), полное время на перегон (сумма времени проезда и времени на совершение остановки) и число перегонов (зависит от средней дальности поездки и протяженности перегона).

Согласно статистическим данным ОАО «РЖД» за 2018 год, определена средняя дальность поездки пассажира, которая представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Средняя дальность поездки пригородного пассажира железнодорожного транспорта Московского узла

Пригородное направление	Отправлено пассажиров	Пассажирооборот, пасс-км	Дальность поездки, км
Казанское	94 895 658	3 240 995 591	34,15
Ленинградское	52 714 574	2 258 895 550	42,85
Ярославское	123 500 442	3 222 529 942	26,09
Горьковское	78 403 451	2 473 188 133	31,54
Смоленское	53 951 213	1 508 870 240	27,97
Курское	51 093 412	1 543 376 573	30,21
Савеловское	48 834 406	1 313 218 041	26,89
Павелецкое	38 377 677	1 113 293 099	29,01
Рижское	43 553 001	1 076 120 966	24,71
Киевское	34 079 033	1 139 396 440	33,43
Средняя дальность поездки, км			30,7

Поскольку МЦД позиционируется как «наземное метро», в качестве расчетной маршрутной скорости приняты показатели, характерные для московского метрополитена - 40 км/ч. Средняя скорость пешеходов составляет 5 км/ч. Свиридчук Г.П. [6] получал значения оптимальных расстояний между остановочными пунктами другим способом, в результате диапазон расстояний для городской зоны составил 0,8-1,0 км, для пригородной зоны – 2,0- 2,5км. В статье авторов [7] ранее указывалась оптимальная протяженность между остановочными пунктами в диапазоне 1,5 – 2,2 км, однако учитывая проведенные исследования, расчет оптимальных расстояний актуализирован и приведен в таблице 2. При принятых исходных данных и идеальных условиях оптимальное расстояние между остановочными пунктами должно находиться в диапазоне от 2,8 до 3,1 км.

Оптимальное расстояние между остановочными пунктами в зависимости от полного времени пассажира в пути

Расстояние между остановочными пунктами, км	Время пешего подхода, ч	Время проезда по перегону, ч	Время простоя на перегоне, ч	Полное время на перегон, ч	Число перегонов	Время поездки, ч	Полное время в пути, ч
1	0,210	0,025	0,02	0,042	30,700	1,263	1,473
1,5	0,223	0,038	0,02	0,054	20,467	1,092	1,314
2	0,240	0,050	0,02	0,067	15,350	1,007	1,247
2,8	0,278	0,070	0,02	0,087	10,964	0,934	1,212
2,9	0,284	0,073	0,02	0,089	10,586	0,927	1,211
3	0,290	0,075	0,02	0,092	10,233	0,921	1,211
3,1	0,296	0,078	0,02	0,094	9,903	0,916	1,212
3,2	0,302	0,080	0,02	0,097	9,594	0,911	1,213
3,5	0,323	0,088	0,02	0,104	8,771	0,897	1,220
4	0,360	0,100	0,02	0,117	7,675	0,879	1,239
5	0,450	0,125	0,02	0,142	6,140	0,853	1,303

Однако на размещение конкретного остановочного пункта также могут влиять следующие факторы:

- план и профиль железнодорожного пути;
- данные генерального планирования территорий;
- техническая и географическая возможность размещения остановочного пункта;
- расположение остановочных пунктов иных транспортных средств;
- расположение зон генерации пассажиропотока;
- существующая и перспективная численность населения в районе тяготения [8, 9].

На привлекательность сервиса оказывает влияние расположение остановочного пункта. В Московском транспортном узле уже реализуется практика изменения месторасположения пассажирских платформ в связи с вводом в эксплуатацию новых транспортных сервисов. В качестве примера можно привести перенос платформы Северянин ближе к линии МЦК [10]. Данное мероприятие позволяет обеспечить сокращенное время пересадки, что положительно влияет на уровень пассажирского обслуживания.

Вывод

При определении мест расположения остановочных пунктов каждое направление должно рассматриваться отдельно и более детально с учетом существующей плотности населения в зонах тяготения к железнодорожным линиям и генерального плана застройки территорий. Некоторые суждения о неоптимальном расположении конкретных остановочных пунктов могут быть опровергнуты при последующем развитии городской инфраструктуры, изменении маршрутов подвозящего транспорта и т.д.

При известных исходных данных транспортного сервиса возможно определить диапазон значений оптимальных расстояний между остановочными пунктами, однако во внимание также необходимо принимать потребность поиска компромисса между охватом зоны тяготения и значениями скорости, которые влияют на суммарное время нахождения пассажира в пути.

Литература

1. Добрынина К. По кольцу все чаще: как Московское центральное кольцо изменило жизнь горожан / К. Добрынина // Ежедневная газета «Известия.Ru». – 2019. – 23 ноября. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iz.ru/>
2. Walker Jarrett. Humantransit. ISLAND PRESS, 2012. – 244 p.
3. Vuchic V.R. Urban transit: operations, planning, and economics/ – Hoboken, New Jersey: Wiley, 2005. – 672 p.
4. Зильберталь А.Х. Трамвайное хозяйство: руководство для работников трамвая и учащихся. Часть первая. Москва; Ленинград: Гострансиздат, 1932. – 304 с.
5. Власов Д.Н., Бахирев И.А. Московское центральное кольцо как катализатор мобильности жителей // Журнал «Academia. Архитектура и строительство». – 2018. – №1. – С.53-58.
6. Свиридчук Г.П. К вопросу определения расстояния между остановочными пунктами железнодорожного транспорта в городских агломерациях// Транспортное дело России. – 2017. – №1. – С.122-123.
7. Айсина Л.Р., Бакин А.А., Колин А.В. Принципы расположения остановочных пунктов пригородно-городских железнодорожных линий с учётом мировых тенденций развития пассажирских транспортных сетей. Сборник докладов II Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие территорий», Москва, 2019. – С.183-186.
8. СНиП 32-02-2003 «Метрополитены».
9. СП 120.13330.2012 – 2012. Метрополитены: свод правил. – актуализированная редакция СНиП 32-02-2003. – утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 270.
10. Портнов А. В Москве открыли новый пересадочный узел Северянин — Ростокино: / А.Портнов // Официальный сайт Мэра Москвы mos.ru/ – 2019. – 06 сентября. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru/mayor/themes/2299/5927050/>

Сведения об авторах

Колин Алексей Валентинович, начальник научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (РУТ - МИИТ),

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

Тел. +7(495)6842120 (доб.3793)

E-mail: cnkti@mail.ru.

Айсина Лилия Ринатовна, аспирант (шифр научной специальности 05.22.08) кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (РУТ - МИИТ),

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

Тел. +7(985)308-83-89

E-mail: l.r.aysina@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВАГОНАМИ ЗЕРНОЭЛЕВАТОРОВ

Доктор техн. наук, профессор **Туранов Х.Т.**

(Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова)

Кандидат техн. наук, доцент **Илесалиев Д.И.**

(Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта)

RESEARCH OF THE MATHEMATICAL MODEL OF CARRIAGE OF GRAIN ELEVATORS

Doctor (Tech.), Professor **Turanov Kh.T.**

(Tashkent State Technical University named after I. Karimov)

Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Ilesaliev D.I.**

(Tashkent Institute of Railway Transport Engineers)

Железнодорожная станция, вагоны, приёмоотправочный парк, элеватор, транспортные процессы, моделирование.

Railway station, wagons, receiving and departing fleet, elevator, transport processes, modeling.

Модель Лотки-Вольтерра получила огромную популярность и зачастую ей называют моделью «хищник – жертва» [1-6]. Данную модель можно использовать при изучении взаимодействия двух систем (железная дорога и зерноэлеваторы), учитывая при этом влияние сезонности, наличие и изменение запаса зерна в силосах и т.п. Например, в пиковые периоды сбора урожая зерна взаимодействие двух систем происходит согласно классическому уравнению Лотки-Вольтерра, а в остальное

время имеет место простой подвижного состава. Учёт этих факторов усложняет классическую модель, что приводит к появлению дополнительных слагаемых. Актуальность и практичность состоит в том, что модель может описывать взаимодействие железной дороги с элеватором.

1. Условия задачи. Железнодорожная станция (А) в соответствии с договором и заявками поставляет вагоны на приёмоотправочный парк элеватора (В) (рисунок 1).

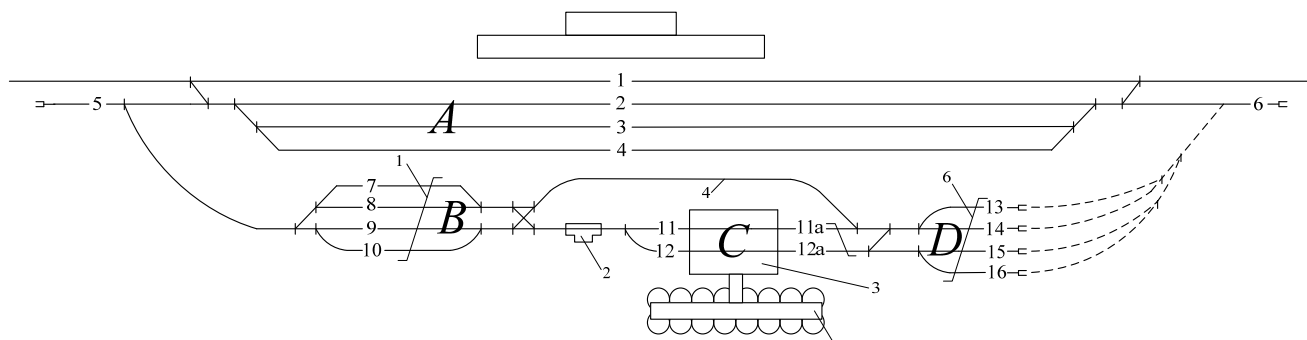


Рис. 1. Схема передвижения вагонов по подъездным путям элеватора для переработки зерновых грузов:
1 – приёмоотправочный парк; 2 – вагонные весы; 3 – погрузочный участок; 4 – ходовой путь; 5 – элеватор;
6 – парк для накопления порожних вагонов

При этом не исключается вероятность того, что на элеваторе В может находиться определённое количество вагонов, а затем по графику ритмично с технологического участка В подаются вагоны на участок С под погрузку зерна. В соответствии с технологией погрузки гружёные вагоны перемещаются на участок D для дальнейшего оформления сопроводительных документов. После этого гружёные вагоны подаются на станцию А. На этом полный цикл работы с подвижным составом предприятия завершается. Необходимо отметить, что описанный технологический процесс является непрерывным в пиковые периоды сбора урожая, а в остальное время происходит по мере надобности.

2. Поступление вагонов на станцию примыкания.

Вагоны, прибывающие на станцию для обслуживания зерноэлеваторов, представляют собой входящий поток случайных событий, а подача на погрузочный участок элеватора есть входящий поток требований. Параметром входящего потока требований является интенсивность потока. В связи с этим иногда возникают неблагоприятные ситуации, связанные с риском дефицита или профицита потребных вагонов, что приводит к осложнениям на станциях и подъездных путях. На рисунке 2 приведены фактические данные поступления вагонов на зерноэлеватор, расположенный на полигоне регионального железнодорожного узла (РЖУ) Ташкента, в течение календарного месяца.

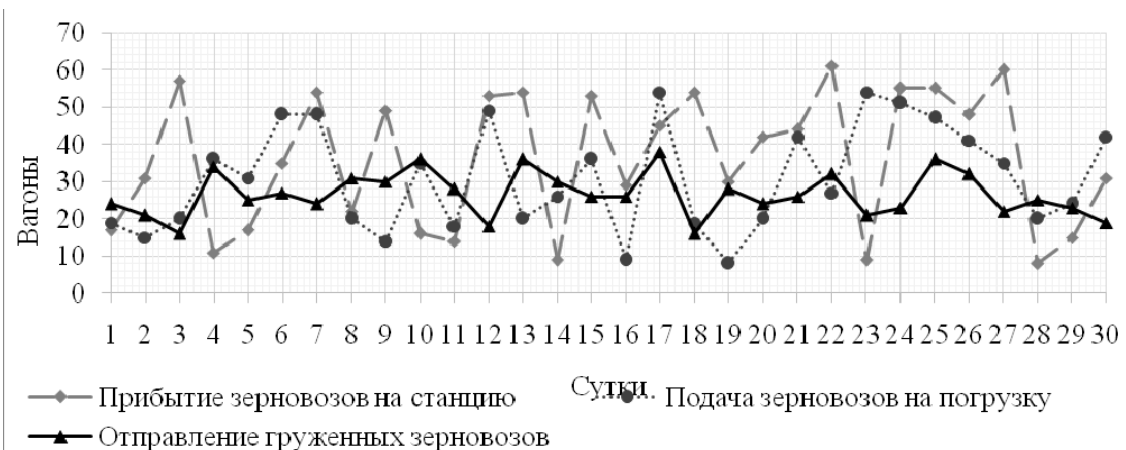


Рис. 2. График поступления и отправления вагонов в течение календарного месяца

3. Моделирование транспортных процессов взаимодействия на основе классической модели Лотки-Вольтерра. Во взаимоотношениях двух состояний вагонов - «порожние» и «груженые», между которыми ведется противостояние, можно применить классическую математическую модель «хищник-жертва», а за параметры – количественные показатели качественных характеристик вагонооборота. Поступления порожних вагонов N определяются запасами зерна в элеваторе и характеризуются величиной E . В логарифмическом виде взаимодействие двух состояний вагонов можно описать следующим образом [1]:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = aN - bNP; \\ \frac{dP}{dt} = -cP + dPN, \end{cases} \quad (1)$$

где $N(t)$ – количество порожних вагонов в момент времени t ; $P(t)$ – количество груженых вагонов в момент времени t ; a – коэффициент скорости поступления порожних вагонов на погрузку зерна; b – коэффициент влияния погрузки вагонов на скорость поступления порожних; c – коэффициент уменьшения груженых вагонов; d – коэффициент влияния порожних вагонов на скорость убыли груженых вагонов.

Система уравнений основана на следующих допущениях:

- при отсутствии запаса зерна E порожние вагоны экспоненциально простаивают в ожидании погрузки согласно уравнению $dN/dt = aN$;

- при отсутствии порожних вагонов на рынке происходит дефицит зерна согласно уравнению $dP/dt = -dP$;

- слагаемые, пропорциональные произведению NP , рассматриваются как результат погрузки зерна в вагоны, и состоит в уменьшении скорости поступления вагонов под погрузку на величину, пропорциональную запасу зерна в элеваторе.

При заданном начальном отношении количества порожних вагонов 15 к груженым вагонам 10 зададим коэффициенты, характеризующие поступление вагонов на подъездной путь элеватора, а затем на участок погрузки, имеющей размерность 1/сутки: $a=0,2$; $b=0,02$; $c=0,19$; $d=0,02$. Используем для решения системы (1) средство автоматизации математических расчётов

Mathcad 15 [5]. В результате получен фазовый портрет системы (рис. 3). На рисунке 3 приведено графическое описание, которое носит циклический характер с координатами (N, P) , движущимися вдоль замкнутой фазовой траектории вокруг точки равновесия, - положение, которое естественно зависит от параметров модели.

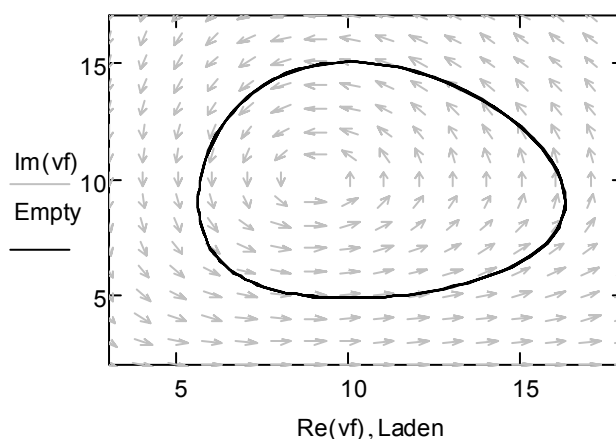


Рис. 3. Фазовый портрет системы при классической модели

На рисунке 3 видно, что при заданном начальном соотношении количества порожних вагонов к груженым вагонам 15:10 процесс повторяется вновь, как на рисунке 4. Интервал по оси абсцисс можно построить в любом временном диапазоне. Необходимо отметить, что неэллиптичность формы траектории, охватывающей центр, отражает негармонический характер колебаний.

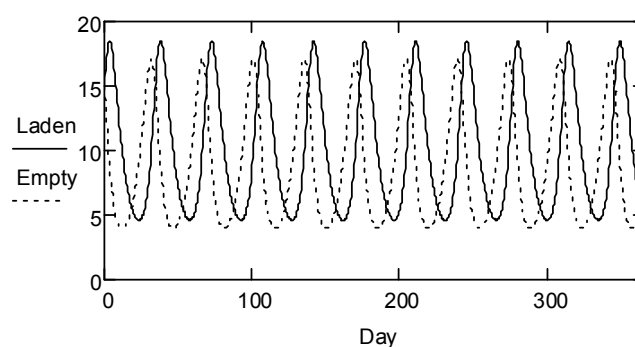


Рис. 4. График динамики изменения поступления груженых и отправления порожних вагонов

Из графика рисунка 4 видно, что вагонооборот зерноэлеватора не является равномерным и представляет собой результат решения рассматриваемого объекта.

4. Моделирование процессов взаимодействия на основе модели Лотки-Вольтерра с логистической поправкой. Зачастую в транспортных процессах имеет место «конкуренция» между типами вагонов. Чтобы это учесть, классическую модель можно расширить путём добавления слагаемых, учитывающих в «конкуренции» между типами вагонов:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = aN - bNP - eN^2; \\ \frac{dP}{dt} = -cP + dPN - fP^2, \end{cases} \quad (2)$$

где e и f – соответственно коэффициенты, характеризующие убывание количества порожних и груженых вагонов вследствие «конкуренции» между типами вагонов.

В этом случае транспортный процесс меняется в зависимости от величины и знака параметра e . При уже заданном начальном соотношении количества порожних вагонов к груженым вагонам зададим дополнительно коэффициенты $e=0,001$ и $f=0,001$. На рисунке 5 приведен фазовый портрет зависимости количества порожних вагонов от количества груженых вагонов.

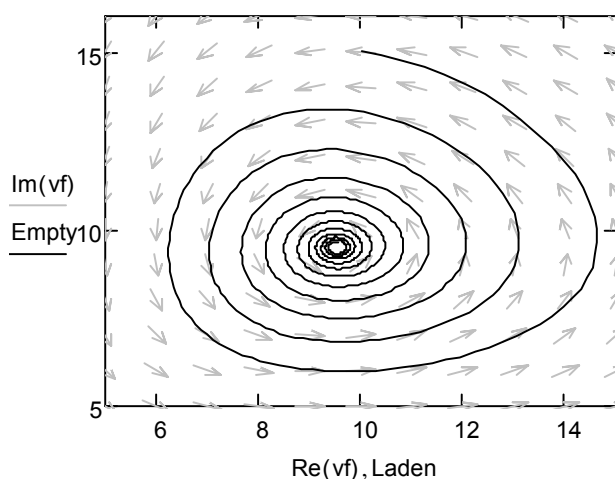


Рис. 5. Фазовый портрет системы с логистической поправкой

На рисунке 6 график изображает изменение количества порожних и груженых вагонов в течение времени (год). Этот график характеризует влияние «конкуренции» между типами вагонов, которая затухает во времени, и показывает динамику изменения поступления груженых и отправления порожних вагонов.

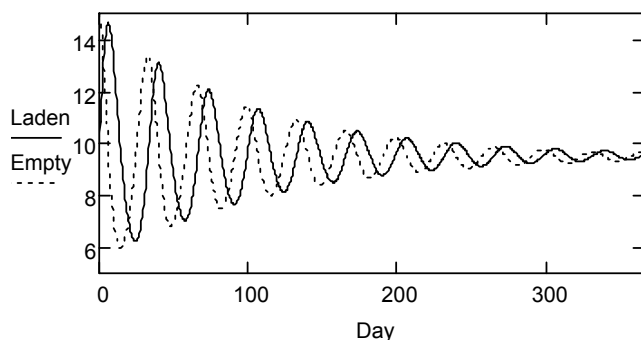


Рис. 6. График изменения количества порожних и груженых вагонов в течение времени

При отрицательном значении коэффициента e ($e = -0,001$) стационарная точка не устойчива (рис. 7), а амплитуда колебаний количества порожних и груженых вагонов растёт (рис. 8).

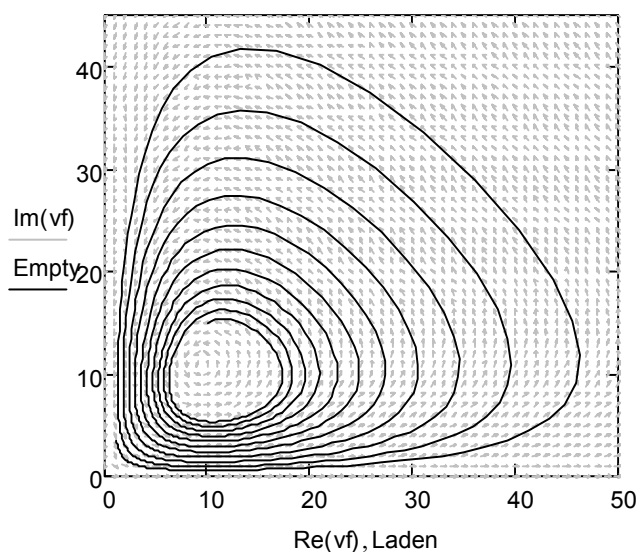


Рис. 7. Фазовый портрет системы с логистической поправкой $e=0,001$

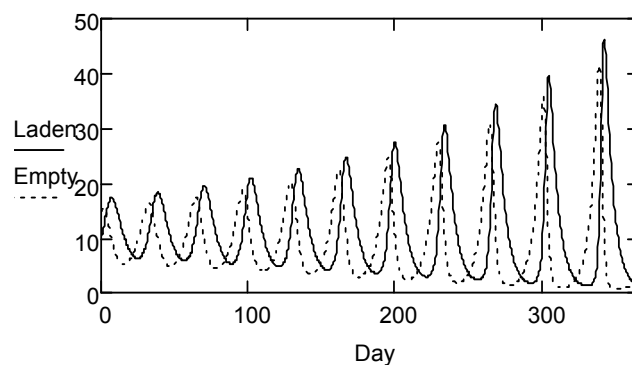


Рис. 8. График динамики изменения поступления груженых и отправления порожних вагонов

Выводы

1. Анализ прибытия и отправления вагонов показывает первоначальную несбалансированность между поступлением порожних вагонов и потребным количеством подвижного состава.
2. Для реализации задачи исследования математической модели, описывающей передвижения вагонов на подъездных путях элеватора, получен фазовый портрет системы решения, которое соответствует значениям параметров и начальным условиям задачи.
3. Методом направленного перебора найдены рациональные значения параметров системы, при которых вид фазового портрета характеризуется семейством эллиптических фигур. Такой вид фазового портрета соответствует обеспечению устойчивой работы элеватора.

Литература

1. Туранов Х.Т. Численное моделирование движения грузовых вагонов на подъездных путях промышленных предприятий Maple/ Х.Т. Туранов, Н.П. Чуев, О.Ю. Портнова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 12. – 7-14.

2. Портнова О.Ю. Риск-менеджмент в сфере обеспечения промышленных предприятий подвижным составом / О.Ю. Портнова // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 1 – С. 21-36.

3. Чуев Н.П. Мониторинг рисков и механизмы управления ими при обеспечении промышленных предприятий грузенным и порожним подвижным составом / Н.П. Чуев, О.Ю. Портнова // Транспорт Урала. – 2013. – Вып. 4. – № 39. – С. 61-70.

4. Длин М.А. Математическая статистика в технике. – М: Советская наука, 1958. – 466 с.

5. Плис А.И., Сливина Н.А. *Mathcad*. Математический практикум для инженера и экономистов: Учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 656 с.

6. Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/14. – М: ДМК Пресс, 2011. – 800 с.

Сведения об авторах

Туранов Хабибулла Туранович, доктор техн. наук, профессор Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова (ТГТУ).

Узбекистан, 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2А.

Тел. моб.: (+99890) 937-46-70.

E-mail: khturanov@yandex.ru.

Илесалиев Дауренбек Ихтиярович, кандидат техн. наук, доцент кафедры «Транспортная логистика и сервис» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ).

Узбекистан, 100067, Ташкент, ул. Одылходжаева, 1.

Тел. моб.: (+99899) 806-41-99.

E-mail: ilesaliev@mail.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ В ВАГОНАХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

Аспирант **Безруков Д.Д.**

(Российский университет транспорта. РУТ - МИИТ)

Выпускник-бакалавр **Луканькин А.Д.**

(Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета

Высшая школа экономики им. А.Н. Тихонова. МИЭМ НИУ ВШЭ)

TECHNOLOGY OF OPTIMAL LOADING CARGO IN CARS OF HIGH-SPEED CARGO TRAINS

Post-graduate **Bezrukov D.D.**

(Russian University of Transport. RUT - MIIT)

Post-graduate **Lukankin A.D.**

(HSE Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics. MIEM HSE)

BCM-2, система регулирования смещения центра тяжести вагона (ЦТ), геометрический центр масс, трапециевидный вид загрузки, экспоненциальный вид загрузки.

HSR-2, a system for controlling the displacement of the car's center of gravity (CT), geometric center of mass, trapezoidal type of load, exponential type of load.

Данная статья отражает один из этапов разработки системы регулирования смещения центра тяжести вагона, реализуемой в высокоскоростном поезде, адаптированном для осуществления перевозок тарно-штучных грузов. В статье представлен подход к решению задачи по распределению нагрузки от перевозимых грузовых единиц (ULD) с целью минимизации воздействия динамических сил на подвижной состав.

This article is one of the research steps of designing system for regulation the center-of-gravity shift in a high speed freight train, adopted for packages transportation. There is an approach for solving problem of partitioning ULD load to minimize the effect of different dynamic forces on the train.

Основное направление деятельности грузоперевозок в рамках проекта высокоскоростного грузопассажирского железнодорожного транспортного коридора «Евразия» (ВСК «Евразия») – транспортировка товаров из Китая в Европу транзитом через Россию [1].

Авторы настоящей статьи рассматривают возможность применения высокоскоростных поездов для связи крупных промышленных и экономических центров нашей страны (городов, предприятий) посредством постоянного обмена товарами, прежде всего, высокодоходными (сборные и тарно-штучные грузы, широкий ассортимент товаров народного потребления, легковые автомобили, продукты питания, скоропортящиеся грузы и т.д.). Это должно привести к прекращению оттока грузов второго и третьего тарифных классов на альтернативные виды транспорта, в т. ч. на автомобильный [2]. При таком способе эксплуатации поезд совершает ряд промежуточных остановок для осуществления частичных погрузочно-разгрузочных операций, в ходе которых происходят изменения масс вагонов и смещения их центров тяжести (ЦТ). В перспективе увеличения скоростей движения и/или масс поездов вопрос минимизации смещения ЦТ становится наиболее актуальным.

В исследовании корейских инженеров [3] представлена эвристическая модель поиска решения по оптимальному размещению перевозимых пакетированных грузовых единиц (ULD) в перспективном высокоскоростном поезде Cargo Transite Xpress (CTX) [4, 5] с целью

минимизации смещения ЦТ вагона, разницы в весе между вагонами, а также сокращения времени погрузочно-выгрузочных операций на промежуточных остановочных пунктах. Однако данная модель сама по себе не способна полностью решить поставленную задачу ввиду технической невозможности постоянного поддержания оптимального положения ЦТ после осуществления операций по частичной погрузке-разгрузке.

Возможным решением настоящей проблемы является внедрение системы регулирования смещения ЦТ.

Основными элементами системы являются:

1. Программное обеспечение (ПО), формирующее схемы расположения ULD, в соответствии с которыми механизм осуществляет перемещение ULD.

2. Механизм перемещения ULD, который состоит из перекрестных транспортеров, позволяющих перемещать пакетированные ULD влево, вправо, вперед, назад, и специальных фиксаторов (принцип действия схож с применяемым в авиации). Функционирование происходит на основе алгоритма, отвечающего за работу перекрестных транспортеров. В задачу алгоритма входит перемещение ULD в соответствии с начальными и конечными схемами расположения груза за наименьшее время [6].

Данная статья является первым этапом разработки программного обеспечения с целью разработки подхода к решению задачи по размещению произвольного количества ULD в n -вагонный поезд, следующий от пункта отправления до пункта назначения без промежуточ-

ных остановок, с учётом заданных ограничений. Все ULD схожи по габаритам, но различны по весу.

За основу для разработки математической модели выбрана и подвергнута доработке целевая функция из статьи [3]. Изначально в целевой функции представлены три условия оптимальной загрузки поезда:

- минимальная разница массы груза между передней и задней частью каждого вагона;
- минимальная разница массы груза между продольными частями каждого вагона;
- минимальная разница масс вагонов. Вагоны поезда имеют минимальную разницу в весе.

В качестве научной новизны предлагается:

1. Вместо вычисления разницы в весе между частями вагона, применить формулу расчёта центра масс.
2. Минимальную разницу в весе между вагонами заменить выражением, которое минимизирует разницу в весе между загрузкой каждого вагона и выбранного заранее ограничивающего дискретного множества. Граничное множество составляется с использованием известных зависимостей: кусочно-линейной и экспоненциальной. Применение экспоненциальной зависимости позволит минимизировать продольные усилия при прохождении поворота груженого поезда [7].

Постановка задачи

Рассматривается высокоскоростной поезд, перевозящий ULD на авиационных поддонах РYВ-Q6 из пункта А в пункт Б, [8] (проектные характеристики указаны в таблице 1).

Таблица 1.

Проектные эксплуатационные характеристики высокоскоростного поезда и ULD необходимые для реализации математической модели

Наименование показателя	Значение показателя
Количество вагонов в составе, ед.	8 (2 головных, 6 промежуточных)
Грузоподъёмность каждого вагона, т	промежуточный – 20 головной – 15
Количество осей в вагонах, ед.	4
Количество мест для ULD, ед.	промежуточный вагон – 18 головной – 10
Осевая нагрузка (без учета веса тары вагона), т/ось	5
Габариты кузова вагона (Д x Ш), м	промежуточный – 24,2 x 3,36 головной – 26,764 x 3,36
Габариты пола грузового отсека вагона (Д x Ш), м	промежуточный – 24 x 3,14 головной – 13,5 x 3,14
Габариты поддона РYВQ6 (Д x Ш), м, [9]	2,438 x 1,4
Вес нетто РYВQ6, т	0,1
Весбрутто РYВ Q6, т	2,6

Предполагается, что перед отправлением доступна следующая информация о перевозимых грузах: количество ULD, пункт отправления, пункт назначения, масса ULD. Требуется определить такую схему загрузки поезда, при которой обеспечивается безопасное движение на протяжении всего железнодорожного маршрута из пункта А в пункт Б.

Описание параметров модели

Для последующего моделирования и формирования оптимизационной задачи введем некоторые обозначения, описывающие рассматриваемый объект исследования:

M_i – масса грузов i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

$M_{\max}^i$ – предельно допустимое значение массы, которое можно разместить в i -ом вагоне, $\forall i = 1, \dots, 8$.

μ – множество значений экспоненты, ограничивающее массу грузов i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

m_{ij} – масса j -го ULD, размещенного в i -ом вагоне, $\forall i = 1, \dots, 8; \forall j = 1, \dots, 8$.

C_i – двумерный вектор, определяющий положение центра масс i -го вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

G_i – множество двумерных векторов, задающих геометрические центры каждого вагона, $\forall i = 1, \dots, 8$.

L – величина, ограничивающая расстояние между центром масс (C_i) и геометрическим центром масс (G_i).

α_1, α_2 – веса слагаемых целевой функции.

$x_{ij} \in \{0, 1\}$. $x = 1$, если j -ая единица ULD размещена в i -ом вагоне. В противном случае, $x = 0$.

Математическая модель

Принимая во внимание введенные выше обозначения, сформулируем экстремальную задачу.

Рассматривается функционал вида:

$$F = \alpha_1 \cdot \sum_{i=1}^8 (\mu_i - M_i) + \alpha_2 \cdot \sum_{i=1}^8 \|C_i - G_i\| \rightarrow \min, \quad (1)$$

На объекте:

$$\sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq M_{\max}^i, \forall i = 1, \dots, 8, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq \sum_{i=1}^8 M_{\max}^i, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{18} m_{ij} \cdot x_{ij} \leq \mu_i, \forall i = 1, \dots, 8, \quad (4)$$

$$\|C_i - G_i\| \leq L, \forall i = 1, \dots, 8, \quad (5)$$

Функционал качества (1) содержит два слагаемых:

1. $\sum_{i=1}^8 (\mu_i - M_i)$. Оно взвешивается коэффициентом

α_1 и определяет сумму близостей суммарных масс грузов i -го вагона к j -му элементу из заданного множества μ , где $\mu_i \in \mu$.

2. $\sum_{i=1}^8 \|C_i - G_i\|$. Слагаемое взвешивается коэффициентом α_2 и задает сумму расстояний между положением центра масс и геометрическим центром масс каждого из вагонов.

Неравенство (2) задает ограничение на суммарную массу i -го вагона, где x_{ij} – элемент, принадлежащий

множеству $\{0, 1\}$ и определяющий наличие груза в i -ом вагоне на j -ой ULD. Неравенство (3) ограничивает суммарную массу ULD грузоподъемностью вагонного состава. Выражение (4) ограничивает сумму масс грузов i -го вагона значением μ_i , где $\mu_i \in \mu$. Неравенство (5) накладывает ограничение на расстояние между центром масс и геометрическим центром масс.

Математическая модель, описываемая уравнениями (1) – (5), является некоторой абстракцией. Для конкретизации задачи необходимо задавать параметры, ограничивающие область изменений значений объекта. Таким образом, для того чтобы сформулировать конечную задачу, необходимо определить:

- грузоподъемность каждого вагона ($M_{\max}$);
- массу каждого ULD (M_i);
- множество значений, определяющее способ загрузки ULD во всем поезде μ ;
- геометрический центр масс G ;
- максимально допустимое расстояние между центром масс и геометрическим центром масс L .

Согласно таблице 1 высокоскоростной товарный поезд состоит из 8 вагонов, 2 из которых являются головными, остальные 6 – промежуточные. Также известна грузоподъемность каждого типа вагонов: головных вагонов – 15 т, промежуточных – 20 т. На основании этой информации можно сформировать множество $M_{\max}$.

$$M_{\max} = \{15, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 15\}, \quad (6)$$

Вопрос выбора оптимального способа погрузки является достаточно сложным, поскольку он должен соответствовать как экономическим, так и физическим потребностям. В данной статье рассматриваются 2 способа загрузки вагонов поезда: трапециевидный и экспоненциальный.

При трапециевидном варианте загрузки поезда каждый вагон загружается ULD, суммарная масса которых не превышает грузоподъемность данного вагона. На рисунке 1 изображен график трапециевидной загрузки. Нумерация вагонов производится слева направо. Значения μ_i обозначены на графике.

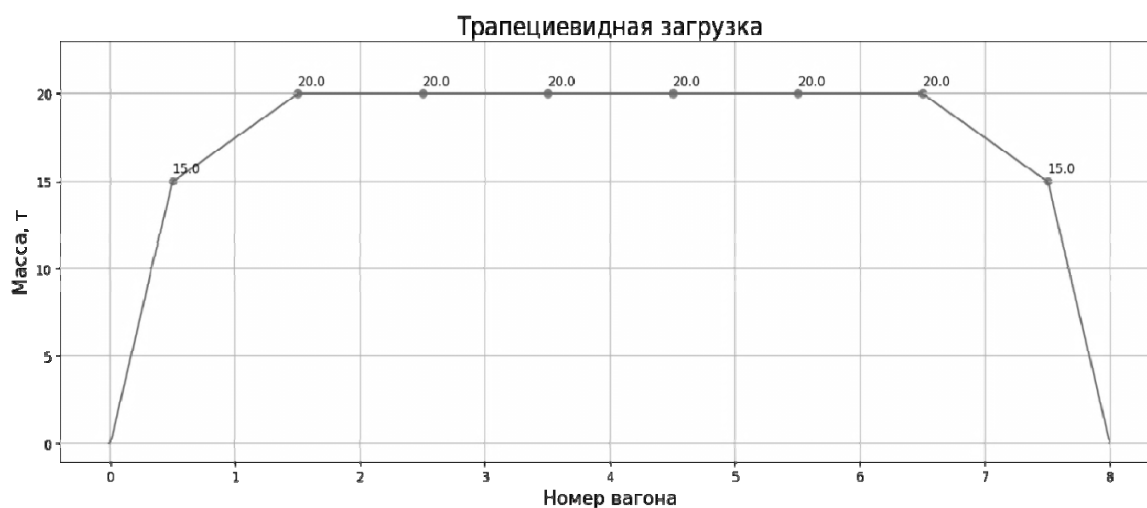


Рис.1. Трапециевидный тип загрузки поезда

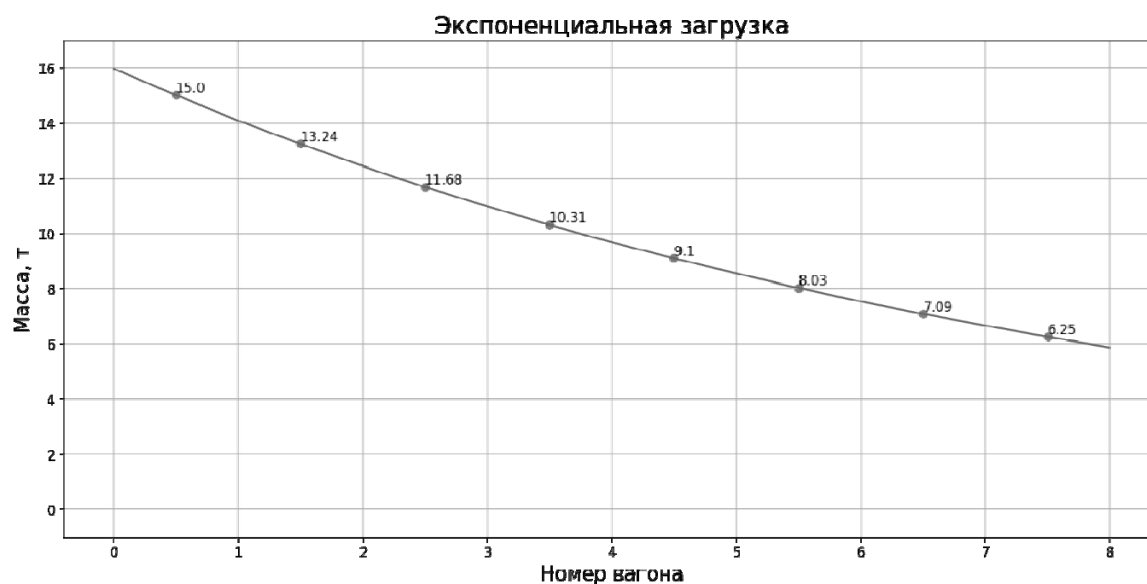


Рис.2. Экспоненциальный тип загрузки поезда

На основании известных значений элементов множества $M_{\max}$ можно определить μ^{trap} :

$$\mu^{\text{trap}} = \{15, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 15\}, \quad (7)$$

В случае экспоненциальной схемы загрузки предполагается, что суммарная масса тар каждого вагона экспоненциально убывает в зависимости от номера вагона. Так, первый вагон загружается грузами, суммарная масса которых приблизительно равна значению грузоподъемности вагона, суммарные массы тар последующих вагонов будут экспоненциально убывать. По аналогии с трапециевидной загрузкой был построен график экспоненциальной загрузки, изображенный на рисунке 2.

Данный график получен путем масштабирования функции экспоненты из отрезка $[0, 1]$ в отрезок $[0, 8]$. Масштабирование значений функции производилась с помощью коэффициента, рассчитываемого для первого вагона так, чтобы масса груза составляла 15 т. Середина отрезка по оси ОХ представляет собой центр вагона: номер вагона – правая граница отрезка. Таким образом, для первого вагона коэффициент масштабирования γ рассчитывался по формулам (8) и (9):

$$z = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} (y_{\max} - y_{\min}) + y_{\min} = \frac{0.5 - 0}{8 - 0} \cdot (1 + 0) - 0 = \frac{1}{16}, \quad (8)$$

где z – отмасштабированная переменная на новый интервал.

$$\gamma = \frac{m_-}{\exp(-z)} = \frac{15}{\exp\left(-\frac{1}{16}\right)}. \quad (9)$$

Таким образом, в случае экспоненциального типа загрузки множество μ определяется так:

$$\mu^{\text{exp}} = \{15, 13.2, 11.7, 10.3, 9.1, 8, 7.1, 6.3\}. \quad (10)$$

Выбор параметра максимального смещения центра масс связан со значением суммарной массы грузов в i -ом вагоне в соответствии с [10].

Для получения множества геометрических центров необходимо рассмотреть расчётные схемы головного и промежуточного вагонов, где указаны их габариты. На рисунке 3 изображена схема головного вагона.

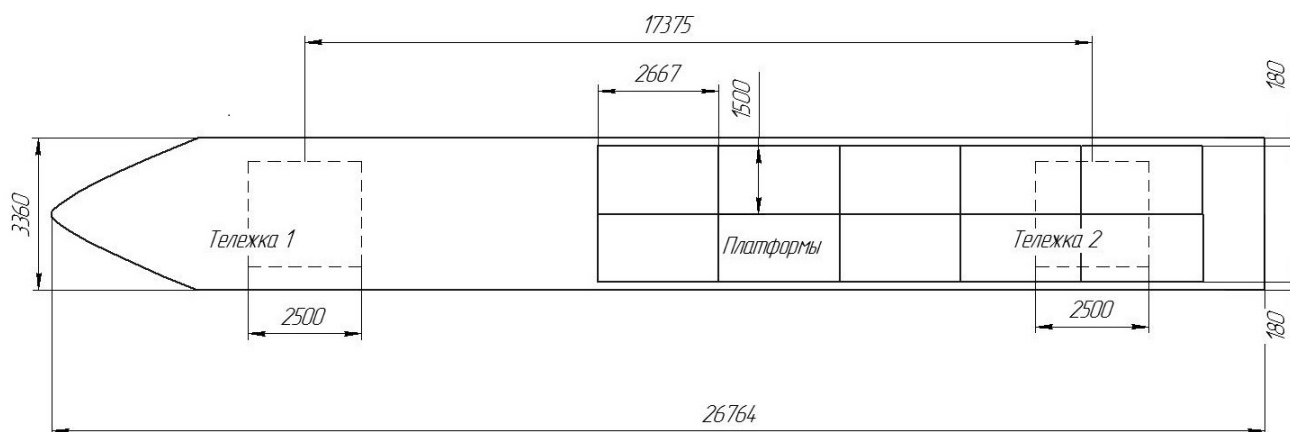


Рис. 3. Расчётная схема головного вагона высокоскоростного грузового поезда (вид сверху)

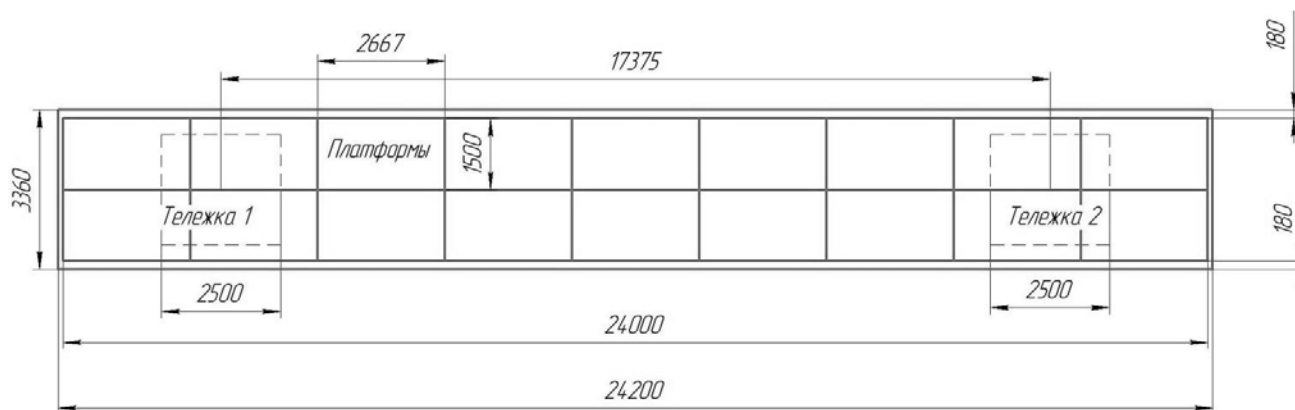


Рис. 4. Схема промежуточного вагона высокоскоростного грузового поезда

Учитывая параметры вагона, нетрудно определить координаты геометрического центра. Левая часть вагона помещается в начало декартовой системы координат, после чего производятся арифметические вычисления.

$$G_{1,8} = \begin{pmatrix} 13,382 \\ 1,68 \end{pmatrix}$$

Аналогичные рассуждения и расчеты проводятся и с данными промежуточного вагона, схема которого представлена на рисунке 4.

Координаты геометрического центра промежуточного вагона:

$$G_{2,3,4,5,6,7} = \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, обобщая полученные результаты координат геометрических центров, получаем множество двумерных векторов G :

$$G = \left\{ \begin{pmatrix} 13,382 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 12,1 \\ 1,68 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 13,382 \\ 1,68 \end{pmatrix} \right\}$$

В данном разделе были проведены работы, итогами которых стали построенная математическая модель погрузки поезда и определенные параметры модели для различных подходов к решению задачи. В следующем разделе будут рассмотрены конечные задачи с установленными граничными значениями.

Подход к решению задачи

Решение поставленной задачи предлагается искать путем bruteforce (полного перебора) с применением некоторых эвристик для повышения быстродействия разрабатываемого алгоритма. Предлагается искать ответ в два этапа:

1. Предварительная обработка данных о транспортируемом грузе.

2. Составление схемы размещения грузов в поезде.

На первом этапе выбирается способ загрузки вагонов поезда (трапециевидный или экспоненциальный), после чего происходит формирование очередей грузов, которые будут распределены по вагонам.

На следующем этапе происходит непосредственное вычисление оптимальной схемы загрузки. Иными словами, ищется решение задачи (1)–(5).

Этап 1. Предварительная обработка данных о транспортируемом грузе.

Первым шагом предобработки данных является сортировка всех грузов, которые необходимо транспортировать из пункта А в пункт Б, в порядке убывания по массе. Затем разделяется совокупность грузов на 8 подгрупп (число подгрупп соответствует числу вагонов). Предполагается, что масса грузов распределена равномерно на отрезке $[0, 1.5]$.

0	Начало алгоритма
1	Сортировка грузов по убыванию значения массы
2	Разбиение последовательности грузов на 8 подгрупп, где количество грузов в подгруппе равно числу доступных мест в вагоне
3	Для каждой подгруппы из подгрупп
4	Подсчет суммы масс грузов подгруппы
5	Случай, если сумма масс грузов подгруппы больше предельной загрузочной массы
6	Удаляем из подгруппы тяжелый элемент
7	Переходим на новую итерацию с этой же подгруппой
8	Конец алгоритма

Этап 2. Составление схемы размещения грузов в поезде.

Последовательность действий второго алгоритма начинается с распределения загрузочных очередей в вагоны. Циклично загружается каждый вагон, начиная с головного. Для загрузки каждого вагона строятся возможные комбинации решений, среди которых находится оптимальное с точки зрения введенного функционала качества (1). Каждая новая итерация верхнего цикла находит оптимальную схему загрузки для текущего вагона.

0	Начало алгоритма
1	Для каждого вагона из состава поезда
2	Для каждого груза из загрузочной подгруппы номер подгруппы соответствует номеру вагона
3	Заполнить схему вагона текущим грузом
4	Посчитать значения слагаемых функционала качества
5	Случай, если значения слагаемых функционала качества минимальны
6	Текущая загрузочная схема вагона оптимальная
7	Конец алгоритма

Авторы статьи видят два возможных пути реализации алгоритма решения второго этапа. Поскольку заранее оговаривалось, что поиск решения будет реализован методами полного перебора - bruteforce, то предлагается рассмотреть алгоритм обхода графа в глубину и перебор всевозможных вариантов комбинаций с добавлением некоторых эвристик для ускорения работы алгоритма.

Заключение

Предложенное решение погрузки поезда позволяет обеспечить безопасность движения на протяжении всего маршрута от пункта отправления до пункта назначения. При наличии в маршруте промежуточных остановочных пунктов для совершения погрузочно-разгрузочных операций, потребуется проработка следующих алгоритмов:

- размещения определенных ULD у дверей внутри вагона для подготовки к выгрузке на промежуточном остановочном пункте;

- размещения части «ядра» (ULD, не предназначенные для выгрузки на конкретном остановочном пункте) на платформе, оснащенной идентичным механизмом перемещения ULD как в вагоне, с последующей загрузкой обратно в вагон.

Литература

1. ВСМ «Евразия»// Официальный сайт АО «Скоростные магистрали». - [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hsrail.ru/info/silkway/>.
2. Хусаинов Ф.И. Влияние структуры погрузки и грузооборота на доходность грузовых перевозок ОАО «РЖД» // Транспорт Российской Федерации – 2018. – №3 (76). – С. 29-32
3. Dong-jin Noh, Byung-In Kim, Hyunbo Cho, Jun-Seo Park. A multi-leg load-planning algorithm for a high-speed freight train // International Journal of Industrial Engineering. – 2016. – 23(3). – 183-194.
4. Junghwa Oh, Dongjoo Park, Hyeongjun Park, Junseo Park, Keunul Yang. A study on future demand forecasting for CTX, the Cargo Train eXpress // Материалы к весенней конференции Кореяского железнодорожного общества – 2015.

5. Wooseok Do, Dongjoo Park, Hyeongjun Park, Jaehyun Park, Junseo Park. A study on selection of appropriate commodity for CTX system // Материалы к весенней конференции Корейского железнодорожного общества – 2014.

6. Безруков Д.Д., Пономарёв Е.А. Технология автоматического перемещения грузов в вагонах перспективных высокоскоростных грузовых поездов // Транспорт: наука, техника, управление. ВИНТИ РАН – 2019. – №5. - С. 36-42.

7. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. М.: Транспорт, 1991.-358с.

8. Представление о грузовом подвижном составе // Официальный сайт CRRC CRC. - [Электронный ресурс]. URL: <http://www.crrccg.cc>

9. Спецификация паллет и контейнеров // Официальный сайт AirBridgeCargo. - [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airbridgecargo.com/ru/page/70/tipw-pallet-i-kontejnerov-uld/>

10. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах: утверждены МПС РФ от 27 мая 2003 года № ЦМ-943. - [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68221/

Сведения об авторах

Безруков Дмитрий Дмитриевич, аспирант кафедры Коммерческая эксплуатация транспорта и тарифы, Российский университет транспорта (МИИТ),

127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9. РУТ (МИИТ).

Тел. моб.: +7 985 341 80 71, тел. дом. 8 495 372 36 43.

E-mail: dbezrukov22@yandex.ru.

Луканькин Александр Дмитриевич, выпускник-бакалавр факультета прикладной математики специальности «Математическое моделирование, управление и обработка информации», Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета Высшая школа экономики им. А.Н. Тихонова,

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1. МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тел.: +7 925 4712014.

E-mail: slukankin@yandex.ru.

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ И ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ
АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Доктор техн. наук, профессор **Сафиуллин Р.Н.**
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»)

Адъюнкт **Морозов Е.В.**
(Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева)

**METHODOLOGY FOR SUBSTANTIATION OF TECHNICAL REQUIREMENTS AND ASSESSMENT
OF CHARACTERISTICS OF MEASURING MEANS OF AUTOMATED CONTROL OF MOTION
OF VEHICLE TRANSPORT**

Doctor (Tech.), Professor **Safiullin R.N.**
(St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering ")
Adjunct **Morozov E.V.**
(Military Academy of Logistics, named after Army General A.V. Khrulev)

Автомобильный транспорт, измерительные средства, методика, автоматизированная система управления контроля движения автомобильным транспортом.

Automobile transport, measuring instruments, methodology, automated control system for traffic control by automobile transport.

Сформирован единый подход к обоснованию требований к системе автоматизированного контроля движения (САКД) как системе средств измерения – идентификация – контроля движения АТС. Исследования показали, что для формирования требований к измерительным средствам САКД целесообразно использовать методику, заключающуюся в выборе из сформированной области поиска оптимального решения с учетом схемы компромисса, соответствующей заданной концепции технико-экономической политики в этой области.

A unified approach has been formulated to justify the requirements for an automated motion control system (SACD) as a system of measuring instruments - recognition - motion monitoring of ATS. The studies showed that to formulate the requirements for SACD measuring tools, it is advisable to use a methodology, which consists in choosing the optimal solution from the generated search area taking into account the compromise scheme corresponding to the given concepts of technical and economic policy in this area.

Введение

В настоящее время все системы управления сложных технических объектов строятся на основе использования многоуровневых, микропроцессорных систем адаптивного управления с распределенными функциями обработки информации, которые объединены в единую сеть. Развитие автоматических систем на транспортных средствах обеспечило внедрение систем и средств автоматизации контроля их движения, к созданию интеллектуальных систем управления, рассчитанное на повышение эффективности эксплуатации и безопасности дорожного движения. Для идентификации транспортного средства в процессе движения на современном этапе развития беспилотных технологий есть необходимость совместить существующие системы, технические средства организации движения и электронные системы управления автомобильного транспорта. Эти разные по быстродействию системы определили аппаратную структуру подсистем с учетом обеспечения живучести и надежности технических средств, а также распределение ресурсов на эксплуатацию.

Поэтому появились проблемы в практической реализации формирования данных систем при интеграции их в одну общую систему, обеспечивающую одновременное решение большого количества задач контроля дви-

жения транспортных средств, что и определяет требования к функционированию систем автоматизации контроля движения АТС в реальном времени. В результате появилась необходимость осуществлять создание систем автоматизации контроля движения на базе современных технических средств безопасности дорожного движения. Это позволит не только обеспечить дальнейшее развитие средств автоматизации на транспортных средствах, но и интеграцию систем управления техническими средствами контроля движения транспортной инфраструктуры в единую систему, которая решит круг задач по оптимальному использованию традиционных и робототехнических транспортных средств:

- формирование рекомендаций по рациональному управлению транспортными средствами в различных условиях;
- разработка адаптивных систем управления транспортными средствами в реальных условиях эксплуатации АТС и т.д.

Совместимость подсистем управления АТС и систем автоматизации контроля движения различных уровней дает возможность осуществить взаимный обмен информацией при решении различных задач управления с учетом заданной целевой функции. Это позволит ре-

шить задачу повышения эффективности использования транспортных средств, снижения численности регуляторов, обеспечивающих контроль и безопасность эксплуатации транспортных средств, обеспечить интеграцию процессов управления при формировании комплексных транспортных систем при движении АТС.

Разработка интеллектуальных средств управления системой автоматизации контроля движения транспортных средств позволит объединить в себе функции контроля движения, сигнализации, диагностирования, регулирования охраны (защиты), управления и т.д., что позволит повысить эффективность эксплуатации АТС, оптимизировать режимы их использования, и, в конечном итоге, перейти от автоматизированных систем контроля движения (управления) к автоматическим режимам.

Основная часть. В настоящее время идентификация объектов на транспортной инфраструктуре с одновременным формированием измерительной информации реализуется с помощью программно-аппаратных комплексов. Мобильная система автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта рассматривается как совокупность двух подсистем: измерения и распознавания. Для обоснования технических требований и оценки измерительных средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта была разработана методика определения критериев оптимальности функционирования систем автоматизиро-

ванного контроля движения с учетом влияния различных факторов. Определен алгоритм оценки и выбора оптимальных технических характеристик перспективных измерительных средств автоматизированного контроля движения в различных технико-экономических концепциях. Аспекты, которым уделялось повышенное внимание в рамках исследования, были следующие:

- применимость ко всем типам автоматических технических средств контроля движения, как на начальной стадии жизненного цикла, так и на стадии реализации их функций;
- простота восприятия;
- соответствие целям и задачам обеспечения контроля движения транспорта в различных условиях на всех уровнях.

Каждой стадии разработки систем автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта должен соответствовать свой подход в оценке их эффективности, изображенной на рисунке 1. Идея того или иного решения должна быть востребована организациями и учреждениями [1-3], обеспечивающими функционирование данных средств, и иметь потенциальные возможности. Пилотный проект должен отработать модели и пройти испытания, которые бы подтвердили эффективность его реализации и соответствие решаемым задачам, широкомасштабное внедрение должно быть сконцентрировано на отслеживании результатов воздействия до реализации.



Рис. 1. Жизненный цикл оптимальных характеристик измерительных средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта

В целом, для того чтобы произвести оценку оптимальных значений характеристик измерительных средств, выполнено следующее:

- точное описание деятельности и среды применения технических средств, для которых было разработано то или иное приложение систем автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта с целью подтверждения фактических результатов и их сопоставления с результатами других аналогичных проектов при их реализации;
- уточненное описание определенных и недвусмысленных индикаторов для оценки сопоставления результатов на различных уровнях, способов проведения ис-

следования с целью упростить восприятие полученных результатов;

- указание на уровень пригодности полученных результатов для статистического анализа.

Затем выясняются задачи оценки и параметры, подлежащие оцениванию. В частности, особое внимание уделяется безопасности, эффективности, пригодности со стороны пользователя ПО (качество), унификации (встраиваемости), доступности.

Методика. В процессе исследования, во-первых, рассматривались технические характеристики измерительных средств систем автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта, на основании

которого анализируются статистические данные, производится оценка их эффективности. Во-вторых, изучались вопросы передачи результатов, в частности, определялось, насколько результаты, полученные в процессе оценивания, могут быть применимы при реализации аналогичных систем; отмечались местные, внешние и привнесенные особенности, которые могут оказать влияние на результаты; было составлено несколько оценочных отчетов. Данный раздел может служить для целей сравнительного анализа и принятия решения по передаче результатов.

Систему автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта, позволяющую производить измерения в автоматическом режиме, в зависимости от местоположения датчика, устройства могут подразделяться на две категории: стационарные и мобиль-

ные. Измерительные устройства размещаются в заданных точках дорожной сети и предназначены для измерения трех динамических переменных: скорости, расположения и интенсивности движения. Устройства распознавания АТС включают в себя: активные и пассивные инфракрасные датчики, микроволновые (СВЧ) локаторы, ультразвуковые и пассивные акустические датчики, видеорегистраторы.

Выбор той или иной технологии для контроля движения АТС сложен и будет зависеть от разных аспектов (более или менее важных) ее конкретного применения. Несмотря на это, имеется возможность выделить ряд удобных в обращении критериев, с помощью которых можно выбрать именно тот, а не иной тип датчика (рис. 2).

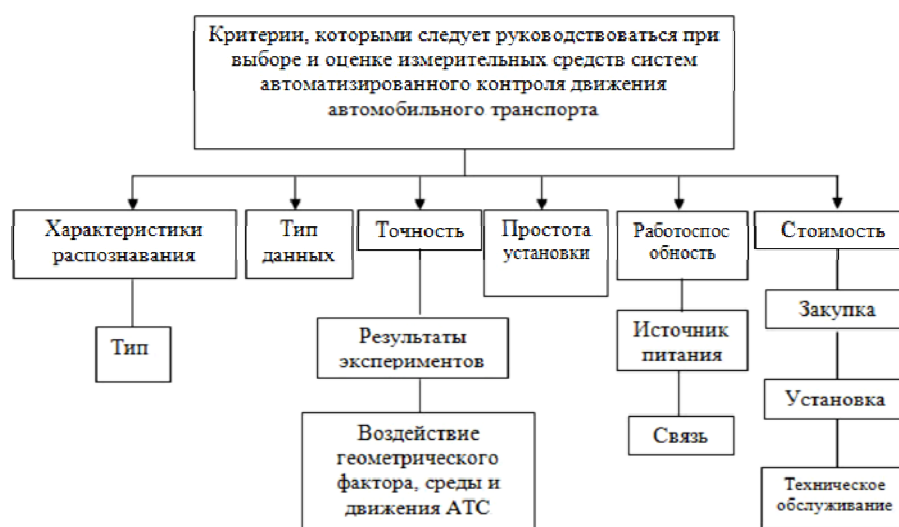


Рис. 2. Критерии, которыми следует руководствоваться при выборе и оценке измерительных средств систем автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта

Основные критерии, которые необходимо учитывать при выборе подходящей системы автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта, следующие: режим сбора данных; использование устройств и сбора данных.

Процесс выбора системы автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта должен быть основан на способе обработки данных. При этом следует различать непрерывную идентификацию и временную идентификацию.

Под непрерывной идентификацией понимается процесс сбора и обработки данных с учетом точной установки устройств распознавания в определенных местах, позволяющих постоянно вести комплексные измерения по объекту наблюдения. Временная идентификация учитывает частичный сбор и обработку данных в ограниченный промежуток времени при условии установки датчиков в определенных точках на ограниченном участке местности. При этом необходимо учитывать следующие требования:

- установка устройства производится без помех (или с минимальными помехами) для движения АТС;
- возможность использования существующих инфраструктурных сооружений;
- простота установки и тарирования устройств. Поскольку время, отводимое на сбор данных, ограничено, нет смысла тратить много времени на проведение этих работ;

- устройства способны запоминать и передавать данные;
- питание устройств от аккумуляторов. Эти устройства, питающиеся от аккумуляторов или солнечных батарей, могут устанавливаться там, где источники энергии отсутствуют;
- низкая стоимость.

При функционировании средств распознавания необходимо дополнительно учитывать следующие факторы: электроснабжение (проверить возможность подключения к электросети), способы передачи данных и их архивирование. В районах с большим количеством солнечных дней в году можно использовать энергию Солнца. В подобной установке можно задействовать электронные указатели на автобусных остановках, разбросанных по всей территории района (хотя в некоторых случаях такой способ энергообеспечения может оказаться разорительным).

Для проведения сравнительного анализа и выбора технических средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта необходимо учесть расходы, связанные с приобретением аппаратных средств и подготовкой места, где устройство будет монтироваться, стоимость монтажа и технического обслуживания системы.

Таким образом, поиск оптимального решения выбора и оценки измерительных средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта производится по частным критериям: эффективность распознавания, стоимость измерительного средства. Для построения оценки и выбора оптимальных технических характеристик перспективных измерительных средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта (ИС САКД) в различных технико-экономических концепциях создания перспективной техники основе сформулированных допущений определены критерии, обеспечивающие поиск Парето-оптимальных решений.

Степень эффективности идентификации объектов N_i измерительных средств систем автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта представляется совокупностью вероятностей решения k -ой задачи идентификации P_k за промежуток времени ΔT . Оценку данных вероятностей целесообразно осуществлять с использованием программного обеспечения.

Эффективность решения k -ой задачи распознавания объектов ИС представим в виде степени соответствия полученной вероятностной оценки P_k и требуемой P_k^3 :

$$N_i = P_k^3 - P_k, \text{ если } P_k^3 \geq P_k \quad (1)$$

$$N_i = 0, \text{ если } P_k^3 < P_k$$

Тогда общая оценка эффективности решения задачи идентификации АТС ИС будет иметь вид:

$$N_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^N q_k}, \text{ если } \sum_{k=1}^N n_k \neq 0 \quad (2)$$

Эксплуатационные расходы на обеспечение измерительных средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта имеет ограничения на максимальную величину выделяемых средств. Для проведения сравнительного анализа и выбора наиболее подходящей системы достаточно знать расходы, связанные с приобретением аппаратных средств и подготовкой места, где устройство будет монтироваться. На стоимость влияют характеристики места установки устройства, тип получаемых данных, область применения и количество полос движения.

$$C_{VU} = [(C_D Q) + C_1] \left[\frac{i(l+i)^N}{(l+i)^N - 1} \right] + nC_M, \quad (3)$$

Где C_{VU} - эксплуатационные расходы на обеспечение функционирования измерительных средств систем автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта, руб.;

C_D - стоимость одного устройства, руб.;

Q - количество используемых устройств, шт.;

C_1 - стоимость оборудования для монтажа, включая трудозатраты, материалы и пр., руб.;

i - процентная ставка;

N - срок службы, годы;

C_M - стоимость ежегодного технического обслуживания, руб. в год.

При анализе расходов следует учитывать расходы, связанные с реконструкцией дорожного покрытия в результате применения различных датчиков. В местах установки датчиков, не оборудованных несущими конструкциями, необходимо предусматривать специальные

опоры, стоимость которых в известной степени влияет на смету.

Непосредственно расчет эксплуатационных расходов целесообразно осуществлять с использованием метода сопоставления аналогов. Суть данного метода заключается в оценке стоимости нового образца техники путем пересчета стоимости ближайшего к нему аналога через коэффициенты новизны и эффективности [4].

Одним из эффективных методов оценки рисков эксплуатации сложной технической системы является метод «закрепленных шкал» [5]. Данный метод можно представить как оценку вероятности технического успеха, получаемую с учетом весов частных факторов:

$$R(g) = \sum_{i=1}^n B_i * n_i \quad (4)$$

где $R(g)$ - итоговая оценка реализуемости в баллах, B_i — оценка i -го фактора реализуемости; n_i — вес i -го фактора.

На рисунке 3 представлена последовательность определения оптимальных значений характеристик измерительного средства для конкретного варианта подсистемы распознавания.

Таким образом, в данной работе рассмотрен вариант технико-экономических требований по поддержанию ИС должного уровня, который соответствует минимальным финансовым затратам [6-8]. При этом варианте значимость частных критериев должна быть одинакова, при этом частные критерии стоимости будут являться более значимыми, чем частный критерий эффективности.

Выводы

Сформирован единый подход к обоснованию требований к системе автоматизированного контроля движения (САКД) как системе средств измерения – идентификация – контроль движения АТС. Исследования показали, что для формирования требований к измерительным средствам САКД целесообразно использовать методику, заключающуюся в выборе из сформированной области поиска оптимального решения с учетом схемы компромисса, соответствующей заданной концепции технико-экономической политики в этой области.

По сравнению с другими способами и методами идентификации, которые в большинстве своем не способны распознавать все разнообразные виды номерных знаков и символов, предлагаемый системой метод способен распознавать все виды знаков. Разработанный метод автоматической системы идентификации автомобильного транспортного средства показывает высокую производительность для системы распознавания в режиме реального времени. Большинство предыдущих работ опирались на один метод: шаблонных соответствий или нейронной сети, что идеально подходит для распознавания одних видов, но не срабатывает для распознавания остальных. Очевидно, что количество и качество распознавания должны прямо влиять на общую производительность идентификации. Тем не менее, этот фактор игнорируют при оценке эффективности или при сравнении технических систем управления транспортными средствами, хотя он является подходящим критерием для их алгоритмической оценки.

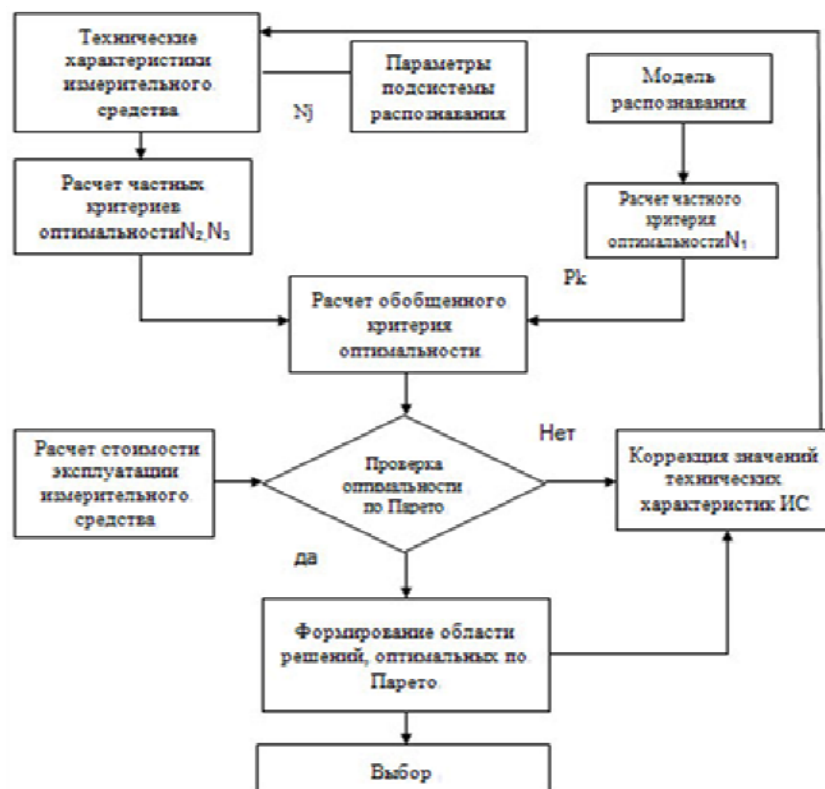


Рис.3. Последовательность определения оптимальных значений характеристик измерительного средства

Литература

1. Кисуленко Б. В. Автоматизация управления автомобилем: тенденции развития и условия внедрения / Сборник трудов Международной академии транспорта, - М. - 2014. №17– С. 80-88.
2. Кондратьев А. А. Барьеры внедренческих процессов ITS.// Сборник трудов Международной академии транспорта. – М.- 2014.- №17. – С. 89-91.
3. Вишневский В.М. Анализ и исследование методов проектирования автоматизированных систем безопасности на автодорогах с использованием новых широкополосных беспроводных средств и RFID-технологий // Технологии информационного общества. 2012/ T_Comm. - 2012.- №7.– С. 48-54.
4. Сафиуллин Р.Н. Интеллектуальные бортовые транспортные системы на автомобильном транспорте: монография / Р.Н. Сафиуллин. - М.-Берлин: Директ-Медиа, 2017. – С.354.
5. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Rezchenko V.V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes. Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 237, p. 322-330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322
6. Di X., Liu H.X., Ban X.(J.). Second best toll pricing within the framework of bounded rationality // Transportation Research Part B. - 2016. - Vol. 83. - P. 74-90. DOI:10.1016/j.trb.2015.11.002.

7. Design Principles for Control Systems of ADAS. – Informal document WP.29-160-15. – 160th WP.29 session, 25-28 June 2013, Geneva.

8. Ivnitsky V. A. () Non-Observance Risk Identification of the Prescribed Average Daily Speed Level by Speeded-up Container Trains due to Technical Failures / V. A. Ivnitsky // VNIIZhT Bulletin. – 2012.- №12. – Pp. 41-44.

Сведения об авторах

Сафиуллин Равиль Нуруллович, доктор техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, ул. Егорова, 5/7.
Тел.: 8-911-198-95-66.
E-mail: safravi@mail.ru.

Морозов Евгений Викторович, адъюнкт Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.
190034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова д.8.
Тел.: 8-933-302-62-19.
E-mail: mev521@yandex.ru.

ТРАНСПОРТНАЯ ДОСТУПНОСТЬ ОБЩЕСТВЕННЫХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИВОСТОКА

Доктор техн. наук, профессор **Володькин П.П.**,
кандидат экон. наук, доцент **Рыжова А.С.**,
магистрант 2 года **Архипов С.А.**
(Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск)

TRANSPORTATION ACCESSIBILITY OF PUBLIC BUS TRANSPORT ON THE EXAMPLE OF VLADIVOSTOK

Doctor (Tech.), Professor **Volodkin P.P.**,
Ph.D. (Tech.), Associate Professor **Ryzhova A.S.**,
Post-graduate **Arkhipov S.A.**
(Pacific National University)

Транспортная доступность, общественные автобусные перевозки, пассажиропоток, маршрутная сеть, маломобильные группы населения.

Transportation accessibility, transport affordability, public bus transport, passenger flow, route network, people with reduced mobility.

Рассмотрены западный и отечественный подходы к определению доступности транспортных услуг. Приведено исследование транспортной доступности на примере г. Владивостока и дано сравнение по имеющейся в отечественной практике системе оценки показателей, таких как экономическая, техническая, территориальная и временная доступности.

In article the western and domestic approach to determining the Transportation Accessibility (Transport Affordability) services are considered. Transport accessibility is considered on the example of the city of Vladivostok according to the system of assessing indicators, such as economic, technical, territorial and temporary availability, available in domestic practice.

В зарубежной практике термин «транспортная доступность» (Transportation Accessibility) имеет два значения:

- полные затраты времени на передвижение, совершаемое с какой-то целью (к месту работы, по культурным и бытовым целям, к рекреациям и т. д.);
- возможность получения транспортных услуг людьми с ограниченными физическими возможностями (инвалидами, престарелыми лицами) [1].

В США и Канаде применяется термин «транспортная допустимость», приемлемость (Transport Affordability). Этим термином обозначается экономическая оценка доступности транспорта (или транспортных услуг). Оценка осуществляется путем мониторинга социально-экономических данных, характеризующих соотношение «стоимость транспортных услуг – доходы» [2].

В экономически развитых странах разработаны стандарты транспортной доступности для лиц с ограниченной мобильностью (people with reduced mobility). Разработка рекомендаций по обеспечению транспортной доступности в Европе осуществляется под эгидой Европейского Союза. В частности, это программы: Towards a barrier free Europe for people with disabilities, A Europe Accessible for All. В последние годы в Европе был выполнен проект MAPLE, анализирующий существующее состояние транспортного обслуживания лиц с ограниченной подвижностью в целом ряде стран [3, 4, 5].

Специальный исследовательский отчет Accessibility planning methods является одним из наиболее полных современных изданий, рассматривающих различные аспекты транспортной доступности. В этом отчете указывается предназначение критериев, или индикаторов транспортной доступности: «...индикаторы доступности количественно оценивают доступность и определяют легкость, с которой индивидум, население или население отдельного муниципалитета достигают какой-либо объект от места жительства или из другого места, используя разные способы передвижения».

Кроме того, на уровне государства или муниципальном уровне формулируются положения о периодичности и составе транспортных обследований. В процессе их выполнения оценивается подвижность населения и характеристики транспортной доступности. Эти обследования являются основой для оценки транспортного спроса (Mobility Demand Estimation).

Индикаторы могут быть приняты на федеральном уровне – standardized core (national) indicators и используемыми только на уровне муниципалитета – local indicators. Первая группа индикаторов применяется во всех регионах страны и предшествует применению локальных индикаторов. Вторая группа – для людей с ограниченными физическими возможностями - разрабатывается и применяется местными властями. В общем виде индикаторы рассчитываются как затраты времени для всех видов передвижений по всем видам целей. При этом рассматриваются и полные затраты

времени на передвижение, и отдельные составляющие (например, накладные затраты времени или отдельные составляющие накладных затрат времени).

В российской практике определение термина «транспортная доступность» – это возможность недискриминационного доступа различных групп потребителей к пользованию услугой в соответствии с ее назначением за счет установления социальных, экономических и технических характеристик услуги. При этом к маломобильным группам населения (МГН) относятся инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди старшего возраста, люди с детскими колясками и т.п.

Обеспечение транспортной доступности в России представлено двумя правовыми актами.

Согласно ГОСТ Р 51825–2001 «Услуги пассажирского автомобильного транспорта. Общие требования» перечень показателей транспортной доступности рекомендуется определять экономической, технической, территориальной и временной доступностью.

Экономическая доступность характеризуется возможностью пользования услугами наземного пассажирского транспорта, непосредственно связанными с учетом размера оплаты проезда.

Техническая доступность характеризуется адаптивностью транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры к потребностям определенных социальных групп пассажиров.

Территориальная доступность характеризуется наличием и протяженностью маршрутной сети.

Временная доступность оценивается с позиции затрат времени пассажира на различные стадии оказания услуг, а также с позиции обеспечения гарантированного времени оказания услуги.

Согласно распоряжению Министерства транспорта от 31 января 2017 г. «Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным транспортом» под доступностью понимается характеристика качества транспортного обслуживания населения. Она выражается возможностью получения населением услуг по перевозке пассажиров и багажа автомобильным и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок [5].

Доступность транспортного обслуживания согласно этому распоряжению оценивается с помощью следующих **коэффициентов**:

- территориальной доступности остановочных пунктов;
- доступности остановочных пунктов, автовокзалов и автостанций для маломобильных групп населения;
- доступности транспортных средств для маломобильных групп населения;
- ценовой доступности поездок по маршрутам регулярных перевозок;
- оснащенности остановочных пунктов, автовокзалов и автостанций средствами зрительного информирования пассажиров;
- доли остановочных пунктов, обслуживаемых с минимальной нормативной частотой.

На современном этапе развития отечественной науки общая доступность транспорта понимается как показатель, отражающий качество транспортной среды.

Для определения доступности транспортных услуг во Владивостоке были проведены исследования, в которых учитывались основные характеристики города. Численность населения городского округа Владивостока на 01 января 2018 года составляет 633,2 тыс. человек. Общая площадь земель в границах Владивостокского городского округа составляет 56,16 км². Округ частично расположен на полуострове и островах. Город расположен в области с муссонным климатом (средняя температура августа 19,8 °, январь - +33,6 °С) и имеет сложный рельеф.

Согласно постановлению главы администрации города Владивостока № 600 от 26.05.2010 (с изм. от 24.12.2015 № 10939) «Об утверждении маршрутной сети города Владивостока» в городе на данный момент работает порядка 100 регулярных маршрутов наземного транспорта, основным видом пассажирского транспорта является автобус.

Рассмотрим следующие показатели транспортной доступности города Владивостока:

1. Экономическая доступность. Максимально установленный тариф на сегодняшний день на городских маршрутах – 28 руб., тариф для городского электротранспорта – от 20 до 23 руб. (таблица 1).

Таблица 1

**Стоимость проезда в общественном транспорте
Владивостока, руб.**

Вид транспорта	Год							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Автобус	13	13	15	17	18	20	23	28
Трамвай	6	6	8	10	11	12	13	20
Троллейбус	6	6	8	10	11	12	13	23
Фуникулер	5	5	6	8	9	10	11	20

За последние 5 лет произошла достаточно сильная трансформация системы общественного транспорта в городе: стоимость поездки на городском автобусе увеличилась с 15 до 28 руб., то есть практически в 1,9 раза (см. табл. 1); стоимость проезда на трамвае и троллейбусе выросла в 2 раза, на фуникулер - в 2,5 раза.

Сумма оплаты за проезд в городской черте не зависит от пройденного расстояния. Исключение – некоторые пригородные маршруты с плавающим тарифом. Но всё равно стоимость проезда остаётся на достаточно низком уровне. По заявлениям некоторых компаний-перевозчиков, стоимость проезда находится ниже уровня окупаемости. Несмотря на предложения перевозчиков резко повысить максимально установленный тариф, местные органы власти не допускают социальной напряжённости и повышают стоимость проезда незначительно, тем самым проводят гибкую транспортную тарифную политику.

С 1 января 2019 года полномочия по определению тарифов на проезд в общественном транспорте в Приморском крае перешли в ведение местных властей. Теперь повышать стоимость проезда в городе будет не администрация региона, а городские власти. Цена проезда в пригородных маршрутах также регулируется администрацией города. Однако межмуниципальные перевозки и тарифы на них по-прежнему регулируются Приморским департаментом по тарифам.

Несмотря на самый высокий в Приморском крае транспортный тариф, он в несколько раз ниже тарифов на проезд в центральной части России, в частности в Москве. Во Владивостоке нет регулирования тарифов перевозчиками, и установленный тариф соблюдается на любом маршруте в любое время. Экономически общественный транспорт в столице Приморского края является весьма доступным.

2. Техническая доступность. Перевозка пассажиров автобусами по маршрутам на регулярной основе осуществляется на основании заключенных договоров с администрацией города на конкурсной основе. Конкурс осуществляется уполномоченным органом на основании нормативного муниципального акта. Муниципальным правовым актом города Владивостока №288-МПА от 05.08.2016 определено Положение о создании условий для предоставления транспортных услуг населению и организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом на территории Владивостокского городского округа.

По результатам конкурса, проведенного в 2018 г., 7 маршрутов обслуживаются муниципальным предприятием ВПОПАТ и 86 маршрутов - коммерческими компаниями (http://www.vlc.ru/life_city/transport/contacts/).

В январе 2018 года на линии города работало 776 единиц транспортных средств, из них 68 автобусов, принадлежащих городскому предприятию и 708 коммерческих автобусов, а в январе 2019 года количество автобусов составило уже 812 единиц, в том числе, около 200 городских и 600 автобусов коммерческих предприятий.

Средний возраст эксплуатируемых автобусов коммерческих предприятий составляет около 10 лет, городских предприятий - 6 лет, что выше срока амортизации данного основного средства. Это подтверждает общегосударственную статистику по старению парка подвижного состава. На рынке наиболее востребованы автобусы средней вместимости – 59%.

В настоящее время средняя длина маршрута существующей сети составляет 21,6 км, что в два раза превосходит рекомендуемые показатели длины городского маршрута, составляющие 10-11 км. Уровень автомобилизации Владивостока довольно большой и составляет около 550 автомобилей на 1000 жителей. Для сравнения, в Москве на 1000 жителей приходится 298 автомобилей, а в Санкт-Петербурге — 321 автомобиль.

В целях централизованного управления работой муниципальных и коммерческих автобусов во Владивостоке создано предприятие «Автоматический диспетчерский центр». Однако эффективность его функционирования невысокая из-за отсутствия необходимой информации для координации в управлении. Улучшение диспетчерского управления осуществляется через техническое и информационное оснащение транспорта.

В настоящее время весь общественный наземный транспорт оборудован системой ГЛОНАСС. Теперь за его передвижением можно следить через специальный интернет-портал bus125.ru в режиме реального времени.

Общественный транспорт Владивостока является в крайней степени неудобным для маломобильных групп населения. Проблема заключается в том, что подвижной состав компаний-перевозчиков в своём большинстве не адаптирован к перевозке подобной группы граждан. Перемещение маломобильных групп населения

(МГН) обеспечивается 50 автобусами марки MAN, которые покупались в течение последних 6 лет, что составляет 6,25 % от всего парка подвижного состава. Но пока данные автобусы курсируют только на 2-х городских маршрутах.

Также многие остановочные пункты неудобны для использования их маломобильными группами населения. Они не имеют специальных пандусов, поручней, а часто - даже асфальтированных тротуаров и подходов. Это многократно снижает уровень доступности общественного транспорта для людей с ограниченными физическими возможностями.

3. Территориальная доступность. Территория Владивостока сочетает в себе множество неблагоприятных природно-географических условий, усложняющих транспортное обслуживание в городе. Наблюдается ситуация, когда на некоторых направлениях происходит избыток проходящих маршрутов, а на некоторых, наоборот, – недостаток. Чаще всего это наблюдается на маршрутах, связывающих отдалённые районы города с центральной частью, по этим участкам дорожной сети города может проходить несколько маршрутов. Для характеристики разветвленности маршрутной сети принят показатель - **маршрутный коэффициент** K_m . Согласно СП 42.13330.2011 от 2.07.01-89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» при слабо развитых сетях $K_m = 1,2-1,4$, а при достаточно густой сети – $K_m = 2-4$. Значение коэффициента K_m по городским маршрутам во Владивостоке на 2018 г составляет 1,65 - достаточно развитая маршрутная сеть.

4. Временная доступность. Для определения затрат времени пассажира на различные стадии оказания услуг включаются следующие оценки: подход к остановочному пункту, приобретение билета, непосредственное перемещение пассажира. Временная доступность с позиции обеспечения времени оказания услуги определяется по нормативам.

Согласно законодательству затраты времени в городах на передвижение от мест проживания до места работы для 90% трудящихся (в один конец) не должны превышать показателя 38-39 мин (для Владивостока - в зависимости от численности населения города), а доступность остановочных пунктов общественного транспорта не должна превышать 5 мин.

Временная доступность различна для жителей в разных районах города. Для изучения данного показателя город был разделен на 17 транспортных районов и 59 микрорайонов примерно равных по площади.

Для более объективной оценки временной доступности, было проведено социологическое исследование. В опросе участвовало население в возрасте старше 18 лет при условии, что респондент является студентом ДВФУ. Согласно проведенному опросу было выяснено, что большинство респондентов учится в отличном от проживания районе Владивостока.

Из опрошенного населения 68,29 % добирается на работу (учебу) на общественном транспорте, 5,82 % - пешком и 27,11 % пользуются личным транспортом. При опросе респондентов анкетирования по вопросу «Удобно ли расположен ближайший остановочный пункт общественного транспорта от вашего дома», выяснилось, что 73 % опрошенных считают, что остановочный пункт расположен удобно, а 26 % полагают, что остановочный пункт расположен неудобно.

Даже в центре города существует достаточно много улиц, которые расположены на удалении в километр от ближайшей автобусной остановки. Неудобна также для жителей утверждённая в 2011 году схема одностороннего движения в центре города.

В процессе обработки данных выяснилось, что 69 % участников опроса не делают пересадок, что составляет основную массу респондентов. В основном вынуждены делать пересадки жители районов: Снеговая Падь, о. Русский, Пригород, Баляева, Школьная, Третья рабочая и Эгершельд.

Из исследования можно сделать вывод, что доступность остановочных пунктов согласно СП 42.13330.2011 соответствует в десяти районах города (Центр, Вторая речка, Луговая, м. Чуркин, Баляева, 100 лет Владивостоку, Третья Рабочая, Некрасовская, Эгершельд и Карбышева). Для жителей остальных районов (Школьная, Первая речка, Нейбута, б. Тихая, Снеговая Падь, о. Русский и Пригород) доступность остановочных пунктов превышает эти нормы.

Временная доступность соответствует СП 42.13330.20 в районах: Центр, Луговая, 100 лет Владивостоку, Школьная, Первая речка, Некрасовская и Карбышева, а в остальных – значительно выше. Показатели временной доступности в некоторых транспортных районах города значительно выше предписываемых градостроительными нормами.

Перенасыщенность маршрутов автобусами не позволяет осуществлять перевозку по расписанию, как этого требует законодательство. На конечных остановках автобусы выстраиваются в очереди и не отъезжают от стартовых остановок до полного их заполнения. Некоторые водители автобусов устраивают «гонки» для «перехвата» пассажиров с дублирующих маршрутов. Погоня за максимальной выручкой порождает заинтересованность не в качестве обслуживания населения в поездках, а в получении максимальных доходов. Все это говорит о том, что количество транспортного обслуживания можно достичь только с переходом к единой системе управления всеми видами автобусов на маршрутах.

Из изучения маршрутной системы города Владивостока можно выделить следующие проблемы в сфере обслуживания пассажиров городского транспорта:

- неудовлетворительное состояние подвижного состава;
- нерациональные и повторяющиеся маршруты;
- отсутствие единой системы управления;
- отсутствие удобной безналичной системы оплаты, единой для всех видов общественного транспорта;
- низкая скорость сообщения;
- недопустимо низкий уровень комфорта и безопасности перевозок;
- неудовлетворительное качество ремонта и строительства автодорог;
- отсутствие экономической мотивации для долгосрочного инвестирования в данной сфере;
- зависимость от природно-географического расположения города;
- высокая загруженность дорожной сети;
- практически полное отсутствие взаимодействия автобусного транспорта с другими видами общественного транспорта.

На основании выявленных проблем необходимо разработать мероприятия для решения и корректировки транспортно-логистической стратегии в развитии городского пассажирского наземного транспорта. Данную задачу необходимо решить для повышения качества обслуживания пассажиров на городском транспорте.

Потребность населения в транспорте зависит не только от численности поездок, но и от их дальности. Учитывая рекомендации специалистов и специфику расположения Владивостока (город вытянут вдоль побережья) и его сложный рельеф, необходимо рассчитывать среднюю дальность поездки пассажиров и длину маршрутов. Следует также обратить внимание на развитие внутрирайонных и внутриквартальных коротких маршрутов при формировании маршрутной сети города.

При анализе транспортной загруженности города выявлена тенденция к повышению уровня значимости общественного транспорта среди жителей. Социальные программы по популяризации общественного транспорта, разработанные и адаптированные администрацией города совместно с коммерческими предприятиями («Доступная среда», «Общественный транспорт», др.), способствовали улучшению качества пассажирских перевозок и увеличения их объема. В то же время, теряет привлекательность для пассажиров электрический транспорт. За 2019 год доля перевозок трамваями сократилась на 38 %, троллейбусами – на 14%. При этом динамика пользования личным транспортом весьма высока. Это выражено в увеличении процента загруженности городских магистралей и в количестве зарегистрированного транспорта на одного жителя.

Будущее развитие транспорта, в том числе и автомобильных дорог, реально возможно только в рамках справедливой конкурентной борьбы на транспортном рынке путем внедрения передовых цифровых технологий.

Только за счет реализации цифровых технологий удастся повысить уровень комфорта, в том числе, на автомобильных дорогах, увеличить объем перевозок, чтобы в результате внедрения инновационных цифровых технологий повысилась скорость доставки и эффективность перевозок.

Литература

1. Bricka Stacey. Non-Response Challenges in GPS-Based Surveys // Paper Prepared for the May 2008 International Steering Committee on Travel Survey Conferences Workshop on Non-Response Challenges in GPS-based Surveys, 2008. - 23 p.
2. Delgado Jalón, M.L., The social perception of urban transport in the city of Madrid: the application of the Servicescape Model to the bus and underground services // Delgado Jalón, M.L., Gómez Ortega, A., De Esteban Curiel // European Transport Research Review. Volume 11. Issue 1 - Springer-Verlag - Print ISSN 1867-0717 Online ISSN 1866-8887, <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0373-5>.
3. Affordability and Subsidies in Public Urban Transport: What Do We Mean, What Can Be Done // The World Bank / Latin America and the Caribbean Region. Sustainable Development Department. December 2007. – 51 p.
4. Holmgren, Johan. An analysis of the determinants of local public transport demand focusing the effects of income changes // Johan Holmgren // European Transport Research Review. Volume 5. Issue 2 - Springer-Verlag - Print ISSN 1867-0717. Online ISSN 1866-888, pp 101-107.

5. Распоряжение Министерства транспорта РФ от 31.01.2017 г. № НА-19-р «Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом». Система «Консультант Плюс». – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>(дата обращения 12.05.2017).

Сведения об авторах

Володькин Павел Павлович, д.т.н., профессор, ORCID 0000-0002-2731-2069, Scopus Author ID 57190293264, ResearcherID, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136
Тел.: (4212)37-51-93.
E-mail: pvolodkin@mail.khstu.ru.

Рыжова Александра Сергеевна, к.э.н., доцент, ORCID 0000-0002-1995-5961, Scopus Author ID, ResearcherID, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Тихоокеанский государственный университет.

E-mail: chefra@mail.ru.

Архипов Сергей Александрович, магистрант 2 го года обучения Тихоокеанского государственного университета, г. Хабаровск, преподаватель Дальневосточного Федерального Университета, г. Владивосток.

E-mail: asaw0@mail.ru.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник **Рагимов Э.А.**
(Институт Географии имени акад. Г. Алиева
Национальной Академии Наук Азербайджана)

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF VEHICLES

Ph. D. (Tech.), Leading Scientific Researcher **Ragimov E.A.**
(Institute of Geography named after academician G. Aliyev
National Academy of Sciences of Azerbaijan)

Экологические аспекты, энергопотребление, производство парниковых газов, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт.

Ecological aspects, energy consumption, greenhouse gas production, road transport, rail transport.

В статье приведено сравнение энергопотребления и производства парниковых газов в автомобильном и железнодорожном транспорте. Сравнение сделано для дизельных железнодорожных транспортных средств, а также для легковых автомобилей с различными видами топлива (бензин и дизельное топливо). Результаты имеют высокую информативную ценность, поскольку учитывают потребление энергии и выбросы из первичных и вторичных источников. Расчет производится по фактическим значениям расхода топлива (автомобильным транспортом) и путем моделирования энергопотребления (железнодорожной дороги). Для оценки результатов были использованы энергетические и эмиссионные коэффициенты из стандарта EN.

The article provides a comparison of energy consumption and the generation of greenhouse gases in two types of transport - road and rail.

Comparison is made for diesel railway vehicles, as well as for cars with various types of fuel (gasoline and diesel fuel). The outcomes are of high informative value, since they consider energy consumption and emissions from primary and secondary sources. The calculation was carried out by the actual values of fuel consumption (road) and by modelling energy consumption (railway). The energy along with emission factors from EN were applied for evaluating the outcomes.

Введение

Мобильность - одна из самых важных человеческих потребностей в этом столетии. Среднее количество поездок и среднее пройденное расстояние на одного человека постоянно увеличивается. Текущая экономическая ситуация напрямую зависит от транспорта. Последующие действия, ведущие к созданию ценных продуктов и услуг, которые отвечают потребностям общества и отдельного человека, не могут быть реализованы без транспортировки товаров или услуг населению [1]. Во время процесса транспортировки энергии движутся транспортные средства, которые обеспечивают необходимый перенос товаров и людей в этом районе. Поэтому транспорт зависит от поставок энергии [2].

Сегодня транспортировка в значительной степени зависит от нефти, так как подавляющее большинство транспортных средств приводятся в движение двигателями, которые сжигают нефтепродукты - углеводородное топливо [3,4]. Особенно это касается автомобильного, воздушного и водного транспорта. Большинство рельсовых транспортных средств в настоящее время приводятся в движение электрическими тяговыми двигателями, поэтому они не зависят от масел так сильно, как вышеупомянутые виды транспорта [5]. Транспорт становится важным элементом человеческого существования, который оказывает негативное влияние на окружающую среду из-за шума, вибрации, несчастных случаев, потребностей территории, заторов и энергоемкости [6]. Поступающая энергия преобразуется в дви-

жение транспортных средств, которые обеспечивают необходимую передачу товаров и людей в этом районе.

Железнодорожный транспорт является таким видом транспорта, где большинство железнодорожных транспортных средств в настоящее время работают на тяговых электродвигателях, поэтому степень зависимости от нефти ниже, чем в предыдущих режимах. Однако в большинстве стран электроэнергия производится из нефтепродуктов или угля - это невозобновляемые природные ресурсы и их запасы постоянно сокращаются [7,8].

Стандарт EN 16258:2012 и его использование в расчетах

Этот европейский стандарт устанавливает общую методологию для расчета и декларирования потребления энергии и выбросов парниковых газов в связи с любыми услугами (груз, пассажиры или др.) [9,10]. Он определяет общие принципы, системные границы, методы расчета, правила распределения (распределение, назначение) и рекомендации по информации для поддержки стандартизированных, точных, надежных и проверяемых деклараций относительно потребления энергии и выбросов парниковых газов, связанных с любой грузовой службой. Он также содержит примеры использования этих принципов. Расчет для одной данной транспортной услуги должен выполняться с использованием следующих трех основных этапов:

• **Шаг 1.** Идентификация различных разделов сервиса.

• **Шаг 2:** Расчет потребления энергии и выбросов парниковых газов для каждого участка.

• **Шаг 3:** Сумма результатов для каждого раздела.

Стандарт учитывает не только производимые вторичные выбросы и энергию, потребляемую при сгорании топлива (преобразование энергии из топлива в механическую энергию), но также первичные выбросы, возникающие при добыче, производстве и распределении:

• e_w – энергетический коэффициент "well-to-wheels" для определенного топлива;

• g_w – коэффициент выбросов "well-to-wheels" для определенного топлива;

• e_t – энергетический коэффициент "tank-to-wheels" для определенного топлива;

• g_t – коэффициент выбросов "tank-to-wheels" для определенного вида топлива.

Фактор полного сопротивления охватывает также первичные и вторичные выбросы и потребление.

Иногда этот фактор также называется анализом - оценкой жизненного цикла. Коэффициент «tank-to-wheels» учитывает только вторичные выбросы и потребление. Этот стандарт определяет общую методологию расчета. Заявленное значение для энергетического фактора и коэффициента выбросов парниковых газов должно быть выбрано соответствующим образом [11,12].

Эмиссионные газы состоят из нескольких отдельных компонентов (газов). Каждый из них имеет разные химические и физические свойства и, следовательно, по-разному участвует в деградации окружающей среды. Чтобы сравнивать выбросы от различных видов деятельности, видов топлива, транспортных средств, когда выбросы имеют разные следы, необходимо указать одну репрезентативную единицу, пригодную для сравнения. Это эквивалент CO_2 (CO_{2e}), который является мерой воздействия конкретных выбросов и сравнивает его с воздействием CO_2 [13,14].

Методика расчета

Программное обеспечение «Железнодорожная динамика» использовалось для расчета энергопотребления поезда. Потребляемая мощность поезда была рассчитана на основе предварительно определенных и выбранных значений на определенном маршруте.

Программное обеспечение работает с импортированными картами и профилем высот железнодорожных маршрутов. На основании этих значений по умолчанию и выбранных параметров (тип локомотива, масса поезда, длина поезда, нагрузка на ось, количество и расположение остановок) было рассчитано энергопотребление в кВтч.

Это программное обеспечение может использоваться для расчета потребления энергии и времени эксплуатации или времени движения какого-либо произвольного поезда на каком-либо произвольном железнодорожном пути. Для расчета необходимо импортировать данные поезда и пути [15]. Для соответствующего сравнения результатов для разных видов потребляемой энергии необходимо использовать принцип «well-to-wheels». Расчетная энергия это – механическая работа, необходимая для движения автомобиля. Если он преобразован в единицы MJ, он может быть впоследствии преобразо-

ван в общую потребленную энергию. Это означает, что в соответствии с принципом «well-to-wheels» используются коэффициенты e_w , g_w (EN 16 258:2012) или общая энергоэффективность η_{TE} [16].

Для потребления транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, используется следующее уравнение.

$$E_{TF} = F C_V \times e_w = [(E_{ME} \times m_{pe}) \times \frac{1}{\rho_F}] \times e_w \quad (MJ), \quad (1)$$

где E_{TF} – общая энергия, потребляемая дизельными автомобилями [MJ];

$F C_V$ – расход топлива транспортного средства [l, dm^3];

E_{ME} – механическая энергия, потребляемая движением поезда (результат программного обеспечения динамики поезда) [kWh];

m_{pe} – удельный расход топлива двигателя автомобиля [g/kWh];

ρ_F – удельный вес (плотность) топлива (дизель) [g/ dm^3];

e_w – энергетический фактор [MJ/ dm^3].

Для расчета производства парниковых газов потребляемое количество дизельного топлива должно быть умножено на коэффициент выбросов для этого топлива, взятые из Приложения А стандарта EN.

$$G_{TF} = F C_V \times g_w [(E_{ME} \times m_{pe}) \times \frac{1}{\rho_F}] \times g_w (gC O_{2e}), \quad (2)$$

где:

• G_{TF} – общий объем выбросов, производимых дизельными транспортными средствами [gC O_{2e}];

• g_w – коэффициент выбросов для определенного топлива [tC O_{2e} /MWh].

Для расчета были выбраны базовые единицы MJ и gCO₂, поскольку они являются единицами, заявленными в стандарте. Однако для лучшего сравнения можно выразить отдельные количества топлива в других единицах, например, в GJ, kJ, tCO₂, kgCO_{2e} или их комбинации, в случае пропорционального выражения величин.

Железнодорожный транспорт

В данном примере мы рассмотрим транспорт по одному из выбранных в Азербайджанской Республике маршрутов. Этот трек соединяет столицу Баку и город Сумгайыт. Общее расстояние между двумя городами составляет 30 км. Расчет для этого исследования был сделан на трассе двунаправленным образом: один путь вниз по склону, другой путь вверх по склону. Эта разница высот видна в потреблении энергии при движении от Баку до Сумгайыта, которое выше для гористой трассы. Величины потребления топлива, полученные в результате переноса транспортного средства в обоих направлениях, находятся в оценочной таблице и на графике. Моделирование энергопотребления проводилось для железнодорожного пассажирского транспорта, используемого в Азербайджанской Республике на региональном транспорте. Это - дизельное двухсекционное железнодорожное транспортное средство с серийным номером 813-913. Оно приводится в движение ди-

зельным двигателем внутреннего сгорания MAN D 2876 LUE 21 с выходной мощностью 257 кВт. Вес тары 39 т, вес брутто 53 т. Пассажировместимость составляет 83 места. Расчетная энергия - это механическая работа, необходимая для движения поезда. После преобразования этой энергии в единицы MJ, оно преобразуется в общую потребляемую энергию по общему уравнению энергетической эффективности:

$$E_T = (E_{ME} \cdot 3.6) \cdot \eta_{CE} (MJ), \quad (3)$$

где:

- E_T - суммарная энергия, потребляемая электрической тягой (MJ);
- E_{ME} - механическая энергия, потребляемая движением поезд (результат программного обеспечения динамики поезда) (кВтч).

Потребляемая энергия поезда (MJ) рассчитывается в зависимости от механической работы и эффективности транспортного средства.

$$G_T = [(E_{ME} / \eta_{VS}) \cdot 1000] \cdot f_{LCA} (t CO_{2e}), \quad (4)$$

$$G_T = [(E_{ME} / \eta_{VS}) \cdot 3.6] \cdot f_{LCA}^g (g CO_{2e}), \quad (5)$$

где:

- G_T - общий объем выбросов, производимых электрической тягой;
- f_{LCA} - коэффициент выбросов для электрической энергии ($t CO_{2e} / MWh$);
- f_{LCA}^g - коэффициент выбросов для электрической энергии ($g CO_{2e} / MJ$).

Автомобильный транспорт

Если мы хотим использовать методологию для расчета энергоемкости и производства парниковых газов на транспорте для легковых автомобилей с различными типами топлива, целесообразно использовать следующий пример. Рассмотрим транспортное средство, часто используемое в Азербайджане. Оно представляет собой автомобиль среднего класса (неназванного производителя) с двумя типами движения - бензин и дизель с примерно одинаковой мощностью двигателя.

Марка и модель автомобиля в данном случае не важны, но рабочие характеристики, весовые параметры и расход топлива имеют значение. Масса в снаряженном состоянии составляет около 1500 кг, мощность двигателя - около 80 кВт. Для данного типа транспортного средства расход топлива может составлять от 6 до 7 литров бензина на 100 км; в случае дизельных двигателей он может составлять от 5 до 6 литров на 100 км [6]. Для целей данного расчета были использованы расходы топлива и энергии, указанные производителем. Их измеряли в соответствии со стандартом. Потребление энергии и производство парниковых газов с глобальной точки зрения имеет большое значение, поэтому первичные, а также вторичные воздействия принимаются во внимание [10]. Чтобы рассчитать общее энергопотребление автомобильного транспорта, количество потребляемого топлива дорожным транспортным средством должно быть умножено на энергетический коэффициент для этого топлива, взятый из Приложения А [7] к стандарту.

$$E_{TV} = [(FC_{km} \cdot L) / 100] \cdot e_w (MJ), \quad (6)$$

где:

- E_{TV} - общая энергия, потребляемая транспортными средствами (MJ);
- FC_{km} - расход топлива автомобилем (л / 100 км);
- L - пройденное расстояние (км);
- e_w - энергетический коэффициент "well-to-wheels" для определенного топлива (MJ/л).

Чтобы рассчитать общий объем производства парниковых газов, потребляемое количество топлива следует умножить на коэффициент выбросов для этого топлива (из Приложения А [7] к стандарту):

$$G_{TV} = [(FC_{km} \cdot L) / 100] \cdot g_w (g CO_{2e}), \quad (7)$$

где:

- G_{TV} - общий объем выбросов, производимых транспортными средствами ($g CO_{2e}$);
- g_w - коэффициент выбросов для определенного топлива ($t CO_{2e} / MJ$).

Результаты и выводы

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Оценка моделирования энергопотребления и выделения парниковых газов для транспортных средств с бензиновым и дизельным двигателем при заполнении транспорта 100-20 %

Транспортное железнодорожное средство номер 813-913	Бензиновый автомобиль	Дизельный автомобиль
Энергопотребление (реальное) 256-1045	443 - 2011	395 - 1789
Производство парниковых газов (реальное) 19,4-79,3	34 - 153,6	29,9 - 135,8

Моделированный расход топлива дизельного поезда сравнивался с реальным расходом этого поезда, работающего на этой трассе. Этот моделированный результат был подтвержден - ошибка симуляции составила 8%. Таким образом, каждый результат потребления был увеличен на 8%, чтобы быть ближе к реальному значению (рис. 1).

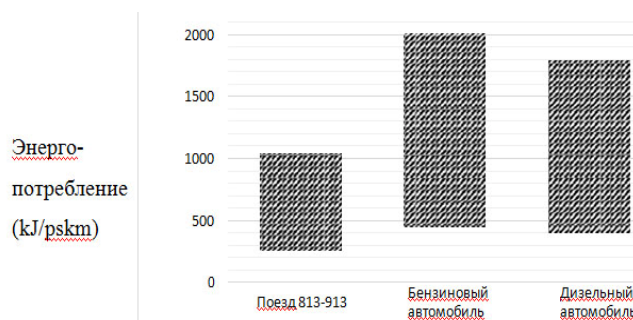


Рис. 1. Итоговая оценка потребления топлива для поезда и автомобиля

Результаты, приведенные в таблице 1, описывают наиболее интенсивное энергопотребление автомобиля. Это бензиновый легковой автомобиль.

Потребление энергии и производство парниковых газов на 10% выше, чем у дизельного автомобиля во всем спектре загруженности автомобилей. Общественный транспорт более экологичен, чем индивидуальный. Энергоемкость и производство парниковых газов в дизельном поезде ниже, несмотря на высокую массу тары в поезде. Это достигается благодаря большому количеству пассажиров.

Энергоемкость бензинового автомобиля на 70% выше, а дизельного автомобиля на 50% выше по сравнению с железнодорожным транспортным средством. Тот же сценарий связан с производством парниковых газов. Он действителен для полной загрузки транспортных средств. Разница (энергия и парниковый газ) увеличивается между автомобильным и железнодорожным транспортом с уменьшением загруженности транспортных средств. Разница в бензиновом автомобиле на 90% выше воздействия на окружающую среду и 70% - в дизельном автомобиле при 20% заполнении транспортного средства.

Результаты этого моделирования не определяют, какая тяга лучше, экологичнее или безопаснее для окружающей среды. Это невозможно сделать, потому что эффективность использования энергии и производство парниковых газов зависят не только от типа топлива, но и от загруженности. Необходимо загружать поезда достаточным количеством пассажиров (подходящий выбор поезда в зависимости от транспортного потока). Эффективность транспортных средств уменьшается с уменьшением фактической загруженности автомобиля. Результаты показывают, что «не зеленые» транспортные средства - легковые автомобили - могут быть очень эффективными для потребления энергии и производства парниковых газов в Азербайджанской Республике. Иногда они могут быть более эффективными, чем общественный транспорт, но только при более высокой их загруженности, например, за рулем автомобиля не только с водителем, но и с 4 или 5 пассажирами в автомобиле. Смысл этого результата в том, что увеличение пропускной способности транспортного средства очень важно при оценке и сравнении разных видов транспорта или разных транспортных средств с точки зрения их воздействия на окружающую среду.

Использование мощностей зависит от спроса потенциальных пассажиров, транспортной инфраструктуры и предложения услуг общественного транспорта в городах Азербайджанской Республики. Трудно сказать, какой вид транспорта или транспортного средства лучше использовать из-за многих факторов, подобных вышеупомянутому. Чтобы добиться стабильной перевозки товаров, важно использовать разные виды транспорта, которые с точки зрения энергопотребления и производства парниковых газов являются наиболее благоприятными для окружающей среды. Энергоемкость и выбросы парниковых газов на транспорте зависят от имеющейся транспортной инфраструктуры, выбора подходящих транспортных средств, количества и характера перевозимых грузов и тяги или используемого топлива.

Потребление первичной, а также вторичной энергии должно учитываться при оценке энергоемкости и производства парниковых газов. Важным фактором, который часто забывают, является то, что даже электрическая тяга может оказать значительное негативное воздействие на окружающую среду, если основными источниками ее производства являются ископаемые виды топлива.

Литература

1. Зволенский П., Стучли В., Гренчик Дж., Попрцкий Р. Эволюция систем технического обслуживания пассажирских и грузовых вагонов с точки зрения сертификации ЕСМ. Связь: Научные письма Жилинского университета. – 2014. - Вып.16, № 3А. - С.40-47.
2. Бартломейчик М., Мирчевский С. (2014) Сокращение энергопотребления в общественном транспорте - результаты экспериментальной эксплуатации энергоблока суперконденсаторов энергии в троллейбусной системе Гдыня. 16-я Международная конференция и выставка силовой электроники и управления движением, Университет Гази, Силовое электронное управление двигателем, технология Bridge.
3. Бартломейчик М., Полон М. Многофакторный анализ измерений восстановления энергии разрушения // Преобразование энергии и управление. – 2016. - Вып.127. - С.35-42.
4. Кабан Дж., Дроздзей П., Барта Д., Лискак С. Системы контроля давления в шинах транспортных средств // Диагностика. - 2014. -Вып.15, № 3. - С.11-14.
5. Давила А. (2013) Отчет о расходе топлива. Проект 233683 САРТРЕ, ЕЭК.
6. Долинаева А. Факторы и детерминанты модального расщепления в пассажирском транспорте: Горизонты железнодорожного транспорта. Научные труды. – 2011. - Вып.2, № 1. - С.33-39.
7. Европейский стандарт EN 16 258: 2012. Методология расчета и декларации потребления энергии и выбросов парниковых газов транспортными услугами (грузовые и пассажирские перевозки).
8. Калина К., Юркович М., Гробарчикова А. СПГ - большие возможности для внутреннего водного транспорта. Учеб. 19-го интерна. Научная конференция: Транспортные средства, 22-23 октября, Каунасский технологический университет, 2015. - С.489-492.
9. Клинка М., Гренчик Дж. Транспортные средства с опрокидывающимся кузовом на словацких железных дорогах - возможности использования и параметры, которые следует учитывать. Связь: Научные письма из Университета Жилины, 2008. - Вып.10, № 3. - С.45-49.
10. Кнез М., Джереб Б., Обрехт М. Факторы, влияющие на решения о покупке автомобилей с низким уровнем выбросов: исследование Словении. Исследования в области транспорта, Часть D // Транспорт и окружающая среда. - 2014. - Вып.30. - С.53-61.
11. Кнез М., Мьюнер Т., Джереб Б., Куллинан К. Оценка цикла вождения для Цэлье и сравнение с другими европейскими городами // Устойчивые города и общества. - 2014. - Вып.11. - С.56-60.
12. Кучера Л., Гайдац И., Мрузек М. Моделирование параметров, влияющих на радиус действия электромобиля. Связь: Научные письма Университета Жилина. – 2016. - Вып.18, № 1А. - С.59-63.
13. Скручаны Т., Гнап Дж. Энергоемкость и производство парниковых газов автомобильным и железнодорожным транспортом. Грузовые перевозки с использованием программного обеспечения для моделирования энергопотребления поезда. Телематика - поддержка транспорта: 14-я международная конференция по телематике транспортных систем, ТСТ, Берлин: Спрингер-Верлаг, 2014. - С.263-272.

14. Скручаны Т. Программное моделирование энергопотребления и производства парниковых газов на транспорте // Связь в области компьютерных и информационных наук. – 2015. - Вып.53. - С.151-160.

15. Симкова И., Конечный В., Капуста Ю. Определение критериев грузовых автомобильных перевозок // Логи: Научный журнал по транспорту и логистике. – 2015. - Вып.6, № 1. -С.120-129.

16. Саркан Б., Холеса Л., Кабан Дж. Измерение расхода топлива дорожное транспортное средство путем тестирования вождения на открытом воздухе // Достижения в области науки и техники. Журнал исследований. – 2013. - Вып.7, №. 19. - С.70-74.

Информация об авторе

Рагимов Эльмар Агарагим оглы, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник Института Географии имени акад. Г. Алиева Национальной Академии Наук Азербайджана,
115, Баку, пр. Г. Джавида, AZ1143
E-mail: elmar_rahimov@yahoo.com.

**СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ РЕЕСТРОВ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ
ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА**

Кандидат техн. наук **Раткин Л.С.**
(Научно-производственное предприятие “АРГМ”)

**A SYSTEM OF DISTRIBUTED STEGANOGRAPHIC REGISTERS
FOR MANAGING AND ENSURING CYBER SECURITY
OF THE TRANSPORT COMPLEX**

Ph. D. (Tech.) **Rathkeen L.S.**
(Scientific-production enterprise “ARGM”)

Система реестров (СР), программно-вычислительные комплексы (ПВК), Система распределенных реестров (СРР), компьютерная стеганография (КС), кибербезопасность, транспортный комплекс, программное обеспечение (ПО).

Registry System (RS), software & calculating complexes (SCC), Distributed Registry System (DRS), Computer Steanography (CS), cyber-security, transport complex, software.

Рассматривается Система распределенных стеганографических реестров (СРСР), применяемая для явного и скрытого управления грузопассажирским трафиком. В качестве примера предложена СРСР для обеспечения кибербезопасности транспортного комплекса. Разработанная СРСР позволяет взаимодействовать с программно-вычислительными комплексами для повышения уровня кибербезопасности.

In the article are discussed the Distributed Steganographic Registry System (DSRS) for real and hidden control of freight and passenger traffic. As the example are shown DSRS for providing of cyber-security of transport complex. The developed SRS allows you to interact with software and computer systems to increase the level of cyber-security.

Система реестров (СР) – один из важнейших компонентов современных программно-вычислительных комплексов (ПВК). Реализуемые на суперкомпьютерной и квантово-компьютерной базе ПВК, в частности, позволяют с помощью СР решать сложные многокритериальные оптимизационные задачи [1, 2]. Распределение СР по нескольким информационным хранилищам не только повышает уровень защиты данных, но и позволяет строить многоуровневые репозиторные комплексы, поэтому системы распределенных реестров (СРР) применимы для решения широкого спектра задач, например, в транспортной сфере. Однако обычно у СРР существует важный недостаток. А именно, используемые для распределенного хранения данных в репозиторийных комплексах криптографические алгоритмы и механизмы шифрования уязвимы в случае применения противником (например, хакером или кибертеррористом) суперкомпьютерных систем (в разы) и квантово-компьютерных систем (на порядки). В частности, квантовый компьютер канадской фирмы D-WAVE SYSTEMS имеет скорость вычислений в 3600 раз быстрее обычных вычислительных систем, но и он давно уже не является самой мощной в мире квантово-вычислительной системой. Во второй половине 2019 года одна из лидирующих корпораций в сфере научно-промышленного применения квантовых технологий Google анонсировала использование компьютера на более чем 50 кубитах для аэрокосмических и других транспортных приложений.

Для повышения уровня защиты данных ПВК в условиях применения противником суперкомпьютерных и

квантово-компьютерных технологий, например, в транспортной отрасли, автором предложена инновационная технология хранения и обработки информации. От обычной технологии СРР она существенно отличается применением технологий компьютерной стеганографии (КС) на разных уровнях хранения в репозиторных комплексах, поэтому называется Системой распределенных стеганографических реестров (СРСР). Рассмотрим использование СРСР для явного и скрытого управления грузопассажирским трафиком и обеспечения кибербезопасности транспортного комплекса [3].

СРСР является разновидностью системы распределенных реестров, применяемой в файловых операционных системах. Явное управление грузопассажирским трафиком подразумевает контроль движения в режиме реального времени, когда потоки грузов и пассажиров перемещаются по заранее заданным маршрутам, на различных участках которых установлены мониторы, отслеживающие время прохождения каждой **контрольной точки**. На основании данных о скорости, ускорении, поворотах и других многочисленных параметрах движения каждого транспортного средства (ТС), интегрированного в сеть, в ПВК регулярно (например, с частотой несколько десятков или сот раз в секунду) поступает информация, перераспределяемая по СРР.

При применении, например, хакером или кибертеррористом суперкомпьютера или квантового компьютера для взлома системы шифрования и криптографических алгоритмов ПВК и СРР возможен перехват управления частью ТС, как движущихся, так и статичных.

Современные технологии хакерских и кибертеррористических атак позволяют, например, перехватить управление грузовым трейлером (для аварии), беспилотником (для техногенной катастрофы), сухогрузом (для посадки на мель), космическим спутником (для сведения с орбиты) или легковым автомобилем (для ДТП). Следует отметить, что для подавления действия встроенных и надстроенных в ТС антивирусных систем и брандмауэров применяются технологии скрытого управления. С программно-технической точки зрения скрытое управление предполагает формирование системы каналов связи, по которым скрытно на нижнем (BIOS бортового компьютера ТС), среднем (например, операционная система ТС) и высшем уровне (надстраиваемый софт для бортового компьютера ТС) осуществляется передача систем команд, в частности, хакером или кибертеррористом. Каналов допустимо счетное множество, часть из которых является спящими и одновременно активируемыми по управляющей команде через BIOS, операционную систему или софт для ТС: нижний, средний и верхний уровень соответственно. Каналы доступа могут являться, например, следствием неустраненных ошибок в программном обеспечении (ПО) бортовых компьютеров ТС, нерегулярного обновления ПО для ТС. Они могут быть вызваны также «закладками» - фрагментами программного кода, действие которого антивирусными и профилактическими программными системами и эвристическими алгоритмами пока не идентифицировано как вредоносное. Более того, часть закладок обладает свойством постоянно модифицировать свой программный код, чтобы не быть обнаруженными антивирусными и другими профилактическими программными системами, поскольку, например, работа многих антивирусов и брандмауэров построена по принципу наполнения базы данных сигнатур и базы знаний о принципах и методах доступа к информации. Модифицированный программный код отличается от эталонных сигнатурных образцов, поэтому антивирусы и брандмауэры на каждом цикле проверки не выявляют скрытых закладок, а до начала нового цикла проверки коды модифицируются, как минимум, один раз. Существуют также технологии многократной модификации, позволяющие обойти даже эвристические алгоритмы, прогнозирующие способ изменения программного кода и метода доступа к данным с нейтрального до подозрительного и даже потенциально опасного. Т.о. технологии скрытого управления, в т.ч., с постоянной модификацией программного кода и методов доступа к данным, применяемые, например, хакерами и кибертеррористами, наносят ощутимый ущерб при перехвате управления грузопассажирским трафиком и существенно снижают уровень кибербезопасности ТС.

Автором при изучении вопроса обеспечения безопасности ТС и формирования многоуровневых систем кибербезопасности транспортного комплекса был проанализирован опыт ведущих российских и иностранных компаний – лидеров в сфере разработки программного обеспечения, в т.ч., для транспортных средств. В частности, установлено, что промышленные предприятия интенсивно применяют технологии КС для непрерывной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции (CALS): объектом системы становятся как изделия (например, ТС), так и их компоненты – в этом случае рассматривается механизм многоуровневого ЖЦ, в част-

ности, для скрытой передачи параметров производимой системы на следующий уровень. Когда CALS-технологии применяются для сборки сложного изделия, состоящего из десятков - сотен миллионов деталей (например, авианосцы, линкоры и другие военные транспортные средства), уровень вложенности ЖЦ достигает десятков - сотен тысяч. В этих случаях для каждого комплектующего изделия (компонента) в системе строится, согласно защищенной патентом на изобретение авторской технологии, уникальный ЖЦ с предварительно защищенной в СРСР траекторией промышленной сборки, идентифицируемой среди множества других траекторий по персональному номеру.

Также КС применяется для компьютерного проектирования программных систем (CASE). Реинжиниринг ПВК предполагает многократное проектирование с созданием «точек возврата», «коридоров перехода» и «трасс маршрутизации». Например, при сборке ТС на аппаратную часть устанавливается программное обеспечение, которое во время промышленной эксплуатации транспортного средства может быть модифицировано неоднократно. Если в ходе доработки ПО было изменено, то внесенные (и, главное, недостаточно полно протестированные и проверенные) изменения в ПО, приводящие к ошибкам в управлении, необходимо оперативно отменить. Причем не только на изделии, которое уже в аварии пострадало, но на всех остальных ТС, сопроводив отмену изменений полным протоколированием изменений в ПО. Поясним на примере. В 2019 году была крупная авиационная катастрофа, при анализе причин которой выяснилось, что бортовое ПО (зарубежного авиапйлнера) давало пилотам неточную информацию о его технических характеристиках (высоте, углах атаки, скорости, ускорении и т.д.). Пилоты проходили обучение на ПО предыдущих версий, но доработанное ПО содержало, как минимум, одну скрытую ошибку, которая и обеспечила скрытое управление – по сути, перехват управления. Потребовалось длительное время не только на установление всех причин аварии, но и на замену ПО с устранением скрытых ошибок. Многочасовые простои парка авиапйлнеров по всему миру из-за необходимости повсеместной переустановки бортового ПО на работоспособную версию привели к многомиллионным потерям авиастроительной корпорации. Потери были бы минимизированы, если бы применялась технология СРСР, предложенная автором статьи. Она позволила бы из системы стеганографических реестров оперативно восстановить предыдущее состояние программного обеспечения на бортовых ЭВМ авиапйлнеров, в котором ошибка потери управления отсутствует и с помощью которого уже были осуществлены десятки - сотни тысяч успешных взлетов и посадок на разных аэродромах и в различных погодных условиях.

КС применяется и для оперативной аналитической обработки данных (OLAP): при построении многомерных, вложенных друг в друга OLAP-кубов в ПВК регулярно возникает необходимость в запуске процедур «свертки критериев» с построением запросов для быстрого доступа к блокам данных, например, о ТС. При применении СРР разные части реестра размещаются на различных уровнях и ребрах OLAP-кубов, но оперативный запрос в СРР может быть обработан только при ограничениях ПО о защите информации, что подвергает OLAP-кубы риску вирусной и/или хакерской атаки

или иным актам кибертерроризма [4-6]. Для минимизации рисков от хакерских и вирусных атак и повышения уровня кибербезопасности предлагается авторская технология СРСР, заключающаяся, в частности, в том, что для каждого ребра каждого OLAP-куба выделяется система персональных стеганографических контейнеров, внутренняя адресация которых имеет вложенную многоуровневую структуру, в частности, о частях, блоках и компонентах ТС. Стеганографические реестры распределены по всем частям системы, при этом комплекс репозиторий, по которым распределены внутренние адреса (например, с данными о технических характеристиках ТС и финансово-экономических параметрах проектов по их производству), децентрализован, т.е. единого центра обработки данных СРСР не существует и нагрузка равномерно распределена по всем частям СРСР. В случае вирусной и/или хакерской атаки или иного акта кибертерроризма пострадает только малая часть системы, на выведение которой из строя направлены усилия злоумышленников. При этом оставшиеся части СРСР возьмут на себя функции поврежденной части и за счет механизмов многоуровневого резервирования восстановят поврежденные и/или утраченные данные и заблокируют атакованный участок СРСР. Т.о., часть СРСР будет временно изолирована от других частей системы (аналог с затоплением части судна, по-прежнему находящегося на плаву, при получении пробоины), которые продолжают выполнение текущих задач с несколько большей скоростью, позволяющей обрабатывать запросы в безостановочном высокоскоростном режиме, незаметном для внешних пользователей. За конечный период времени на заблокированном и временно изолированном участке СРСР (например, на промышленном предприятии по производству ТС) может быть проведен комплекс восстановительных мероприятий с запуском механизмов восстановления данных, блокировании вирусных и/или хакерских атак и иных актов кибертерроризма [7-8].

Наконец, КС используется для оперативной обработки транзакций (OLTP). В частности, для применения технологий явного и скрытого управления и обеспечения, например, кибербезопасности транспортного комплекса с помощью разработанной автором технологии СРСР в каждом ТС с помощью КС вводится виртуальная стеганографическая временная шкала, калибруемая в соответствии со скоростью изменения параметров движения ТС. При производстве ТС при применении OLTP-технологий для каждого изделия и блока ТС и его компонента создается свой набор стеганографических контейнеров, в который заносится информация о технологической цепочке, этапе сборке, технических характеристиках и финансово-экономических параметрах проекта и продукции, создаваемой в соответствии с заданием. Оперативная обработка транзакций производится не по цепочке сборки, а по цепочке адресов, размещаемой в блоках СРСР в особом порядке, что многократно усложняет задачу доступа к данным при вирусной и/или хакерской атаке или ином акте кибертерроризма. В OLTP-технологиях с помощью СРСР реализуется механизм многоуровневой скрытой транзакции, когда набор разноформатных стеганографических контейнеров объединяется в информационный блок, доступ к которому осуществляется не через множество распределенных транзакций, а через единую транзакцию. Разработанный метод, защищенный патентом на

изобретение в России и за рубежом, сокращает время на выполнение запроса без снижения уровня кибербезопасности и позволяет минимизировать риски от явных и/или скрытых вирусных и/или хакерских атак и иных актов кибертерроризма, в т.ч., на промышленных предприятиях по производству ТС [9].

Выводы

1. Система распределенных стеганографических реестров (СРСР), по сравнению с Системой распределенных реестров (СРР) и тем более, с Системой реестров (СР), является значительным инновационным технологическим решением. Система СРСР защищена патентом на изобретение в России и за рубежом. Она позволяет защитить программное обеспечение (в частности, для ЖЦ ТС) и сократить скорость доступа к данным (например, о частях, блоках и компонентах ТС) наряду с существенным повышением уровня кибербезопасности и минимизацией рисков от явных и/или скрытых вирусных и/или хакерских атак и иных актов кибертерроризма. СРСР применима в комплексе с технологиями КС в CALS-, CASE-, OLAP- и OLTP-системах, в частности, в ПВК для мониторинга выполнения работ по государственному оборонному заказу и по оперативному формированию отчетов и государственных заданий, например, по производству ТС [10].

2. От стандартных СР и СРР, использующих преимущественно криптографические алгоритмы для защиты данных, СРСР отличается разветвленным древом эвристических алгоритмов для построения стратегий распределения блоков данных. В СРСР реализованы различные механизмы поддержки CALS-технологий поддержки ЖЦ продукции, CASE-технологий компьютерного проектирования программных средств и систем (например, для транспортного комплекса). Также в СРСР применяются методы многоуровневой защиты данных в OLAP-системах аналитической обработки данных и в OLTP-системах для оперативной обработки транзакций. Развитием СРСР является комбинирование криптографических и стеганографических методов в условиях разноформатности файлов-контейнеров, например, содержащих данные о частях, блоках и компонентах ТС.

Литература

1. Резер С.М., Шмудевич М.М., Резер А.В. Создание единой цифровой платформы для информационной транспортной системы // Транспорт: наука, техника, управление. – 2019. - № 11. – С. 3-6.
2. Пастухов Д.Ф., Волосова Н.К., Волосова А.К. некоторые методы передачи QR-кода с помощью стеганографии // Мир транспорта.- 2019. - Т.17, № 3 (82). – С. 16-39.
3. Резер С.М., Резер А.В. Роль транспортной безопасности в системе обеспечения национальной безопасности Российской Федерации // В сборнике: «Вклад транспорта в национальную экономическую безопасность» // Сборник трудов Второй Международной научно-практической конференции. Под редакцией Р.А.Кожевникова, Ю.А.Соколова, 2017. – С.262-264.
4. Резер С.М. Обеспечение безопасности и страхования рисков грузовых перевозок // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. - № 5. – С.3-11.
5. Резер С.М. Перспективы создания мультимодальных логистических транспортных центров (МЛТЦ) // Интегрированная логистика. – 2015. - № 4. – С.37-38.

6. Макаренко С.И. Эталонная модель взаимодействия стеганографических систем и обоснование на ее основе новых направлений развития теории стеганографии // Вопросы кибербезопасности. – 2014. - № 2 (3). – С.24-32.

7. Горелик А.Л., Тимушев А.Г., Шабаров В.В. Организация внутреннего консалтинга промышленных корпораций // Тяжёлое машиностроение. - 2001.- № 6. - С. 16-20.

8. Горелик А.Л., Раткин Л.С. Об устойчивости корпоративных информационных сетей // Вопросы оборонной техники. - 2003. - № 2 (315). – С. 43-45.

9. Раткин Л.С. Патент на изобретение РФ № 2322693.

10. Раткин Л.С. К столетию со дня рождения Президента АН СССР М.В.Келдыша: у истоков программы пилотируемых космических полетов (пленарный доклад) // Материалы Второй международной научно-технической конференции «Нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии – НЭРПО-2011» // Под общей редакцией Г.И.Ефремова.– М.: Издательство МГОУ, 2011. - С. 13-16.

Раткин Леонид Сергеевич, к.т.н., начальник отдела научных разработок научно-производственного предприятия «АРГМ», действительный член Российской академии естественных наук, Российской инженерной академии, Международной инженерной академии, Академии технологических наук РФ, Европейской академии естественных наук и Международной академии информатизации, офицер запаса.

Адрес АРГМ: 127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, 5.

Тел. 8-915-450-77-67 моб., (499) 251-85-32 служ.

E-mail: rathkeen@bk.ru.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАССООБМЕННЫХ И ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Доктор техн. наук, профессор **Лозовецкий В.В.**
(МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал))

Кандидат техн. наук, доцент **Лебедев В.В.**
(Российский технологический университет – МИРЭА)

Кандидат техн. наук, доцент **Черкина В.М.**
(ФГБОУ НИУ Российский государственный строительный университет)

MODELING OF MASS TRANSFER AND HEAT EXCHANGE PROCESSES IN VEHICLE AIR CONDITIONING SYSTEMS

Doctor (Tech.), Professor **Lozovetsky V.V.**
(Moscow State Technical University named after N. Bauman. Mytishchi Branch)

Ph. D. (Tech.), Associate Professor **Lebedev V.V.**
(Rossiysky Technology University – MIREA)

Ph. D. (Tech.), Associate Professor **Cherkina V.M.**
(Rosiysky State Construction University)

Система вентиляции и кондиционирования, воздухоохладитель, холодильный контур, тепловой баланс, осушение влажного воздуха.

Ventilation and air-conditioning system, an air cooler, a refrigerating contour, thermal balance, drainage of damp air.

Представлена теплотехническая модель автономной системы кондиционирования помещений транспортного средства. На базе анализа составляющих материально-энергетического баланса разработана математическая модель системы кондиционирования, учитывающая тепло- и массообмен при осушении воздуха в процессе его охлаждения. Предложена зависимость площади поверхности теплообмена от параметров задачи и изменения разности температур между хладагентом и ядром потока влажного воздуха в воздухоохладителе.

The thermotechnical model of the autonomous air conditioning system of the vehicle premises is presented. Based on the analysis of the components of the material-energy balance, a mathematical model of the conditioning system has been developed that takes into account heat and mass transfer during air drying during cooling. The dependence of the heat exchange surface area on the parameters of the problem and the change in temperature difference between the refrigerant and the core of the moist air stream in the air cooler is proposed.

Теплотехническая схема модели автономной системы кондиционирования помещений транспортного средства представлена на рис.1 в виде блочно-модульной сплит-системы.

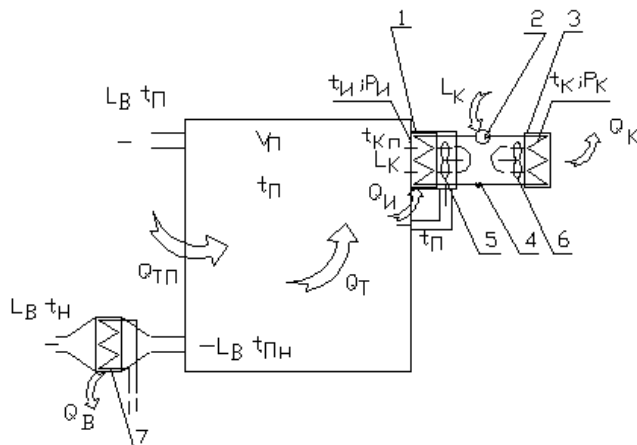


Рис.1. Расчетная схема системы кондиционирования транспортного средства с блочно-модульными устройствами

Воздух из салона, кабины или каюты транспортного средства подается вентилятором 5 в теплообменник-испаритель 1, где охлаждается до заданной температуры. В состав внутреннего блока блочно-модульной системы кондиционера входят испаритель 1 и вентилятор 5, компрессор 2 и конденсатор 3. Стороны высокого и низкого давления системы подачи хладагента из конденсатора 3 в испаритель 1 разделены с помощью регулирующего его температуру клапана 4. Вентилятор 6 обеспечивает охлаждение наружным воздухом конденсатор 3. Структура механической системы вентиляции предусматривает охлаждение приточного воздуха перед распределением по помещениям в теплообменнике 7, входящем в состав вентиляционной установки приточного типа.

Уравнение нестационарного теплового баланса помещения транспортного средства при кондиционировании, приведенное к параметрам воздуха в помещении, можно представить в виде:

$$(1+f)(Cp)_B V_{\Pi} \frac{dt_{\Pi}}{d\tau} = Q_{\text{ТП}} + \sum_j Q_j + \sum_i Q_{\text{ТЕХН}i} + Q_{\text{ВЕН}} - Q_{\text{ОК}}, \quad (1)$$

где $f = \frac{\sum_j (Cm)_j dt'_j}{(C\rho)_B \nu_{\Pi} dt_{\Pi}}$ – функция отношения теплоемко-

стей всех объектов, входящих в состав рассматриваемой системы кондиционирования, к теплоемкости воздуха. Расшифровка остальных обозначений приведена в разделе «Условные обозначения».

Оно определяет производительность системы по холоду при поддержании заданной температуры воздуха и позволяет анализировать переходные процессы. Теплоотвод в воздухоохладителе характеризуется изменением внутренней энергии воздуха, поступающего через него в салон транспортного средства. Изменение относенной к единице массы «сухого» воздуха энтальпии влажного воздуха при охлаждении выражается следующей зависимостью

$$\Delta I = I_1 - I_2 = (C_b + d_1 C_n)(t_1 - t_2) + (d_1 - d_2)(C_n t_2 + r_n), \quad (2)$$

где член $(d_1 - d_2)(C_n t_2 + r_n)$ не равен нулю и позволяет учесть теплоту конденсации r_n при образовании влаги. В стационарном режиме уравнение теплового баланса (1) преобразуется для расчета кондиционером производства холода:

$$Q_{OK} = Q_{\Gamma\Pi} + \sum_j Q_j + \sum_i Q_{TE\text{XHI}} + Q_{BEH}. \quad (3)$$

Производительность охладителя воздуха вентиляционной приточной установки, при его использовании в кондиционирующем оборудовании, составляет

$$Q_{\text{ХПВУ}} = L_B \rho_B C_B (t_H - t_{\Pi B}) = L_B \rho_B (I_H - I_{\Pi B}). \quad (4)$$

Если в установившемся режиме температура воздуха равна ее нормативному значению, то формула для определения потребного расхода воздуха через его охладитель, предусмотренный в системе, принимает вид:

$$L_K = \frac{Q_{\Gamma\Pi} + \sum_j Q_j + \sum_i Q_{TE\text{XHI}} + Q_{BEH}}{(C\rho)_B (t_{\Pi H} - t_{\Pi K})} = \frac{Q_{\Gamma\Pi} + \sum_j Q_j + \sum_i Q_{TE\text{XHI}} + Q_{BEH}}{\rho_B (I_{\Pi H} - I_{\Pi K})}. \quad (5)$$

Воздух, входящий в салон транспортного средства из кондиционера, имеет температуру, которая выше температуры воздуха в этом помещении на $(7...15)^\circ\text{C}$, а влажность в стационарном рабочем режиме может быть рассчитана с учётом наличия водяных паров в воздухе по следующей зависимости

$$d_{\Pi K} = \frac{d_{\Pi H} (L_B + L_K) \rho_B - d_{\Pi B} L_B \rho_B - g_n}{L_K \rho_B}, \quad (6)$$

где $d_{\Pi B}$, $d_{\Pi H}$, $d_{\Pi K}$ – параметры, характеризующие соответственно содержание влаги в приточном вентиляционном воздухе, воздухе в салоне транспортного средства и поступающем в него из охладителя кондиционера, кг/кг; g_n – количество паров воды в воздухе салона, кг/с.

С учётом зависимости энтальпии влажного воздуха, выходящего из охладителя кондиционера $I_{\Pi K}$ от влагосодержания $d_{\Pi K}$ и температуры $t_{\Pi K}$ и уравнений (2),

(5) и (6) получим выражение для определения потребного расхода воздуха через охладитель

$$L_K = \frac{Q_{\Gamma\Pi} + \sum_j Q_j + \sum_i Q_{TE\text{XHI}} + Q_{BEH} - [\rho_B L_B (d_{\Pi B} - d_{\Pi H}) + g_n] (C_n t_{\Pi K} + r_n)}{\rho_B (C_b + d_{\Pi H} C_n) (t_{\Pi H} - t_{\Pi K})} = \frac{Q_{\Gamma\Pi} + \sum_j Q_j + \sum_i Q_{TE\text{XHI}} + \rho_B L_B (C_b + d_{\Pi H} C_n) (t_{\Pi B} - t_{\Pi H})}{\rho_B (C_b + d_{\Pi H} C_n) (t_{\Pi H} - t_{\Pi K})} + \frac{\rho_B L_B C_n (d_{\Pi B} - d_{\Pi H}) (t_{\Pi H} - t_{\Pi K}) - g_n (C_n t_{\Pi K} + r_n)}{\rho_B (C_b + d_{\Pi H} C_n) (t_{\Pi H} - t_{\Pi K})}. \quad (7)$$

Из полученных формул следует, что наличие влаги в воздухе помещения влияет на теплотехнические параметры системы. Выделения влаги в виде водяного пара и углекислого газа в помещениях связаны с параметрами дыхания и составляют: количество водяного пара, выделяемого при выдохе, $G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{мин}} = 353,8$ мг/мин (22,1 мг/выдох); углекислого газа при спокойном дыхании $G_{\text{CO}_2}^{\text{мин}} = 628,5$ мг/мин (39,3 мг/выдох) [3]. Величину потребного обмена воздуха можно определить по формуле:

$$L_B \geq \frac{g_j}{\text{ПДК}_j - C_{Hj}} = \frac{60 g_j}{\left(\frac{\mu}{V_\mu^n}\right) (ppm_j^{\text{ПДК}} - ppm_j^n)}, \quad (8)$$

где L_B – требуемый воздухообмен, $\text{м}^3/\text{час}$; g_j – выделение газов, мг/мин; $ppm_j^{\text{ПДК}}$, ppm_j^n – объемное содержание вредного компонента газовой смеси, частей на миллион; μ – молекулярная масса компонента, г/моль (кг/кмоль); V_μ^n – объем компонента при нормальных условиях, 22,4 л/моль ($\text{м}^3/\text{кмоль}$).

Охлаждение влажного воздуха приводит к конденсации влаги при температуре ниже точки росы, входящей в выражение

$$p_n = \frac{\Pi d}{\frac{\mu_n}{\mu_B} + d} = p_{\text{н.п.}}(t_{\text{т.р.}}), \quad (9)$$

где Π – атмосферное давление, или давление влажного воздуха; p_n , $p_{\text{н.п.}}$ – парциальные давления водяных паров и насыщенных водяных паров соответственно; $t_{\text{т.р.}}$ – температура точки росы; d – влагосодержание влажного воздуха; μ_n , μ_B – молекулярная масса водяного пара и «сухого» воздуха.

В поверхностных воздухоохладителях – пластинчато-ребристых теплообменниках кондиционеров температура воздуха между пластинами переменна по сечению [4, 5]. Влага конденсируется на стенке при её температуре ниже точки росы и в объеме движущегося влажного воздуха с образованием тумана при температуре в ядре потока ниже точки росы. Показатели, характеризующие конденсацию влаги, могут быть представлены в следующем виде: $t_{\text{ст}} \leq t_{\text{т.р.}}$ – для стадии начального выпадения влаги на поверхность; $t_{\text{я.п.}} \leq t_{\text{т.р.}}$ – для стадии, соответствующей началу появления тумана. Балансы влажного воздуха, характеризующие его материальное и энергетическое состояние, определяются изменением его состояния для бесконечно малого уча-

стка поверхности передачи теплоты в направлении перемещения воздуха, содержащего влагу, и могут быть определены с помощью следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} d(G_b I) = -\alpha(t - t_{ct}) dF_{т.о.}; d(G_n x) = -\beta(x - x_{ct}) dF_{р.ф.}; \\ dG_b = 0; G_{вп} = G_b + G_n; x = \frac{G_n}{G_b}; dG_n = G_b dx; \\ I = C_b \cdot t + x \cdot (C_n \cdot t + r_n). \end{cases}, \quad (10)$$

где G_b , G_n , $G_{вп}$ – расход «сухого» воздуха, паров воды и паровоздушной смеси, соответственно, кг/с; I – энтальпия воздуха, содержащего влагу, Дж/кг «сухого» воздуха; x , x_{ct} – содержания пара, соответственно, в центре потока и у стенки, кг/кг «сухого» воздуха; t , t_{ct} – температура влажного воздуха в центре потока и у стенки, соответственно, °C; C_b , C_n – массовая теплоемкость «сухого» воздуха и пара, Дж/(кг·°C); r_n – латентная теплота образования пара, Дж/кг; α – коэффициент, учитывающий теплоотдачу от потока к ограничивающей его стенке, Вт/(м²·°C); β – коэффициент, учитывающий массоотдачу на поверхности, разделяющей жидкую и паровую фазы, кг/(м²·с); $dF_{р.ф.}$ – бесконечно малый элемент поверхности раздела фаз, м²; $dF_{т.о.}$ – бесконечно малый элемент поверхности теплообмена, совпадающий практически с поверхностью стенки, м².

Содержание пара в потоке уменьшается при выпадении влаги, аналогично влагосодержанию, характеризующему равновесные состояния влажного воздуха, и рассматривается в динамической системе – потоке влажного воздуха, в кг/кг «сухого» воздуха. При конденсации у стенки на поверхности пленки или капель имеет место состояние, определённое как не равновесие, и вызванное движением пара к поверхности раздела фаз, вблизи которой его концентрация уменьшается за счёт конденсации. Первое уравнение системы (10) определяет тепловой, а второе – материальный баланс в рассматриваемых процессах. Его левая часть отражает уменьшение внутренней энергии воздуха, содержащего влагу, при охлаждении и конденсации влаги на бесконечно малом участке поверхности теплообмена. Правая часть первого уравнения описывает процесс тепломассообмена: коэффициент теплоотдачи учитывает теплоту к поверхности раздела фаз при конденсации пара. Левая часть второго уравнения описывает процесс конденсации пара за счёт осушения воздуха, содержащего влагу. Массообмен представлен в системе (10) правой частью второго уравнения

В дальнейшем будем учитывать, что:

1) производная энтальпии влажного воздуха по паросодержанию:

$$\frac{dI}{dx} = (C_b + C_n x) \frac{dt}{dx} + (C_n t + r_n); \quad (11)$$

2) коэффициент теплоотдачи, учитывающий перенос латентного тепла конденсирующегося пара к поверхности теплопередачи, представлен формулой [6]:

$$\alpha = \alpha_o \left(1 + (C_n t + r_n) \frac{\beta(x - x_{ct})}{\alpha_o(t - t_{ct})} \right), \quad (12)$$

где α_o – коэффициент теплоотдачи, которым не учтён одновременный перенос массы и латентного тепла, т. е. коэффициент теплоотдачи при отсутствии влаги в потоке воздуха, Вт/(м²·°C).

Выражение в правой части уравнения (12), в больших скобках, является коэффициентом, характеризующим процесс выпадения влаги ξ :

$$\xi = 1 + (C_n t + r_n) \frac{\beta(x - x_{ct})}{\alpha_o(t - t_{ct})}. \quad (13)$$

Выпадение влаги $\xi > 1$ свидетельствует об увеличении коэффициента теплоотдачи при тепломассотдаче. Исключив переменные $dF_{т.о.}$ и $dF_{р.ф.}$ в (10) и (11), получим дифференциальное уравнение, связывающее температуру и содержание пара во влажном воздухе в ядре потока движущегося в охладителе воздуха:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\beta f_{р.ф.}}{\alpha_o} (C_b + C_n x) \frac{(x - x_{ct})}{(t - t_{ct})}, \quad (14)$$

где $f_{р.ф.} = \frac{dF_{р.ф.}}{dF_{т.о.}} \approx \frac{F_{р.ф.}}{F_{т.о.}}$ – отношение поверхностей раздела фаз и теплообмена.

При их значительном различии коэффициент $f_{р.ф.}$ может быть переменным и превышать 1, например, при конденсации на поверхности тонкодисперсной жидкой фазы. Используем в (14) вместо выражения для «сухой» теплоотдачи выражение для «сухой» теплопередачи, получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{\beta f_{р.ф.}}{K_o} (C_b + C_n x) \frac{(x - x_{ct})}{(t - t_n)}; \\ t_{ct} &= t - \frac{K_o}{\alpha_o} (t - t_n); x_{ct} = \frac{\mu_n}{\mu_b} \frac{p_{н.п.}(t_n)}{P - p_{н.п.}(t_{ct})} \end{aligned}, \quad (15)$$

где: K_o – коэффициент, характеризующий передачу теплоты в гипотетическом случае, т.е. при «сухом» охлаждении влажного воздуха, Вт/(м²·°C); t_n – температура хладагента, °C.

Температура хладагента в общем случае переменна вдоль поверхности теплообмена, а температура кипения в воздухоохладителе-испарителе в контуре холодильной машины может быть принята $t_n \approx \text{const}$. Более точное выражение для коэффициента выпадения влаги ξ следует из (14) или (15):

$$\begin{aligned} \xi &= 1 + (C_n t + r_n) \frac{\beta f_{р.ф.}(x - x_{ct})}{\alpha_o(t - t_{ct})} = \\ &= 1 + (C_n t + r_n) \frac{\beta f_{р.ф.}(x - x_{ct})}{K_o(t - t_n)} = \\ &= 1 + \frac{dx}{dt} \frac{C_n t + r_n}{C_b + C_n x} \end{aligned}. \quad (16)$$

Из выражения (16) следует, что коэффициент выпадения влаги не линейной функцией с учётом нелинейности уравнений (14) и (15), и не является постоянной величиной. Площадь теплообмена $F = - \int_1^2 \frac{G_b dI}{\alpha(t - t_{ct})}$ и при известных распределениях энтальпий, температур

и содержаний пара вдоль потока определяется уравнениями (15). При отсутствии конденсации воздухоохладитель рассчитывается как обычный теплообменник без учёта выпадения влаги. При допущении $t_n \approx \text{const}$ можно получить аналитическое решение уравнения (15):

$$\frac{dx}{d\vartheta} = (a + bx) \frac{(x - x_{\text{ст}})}{\vartheta}, \quad (17)$$

где:

$$t_{\text{ст}}(\vartheta, t_n, \Phi_2) = t + \vartheta \left(1 - \frac{K_o}{\alpha_o} \right);$$

$$x_{\text{ст}}(\vartheta, t_n, \Phi_2) = \frac{\mu_n}{\mu_v} \frac{P_{\text{н.п.}}(t_{\text{ст}})}{P - p_{\text{н.п.}}(t_{\text{ст}})}; \quad \vartheta = t - t_n;$$

$$\Phi_1 = \frac{\beta f_{\text{п.ф.}}}{K_o}; \quad \Phi_2 = \frac{K_o}{\alpha_o}; \quad a = \Phi_1 C_v; \quad b = \Phi_1 C_n.$$

Дифференциальное уравнение (17) в предложенной модели при начальных условиях $x(\vartheta_0) = x_0$ имеет следующее аналитическое решение:

$$x = \frac{(C_o - \psi_2) e^{b\psi_1 a \vartheta^2}}{1 - (C_o - \psi_2) e^{b\psi_1 b \vartheta^2}}, \quad (18)$$

где:

$$C_o = \frac{x_0}{\vartheta_0^a (a + bx_0)}; \quad \psi_1(\vartheta) = \int_{\vartheta_0}^{\vartheta} \frac{x_{\text{ст}}(\vartheta)}{\vartheta} d\vartheta;$$

$$\psi_2(\vartheta) = \int_{\vartheta_0}^{\vartheta} \frac{x_{\text{ст}}(\vartheta) e^{-b\psi_1(\vartheta)}}{\vartheta^{a+1}} d\vartheta.$$

Ниже представлены частные решения уравнения (18) для воздухоохладителя влажного воздуха с расходом $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ при давлении 10^5 Па , с начальной температурой 20°C и относительной влажностью 50% , при его охлаждении до 10°C . Величина паросодержания показана на рис. 2, свидетельствующем о росте эффективности осушения с ростом массоотдачи.

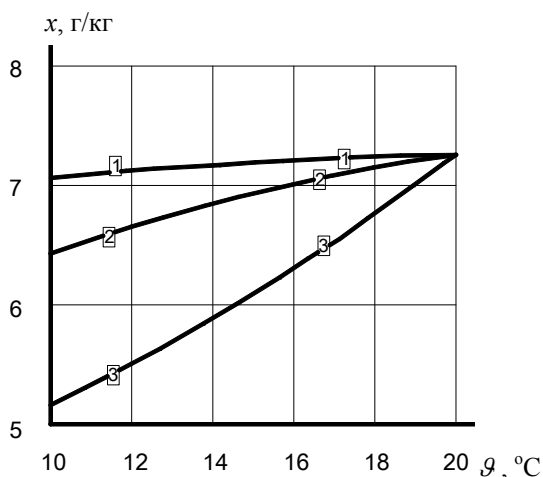


Рис. 2. Изменение содержания пара при осушении воздуха в поверхностном теплообменнике-охладителе кондиционера: кривые на графике соответствуют значениям параметра

$$\Phi_1 = \frac{\beta f_{\text{п.ф.}}}{K_o}, \quad ((\text{кг}\cdot\text{К})/(\text{Дж})): \text{кривая } 1 - \Phi_1 = 1,407 \cdot 10^{-4};$$

кривая 2 – $\Phi_1 = 7,037 \cdot 10^{-4}$; кривая 3 – $\Phi_1 = 3,519 \cdot 10^{-3}$;

начальное содержание пара – $7,26 \text{ г/кг}$.

На рис. 3 представлены графики изменения коэффициента выпадения влаги ξ , формула (16), свидетельствующие о его снижении к концу процесса охлаждения влажного воздуха.

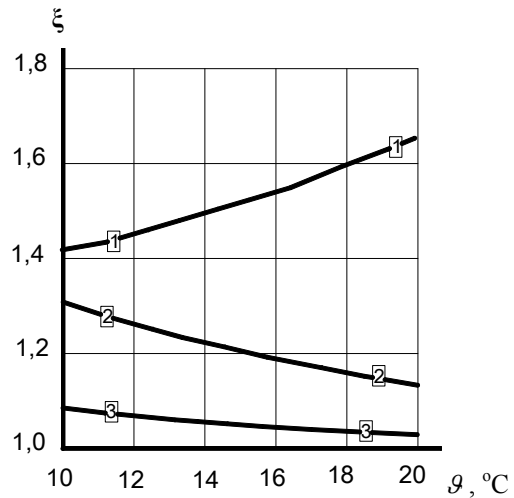


Рис. 3. Изменение коэффициента выпадения влаги: кривые на графике соответствуют значениям $\Phi_1 = \frac{\beta f_{\text{п.ф.}}}{K_o}$ (см. рис. 2)

Это подтверждает вывод о нелинейном характере решения и переменности коэффициента выпадения влаги в охладителе воздуха. Разность температуры потока и точки росы при моделировании для типовых условий остается положительной, т. е. на всем протяжении охлаждения сохраняются условия поверхностной конденсации без образования тумана. При дальнейшем охлаждении влажного воздуха может образовываться туман.

Зависимость площади поверхности теплообмена от параметров задачи и изменения разности температур между хладагентом и ядром потока влажного воздуха в охладителе воздуха представлена на рис. 4.

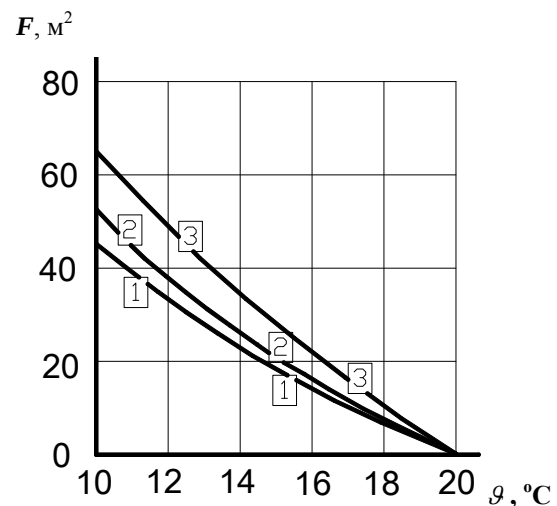


Рис. 4. Зависимость площади теплообмена от перепада температур между хладагентом и ядром потока в воздухоохладителе: расход охлаждаемого воздуха, $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$; коэффициент «сухой» теплоотдачи с его стороны $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; кривые соответствуют значениям $\Phi_1 = \frac{\beta f_{\text{п.ф.}}}{K_o}$ (см. рис. 2).

Рост поверхности охлаждения объясняется увеличением тепловой нагрузки, которое связано с ростом объёмов конденсации влаги.

Выводы

1. Конденсация паров воды на поверхностях теплообмена в случае потока влажного воздуха приводит к его осушению в случае, когда температура стенки достигает точки росы и происходит её дальнейшее снижение;

2. В последних сечениях охладителя воздуха создаются условия для образования тумана, т.е. конденсации водяных паров в ядре потока;

3. Образование инея в сечениях на выходе из охладителя воздуха происходит из-за отрицательных значений температуры поверхности, омываемой влажным воздухом, вследствие уменьшения температуры хладагента на противоположной её стороне ниже 0°C ;

4. Процесс конденсации пара существенно интенсифицируется при снижении температуры кипения (на 1°C она увеличивается на 0,318% по отношению к варианту, характеризующему номинальный режим работы системы кондиционирования);

5. Конденсация пара возрастает практически пропорционально при увеличении коэффициента массоотдачи в n -раз;

6. Рост коэффициента теплопередачи в n -раз за счет интенсификации теплоотдачи на стороне кипения приводит к увеличению интенсивности конденсации в $0,947n$ -раз, что соответствует данным [4];

7. Потери напора при движении воздуха возрастают, а его расход через охладитель воздуха снижается, как и тепловая нагрузка. При влажности ниже $0,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$ рост потерь резко уменьшается, приближаясь к потерям при «сухом» режиме. В базовом варианте процесс выпадения влаги характеризуется следующими показателями $0,126 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$, при росте потерь в 1,55 раза, что соответствует данным [10].

Список принятых обозначений

C_v , C_n – массовая теплоёмкость «сухого» воздуха и водяного пара, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$; $(Cp)_B$ – объёмная теплоёмкость воздуха, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; d_1 , d_2 – влагосодержание влажного воздуха, $\text{кг}/\text{кг}$; $d_{\text{Пв}}$, $d_{\text{Пн}}$, $d_{\text{Пк}}$ – влагосодержания приточного, вентиляционного воздуха, в салоне транспортного средства и поступающего в него из охладителя кондиционера, $\text{кг}/\text{кг}$; d – влагосодержание влажного воздуха, $\text{кг}/\text{кг}$ «сухого» воздуха;

$f = \frac{\sum_j (Cm)_j dt'_j}{(Cp)_B V_{\text{П}} dt_{\text{П}}}$ – функция отношения теплоёмкостей

системы; $f_{\text{р.ф.}} = \frac{dF_{\text{р.ф.}}}{dF_{\text{то}}} \approx \frac{F_{\text{р.ф.}}}{F_{\text{то}}}$ – коэффициент отношения

поверхностей раздела фаз и теплообмена; $dF_{\text{р.ф.}}$ – бесконечно малый элемент поверхности раздела фаз при массообмене, м^2 ; $dF_{\text{то}}$ – бесконечно малый элемент

поверхности теплообмена, м^2 ; $F = - \int_1^2 \frac{G_b dI}{\alpha(t - t_{\text{ст}})}$ – пло-

щадь теплообмена, м^2 ; g_n – расход водяных паров в помещении, $\text{кг}/\text{с}$; G_b , G_n , $G_{\text{вп}}$ – массовые расходы «сухого» воздуха, водяного пара и паровоздушной смеси в теплообменнике, $\text{кг}/\text{с}$; $G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{мин}}$ – количество водяного пара

при выдохе, $\text{кг}/\text{мин}$; $G_{\text{CO}_2}^{\text{мин}}$ – количество углекислого газа при выдохе, $\text{кг}/\text{мин}$; I_1 , I_2 – энтальпия влажного воздуха до и после охлаждения, соответственно, $\text{Дж}/\text{кг}$ «сухого» воздуха; I_n – энтальпия наружного воздуха, $\text{Дж}/\text{кг}$; $I_{\text{Пн}}$ – энтальпия воздуха в салоне тр воздуха, $\text{Дж}/\text{кг}$; I – энтальпия влажного воздуха, $\text{Дж}/\text{кг}$ «сухого» воздуха; K_o – коэффициент теплопередачи при «сухом» охлаждении влажного воздуха, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; L_B – объёмный расход приточного воздуха системы механической вентиляции, $\text{м}^3/\text{с}$; L_K – объёмный расход воздуха через его охладитель кондиционера, $\text{м}^3/\text{с}$; L_B – величина воздухообмен, $\text{м}^3/\text{час}$; P – атмосферное давление, или давление влажного воздуха, Па ; p_n , $p_{\text{н.п.}}$ – парциальные давления водяных паров и насыщенных водяных паров, соответственно, Па ; $\text{ppm}_j^{\text{пдк}}$, $\text{ppm}_j^{\text{н}}$ – объёмное содержание вредного компонента газовой смеси, предельно-допустимое в помещении и в наружном воздухе, соответственно, частей на миллион; $Q_{\text{ТП}}$ – тепловая мощность теплопритоков через наружные ограждения в салоне, Вт ; $\sum_j Q_j$ – сумма тепловыделений внутри

объектов, Вт ; $\sum_i Q_{\text{ТЕХН},i}$ – сумма теплопритоков от техно-

логических процессов в помещении, транспортного средства, $\text{Дж}/\text{кг}$; $I_{\text{Пк}}$ – энтальпия воздуха после охладителя

Вт; $Q_{\text{ВЕН}}$ – теплопритоки или теплоотвод, обусловленные вентиляционным воздухообменом, Вт ;

$Q_{\text{ОК}}$ – теплоотвод, за счёт охлаждения воздуха в ох-

ладителе воздуха кондиционера, Вт ; $Q_{\text{ХПВУ}}$ – производительность охладителя воздуха приточной вентиляционной установки механической вентиляции, Вт ;

r_n – скрытая теплота парообразования, $\text{Дж}/\text{кг}$; t_1 , t_2 – температура влажного воздуха; $t_{\text{П}}$ – температура воздуха

в помещении, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{т.р.}}$ – температура точки росы, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ст}}$ – температура стенки, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{я.п.}}$ – температура в ядре потока,

$^{\circ}\text{C}$; t , $t_{\text{ст}}$ – температура влажного воздуха в ядре потока и у стенки, $^{\circ}\text{C}$; t_n – температура хладагента, $^{\circ}\text{C}$;

$V_{\text{П}}$ – объём помещения, м^3 ; $V_{\mu}^{\text{н}}$ – объём компонента при нормальных условиях, $22,4 \text{ л}/\text{моль}$ ($\text{м}^3/\text{кмоль}$); x ,

$x_{\text{ст}}$ – паросодержание в ядре потока и у стенки, $\text{кг}/\text{кг}$ «сухого» воздуха; α – коэффициент теплоотдачи от потока к стенке, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; α_o – коэффициент теплоотдачи без учета сопряженного переноса массы и неявного

тепла, т. е. коэффициент «сухой» теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; β – коэффициент массоотдачи из потока к поверхности раздела фаз, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; ρ_B – плотность воз-

духа, $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нф}}, \rho_{\text{CO}_2}^{\text{нф}}$ – плотность «сухого» воздуха и водяного пара при нормальных физических условиях,

$\text{кг}/\text{м}^3$; μ – молекулярная масса компонента, $\text{г}/\text{моль}$ ($\text{кг}/\text{кмоль}$); μ_n , μ_v – молекулярная масса водяного пара

и «сухого» воздуха, $\text{кг}/\text{кмоль}$; ξ – коэффициент влаговыпадения; η – коэффициента преобразования тепловой энергии; $\vartheta = t - t_n$ – разность температур между

потоком и хладагентом, $^{\circ}\text{C}$.

Литература

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Госстрой РФ. – 2004.
2. СН 512-78. Строительные нормы. Инструкция по проектированию зданий и помещений для электронно-вычислительных машин. – М.: Госстрой, 2000.
3. Василенко В. Х. Малая медицинская энциклопедия // Дыхательная система (том 10, стр. 209). – М.: Издательство «Советская энциклопедия», 1968. – 1200 с.
4. Гоголин А. А. Осушение воздуха холодильными машинами. – М.: ГлавНИИ при Госэкономсовете СССР Научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Государственное Издательство Торговой Литературы, 1962. – 105 с.
5. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. – М.: Стройиздат, 1971. – 269 с.
6. Теплофизические основы получения искусственного холода. //Справочник из серии справочников «Холодильная техника» под ред. А.В. Быкова, А.А. Гоголина и др. М.: Изд-во: «Пищевая промышленность», 1980 – 231 с.
7. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. – М.: АВОК СТАНДАРТ, 2002. – 15 с.
8. Электронный ресурс: Сайт издательского дома «Холодильное дело»: <http://holod-delo.ru/>
9. Кожевникова Е.В., Лопаткина Т.А. Калориметрический комплекс для исследования теплоотдачи в теплообменниках и испытания кондиционеров Электронный ресурс: Электронный научный журнал «Холодильная техника и кондиционирование» /ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». – Электронный журнал. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. – № 1. – март. Режим доступа: <http://www.openmechanics.com/journals> свободный (дата обращения: 14.10.2010).

10. Рекомендации по расчету поверхностных воздухоохладителей для систем кондиционирования воздуха и вентиляции. – М.: Госстрой СССР, Главпромстройпроект, Всесоюзное Объединение Союзсантехпроект, Государственный проектный институт Сантехпроект, 1969. – 133 с.

11. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Межгосударственный стандарт. – М.: МНТКС, 2013.

Сведения об авторах

Лозовецкий Вячеслав Владимирович, д.т.н., профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал),
Мытищи 5, 1-ая Институтская ул., д. 1.
Тел. 8-915-347-48-00
E-mail: lozovetsky@mail.ru.

Лебедев Владимир Владимирович, к.т.н., доцент Российского технологического университета – МИРЭА, Москва, ул. Стромынка, 20
E-mail: vova_matr@mail.ru.

Черкина Вера Михайловна, к.т.н., доцент Московского государственного строительного университета, Москва, Ярославское шоссе д. 27.
Тел. 8-915-362-17-49
E-mail: khina75@mail.ru.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ

Научный информационный сборник «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление» включен в новый **ПЕРЕЧЕНЬ** рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидатов наук, на соискание ученой степени докторов наук (распоряжением Минобрнауки России № 21-р. от 12 февраля 2019 г.)

(Из Перечня ВАК по состоянию на 03.04.2019 года)

(Раздел «Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК) mgsu.ru»).

URL: http://mgsu.ru/science/publikatsionnaya-aktivnost/Perechen_VAK_03042019_specialnosti.pdf

№ п/п	Наименование издания	ISSN	Группы научных специальностей/научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым присуждаются ученые степени	Дата включения издания в Перечень
1458.	Научный информационный сборник "Транспорт: наука, техника, управление"	0236-1914	05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки), 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки), 05.22.08 – Управление процессами перевозки (технические науки), 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки), 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта (технические науки), 05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта, судоходство (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

ЭТИЧЕСКИЕ ПРАВИЛА ПУБЛИКАЦИЙ

ETHICAL RULES OF PUBLICATIONS

1. В настоящих правилах приведены общие принципы этики публикаций, которыми должны руководствоваться в своих взаимоотношениях участники процесса научных публикаций: авторы, рецензенты и редакторы.

2. Этика научных публикаций – это система норм профессионального поведения во взаимоотношениях авторов, рецензентов, редакторов, издателей в процессе создания, распространения и использования научных публикаций.

3. В своей деятельности редактор несет ответственность за обнародование авторских произведений, что накладывает необходимость следования следующим основополагающим принципам:

- При принятии решения о публикации редактор научного журнала руководствуется достоверностью представления данных и научной значимостью рассматриваемой работы.

- Редактор должен оценивать интеллектуальное содержание рукописей вне зависимости от пола, взглядов, гражданства, социального положения и предпочтений авторов.

- Неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, не должны использоваться для личных целей или передаваться третьим лицам без письменного согласия автора. Информация или идеи, полученные в ходе редактирования и связанные с возможными преимуществами, должны сохраняться конфиденциальными, и не использоваться с целью получения личной выгоды.

- Редактор не должен допускать к публикации информацию, если имеется достаточно оснований полагать, что она является плагиатом.

4. Плагиат – умышленное присвоение авторства чужого произведения науки, чужих идей или изобретений. Плагиат может быть нарушением авторско-правового законодательства и патентного законодательства и в качестве такового может повлечь за собой юридическую ответственность.

5. Для исключения возможного плагиата редактор обязан проверить рукопись статьи с использованием специального программного обеспечения.

6. Редактор не должен оставлять без ответа претензии, касающиеся рассмотренных рукописей или опубликованных материалов, а также при выявлении конфликтной ситуации принимать все необходимые меры для восстановления нарушенных прав.

7. Рецензент осуществляет научную экспертизу авторских материалов, вследствие чего его действия должны носить непредвзятый характер, заключающийся в выполнении следующих принципов:

- Рукопись, полученная для рецензирования, должна рассматриваться как конфиденциальный документ, который нельзя передавать для ознакомления или обсуждения третьим лицам.

- Рецензент обязан давать объективную и аргументированную оценку изложенным результатам исследования. Персональная критика автора неприемлема.

- Неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, не должны использоваться рецензентом для личных целей.

8. Автор (или коллектив авторов) несет первоначальную ответственность за новизну и достоверность результатов научного исследования, что предполагает соблюдение следующих принципов:

- Авторы статьи должны предоставлять достоверные результаты проведенных исследований. Заведомо ошибочные или сфальсифицированные утверждения неприемлемы.

- Авторы должны гарантировать, что результаты исследования, изложенные в предоставленной рукописи, полностью оригинальны. Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая не оформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неэтичны и неприемлемы.

- Необходимо признавать вклад всех лиц, так или иначе повлиявших на ход исследования, в частности, в статью должны быть представлены ссылки на работы, которые имели значение при проведении исследования.

- Авторы не должны предоставлять в журнал рукопись, которая была отправлена в другой журнал и находится на рассмотрении, а также статью, уже опубликованную в другом журнале.

- Соавторами статьи должны быть указаны все лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании и подготовке статьи.

- Если автор обнаружит существенные ошибки или неточности в статье на этапе ее рассмотрения или после ее опубликования, он должен как можно скорее уведомить об этом редакцию журнала.

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 заглавием «Литература». Библиографические описания в этом списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

10. **К рукописи статьи прилагается экспертное заключение** о возможности публикации статьи в открытой печати, заверенное подписью и печатью.

11. Издание осуществляет рецензирование и проверку на антиплагиат всех поступающих в редакцию материалов с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. К рецензированию могут привлекаться члены Редакционной коллегии.

12. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию сборника соответствующего запроса.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, редакцией не рассматриваются.

13. Все публикации в сборнике бесплатные. Авторские экземпляры научных сборников заказываются за плату.

14. Полные тексты статей сборника публикуются с отставанием на 12 мес. с момента выхода из печати и находятся в свободном доступе на сайте ВИНИТИ 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>