

ТРАНСПОРТ
НАУКА, ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ
НАУЧНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК

Издается с 1990 г.

№ 1

Москва 2012

Журнал включен в Перечень ведущих научных изданий ВАК Минобрнауки РФ, публикующих статьи по материалам выполняемых научных исследований, в том числе на соискание ученой степени кандидатов и докторов наук.

Полнотекстовую электронную версию с отставанием на один год можно посмотреть на сайте ВИНТИ РАН <http://www.viniti.ru>

Библиографии, аннотации и ключевые слова на русском и английском языках размещены на сайте Научной электронной библиотеки <http://elibrary.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

От редакционной коллегии	3
70 лет Колесникову Владимиру Ивановичу	5
<i>Резер С. М., Петрина А. М.</i> Микроприводы для наноманипулирования и нанотранспортирования	8
<i>Туранов Х. Т., Якупов А. Р.</i> Вычисление реакций рельсовых нитей при вкатывании гребня обезгруженного колеса на головку упорного рельса	20
<i>Тимухина Е. Н.</i> Технологические сбои и проблемы расчета и обеспечения функциональной надежности железнодорожных станций	29
<i>Сулакишин Т. С.</i> Динамика производства и перевозок основных видов промышленной про- дукции железнодорожным транспортом России	33
<i>Гордиенко А. А.</i> Исследование влияния деформирования шин на упругие силы гибких эле- ментов креплений колёсной техники при её перевозке на открытом подвижном составе	38
<i>Туранов Х. Т.</i> Формирование динамических моделей малонагруженной колёсной пары гру- зового вагона при воздействии пространственных систем сил	42
<i>Ларин О. Н., Кажаяев А. А.</i> Снижение конфликтных ситуаций на остановочных пунктах маршрутных сетей городов	48
<i>Лебедев Е. А.</i> Транспортное обеспечение логистики региона	50
<i>Макарова И. В., Хабибуллин Р. Г., Мухаметдинова Л. М., Шакирова Д. Ю.</i> Оценка рисков при создании клиентоориентированных автосервисных предприятий	52
<i>Гасанов Г. М.</i> Перспективы развития транспортной системы Республики Дагестан	55
<i>Раткин Л. С.</i> Инвестиционные аспекты проектирования программных комплексов автома- тизированного анализа дорожно-транспортных происшествий и региональных информаци- онных систем	58
<i>Алпатов А. И.</i> Автоматическое управление скоростью движения грузового поезда с элек- тровозом постоянного тока и дискретным управлением силой тяги	61
<i>Покровский А. К., Башмаков И. А., Комаров А. А.</i> Риски производственных процессов	65
<i>Дугин Г. С.</i> Состояние и перспективы развития рынка авиаперевозок в России	68
Информация для авторов	71

CONTENTS

From the Editorial Board	3
70 Years to Kolesnikov Vladimir Ivanovich	5
<i>Rezer S.M., Petrina A. M.</i> Microactuators for advanced nanomanipulation and nanotransportation	8
<i>Turanov Kh. T., Yakupov A. R.</i> Calculation of track rail reactions during rolling of low-loaded wheel crest onto the head of thrust rail	20
<i>Timukhina E. N.</i> Technological failures and problems in calculation and ensurance of functional reliability of railway stations	29
<i>Sulakshin T. S.</i> The dynamics of production and transportation of the main types of industrial produce by railway transport in Russia	33
<i>Gordienko A. A.</i> Analysis of tyre deforming effect on flexible forces in fastening elements of vehicles which transport in open cars	38
<i>Turanov Kh. T.</i> Construction of dynamic models of low-loaded wagon wheel pair under the impact of spatial force system	42
<i>Larin O. N., Kazhaev A. A.</i> Reducing conflicts at the stopping points of the network of routes of cities	48
<i>Lebedev E. A.</i> The transport ensuring of the regional logistic	50
<i>Makarova I. V., Khabibullin R. G., Moukhametdinova L. M., Shakirova D. Y.</i> Estimation of risks at creation of the autoservice enterprises focused on the client	52
<i>Gasarov G. M.</i> Development prospect of transport system in Dagestan Republic	55
<i>Rathkeen L. S.</i> Investment aspects of projecting of software complexes for automated analysis of road and transport incidents and regional information systems	58
<i>Alpatov A. I.</i> Automatic management of speed of freight train with DC electric locomotive and discrete management of pulling force	61
<i>Pokrovsky A. K., Bashmakov I. A., Komarov A. A.</i> Risks of productions	65
<i>Dugin G. S.</i> Condition and development perspective of avia transportation market in the Russia	68
The Information for Authors	71

ОТ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Предлагаемый вниманию читателей научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление» издается с целью ознакомления широкого круга специалистов и других заинтересованных читателей с результатами новых исследований и разработок в области транспорта как в России, так и за рубежом.

В соответствии с решением Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Минобразования РФ журнал включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых рекомендуется публиковать статьи по материалам выполняемых научных исследований, в том числе в связи с предстоящей защитой диссертаций на соискание ученой степени кандидатов и докторов наук. Данное решение ВАК впервые было опубликовано в Бюллетене ВАК №3 за 2004г. (пункт 97) и неоднократно подтверждалось. Новый перечень введен в действие с 01 января 2010 г.

Основу публикуемых статей сборника составляют работы, отражающие современное состояние и тенденции развития транспорта и транспортной науки. Рассматриваются вопросы разработки и внедрения новых технических средств и технологических процессов на всех видах транспорта, создание научно-технической политики развития единой транспортной системы страны. Уделяется особое внимание инновациям на транспорте, повышению уровня развития машиностроения для транспорта при соблюдении требований международных стандартов; применению математических методов для оптимизации транспортных систем; совершенствованию систем управления, автоматизации; функционированию сложных технических устройств, методов и средств передачи и обработки информации; внедрению навигации с использованием космической техники и технологий; организации взаимодействия разных видов транспорта в области пассажирских и грузовых перевозок; экономике транспорта, финансово-кредитному обеспечению предприятий; логистике; снижению экологического ущерба, связанного с работой транспорта, включая вопросы проведения правового и экономического регулирования экологических последствий транспортной деятельности, и другим актуальным проблемам транспорта.

Несомненный интерес для специалистов транспорта представляют применяемые в космонавтике крупные автоматизированные комплексы, отдельные звенья которых размещены на больших территориях. В этом плане транспортный комплекс следует рассматривать как объект управления, для которого использование опыта развития и эксплуатации космической техники может принести существенную пользу.

В сборнике освещается деятельность научных и технических обществ, публикуются сведения об отечественных и международных съездах, конгрессах, конференциях, симпозиумах, семинарах и выставках по транспорту, представляются новости науки, техники и литературы, даются рекламы.

Журнал предназначен для специалистов транспортной отрасли, научных сотрудников, докторантов, аспирантов и преподавателей транспортных вузов.

Периодичность издания – 12 номеров в год.

Индекс Роспечати – 55432.

Индекс по Объединенному каталогу «Пресса России» - 55104.

Цена за полугодие – 4008 руб.

Редколлегия журнала предлагает специалистам в области транспорта принять участие в работе этого издания в качестве авторов. Статьи для опубликования по тематике, представляющей для Вас наибольший интерес, просим присылать по адресу:

125190, г. Москва, ул. Усиевича, 20. ВИНТИ. Отдел транспорта. Телефоны: (499) 152-56-33, (499) 152-56-11.

Подписка на ежемесячный научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление» производится:

– в **ВИНИТИ РАН** <http://www.viniti.ru>, E-mail: market@viniti.ru

Заказчики могут оформить подписку с любого номера. Оформление проводится через ООО «НТИ-КОМПАКТ». Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20.

Предварительно следует сделать заявку на подписку (e-mail: ass1953@yandex.ru, antip47@yandex.ru), в которой указать название журнала, год и номер издания, подписной индекс, фамилию автора и адрес пересылки с почтовым индексом.

После оплаты необходимо сообщить (по телефону) перечисленную сумму, дату и номер платежного поручения или почтового перевода.

Телефоны для справок: (499) 152-54-92, **(499) 152-64-41**. Факс: (499) 152-54-92.

Перечислить деньги можно через Сбербанк на счет ООО «НТИ-КОМПАКТ».

Реквизиты: ИНН 7712037317, расчетный счет 40702810900000013305 в АКБ «РОСБАНК», г. Москва, корп. счет 3010181000000000256, БИК 044525256;

– в **почтовых отделениях связи** по Каталогу Агентства «Роспечать»: «Издания органов научно-технической информации»;

– в **почтовых отделениях связи** по Объединенному каталогу Агентства «Книга Сервис».

Зарубежные подписчики могут оформить подписку через организации:

– **ООО «Информнаука».**

Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20.

Телефоны: (499) 152-54-81.

Факс: (499) 152-54-81;

– **ЗАО «МК-Периодика».**

Адрес: 111524, Россия, г. Москва, ул. Электродная, 10

<http://www.periodicals.ru>, E-mail: info@periodicals.ru

РУБРИКАЦИЯ

научно-информационного сборника «ТРАНСПОРТ: НАУКА, ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ»

Общие вопросы транспорта

Руководящие материалы по транспорту
Современное состояние и перспективы развития транспорта
Научные и технические общества, съезды, конгрессы, конференции, симпозиумы, семинары, выставки по транспорту
Коммерческие вопросы, конъюнктура. Реклама на транспорте
Международное сотрудничество на транспорте
Информационная деятельность на транспорте

Информационные технологии. Интернет

Экономия энергии на транспорте
Статистика на транспорте
Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на транспорте
Математические и кибернетические методы на транспорте
Правовые вопросы на транспорте

Измерения, испытания, контроль и управление качеством на транспорте

Автоматизация и механизация на транспорте

Связь и сигнализация на предприятиях транспорта

Материально-техническое снабжение на транспорте

Пожарная безопасность на транспорте

Условия труда, охрана труда, техника безопасности на транспорте

Охрана окружающей среды на транспорте

Техническая эстетика, эргономика на транспорте

Железнодорожный транспорт

Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство

Искусственные сооружения на железных дорогах

Железнодорожные станции и узлы. Вокзалы

Локомотивное хозяйство железнодорожного транспорта

Техническая эксплуатация и ремонт средств железнодорожного транспорта

Электрификация железных дорог. Энергетическое хозяйство железнодорожного транспорта

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на железнодорожном транспорте

Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на железнодорожном транспорте

Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте

Связь и сигнализация на железнодорожном транспорте

Автомобильный транспорт

Эксплуатационные материалы на автомобильном транспорте

Автомобильные дороги (строительство и эксплуатация)

Дорожно-строительные материалы

Механизация строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог

Искусственные сооружения на автомобильных дорогах

Организация и безопасность дорожного движения

Автотранспортные предприятия, автостанции, гаражи, автовокзалы, автостоянки

Подвижной состав автомобильного транспорта

Техническая эксплуатация и ремонт средств автомобильного транспорта. Автосервис

Автомобильные перевозки

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на автомобильном транспорте

Автоматика и телемеханика на автомобильном транспорте

Связь и сигнализация на автомобильном транспорте

Речной транспорт

Внутренние водные пути

Сооружения на внутренних водных путях

Дноуглубительные работы на внутренних водных путях

Речные порты (строительство и эксплуатация)

Перегрузочные устройства речных портов

Техническая эксплуатация речного судна

Судовождение на внутренних водных путях

Технология судоремонта, судоремонтных сооружений.

Специальное технологическое оборудование

Организация и технология речных перевозок

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на речном транспорте

Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на речном транспорте

Автоматика и телемеханика на речном транспорте

Связь и сигнализация на речном транспорте

Морской транспорт

Морские пути

Дноуглубительные работы на море

Морские порты (строительство и эксплуатация)

Перегрузочные устройства морских портов

Техническая эксплуатация морского судна

Судовождение на море

Технология судоремонта, судоремонтные предприятия, судоремонтные сооружения

Организация и технология морских перевозок

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на морском транспорте

Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на морском транспорте

Автоматика и телемеханика на морском транспорте

Связь и сигнализация на морском транспорте

Воздушный транспорт

Воздушные линии. Управление воздушным движением

Астронавигационные системы и оборудование

Безопасность полета

Летательные аппараты

Средства обеспечения жизнедеятельности пассажиров и членов экипажа

Летная эксплуатация летательных аппаратов

Техническая эксплуатация и ремонт технических средств воздушного транспорта

Организация и технология воздушных перевозок

Применение авиации и авиационной техники в различных отраслях

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на воздушном транспорте

Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на воздушном транспорте

Трубопроводный транспорт

Трубопроводы (проектирование, строительство и эксплуатация)

Нефтехранилища и резервуарные парки. Газохранилища

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на трубопроводном транспорте

Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на трубопроводном транспорте

Автоматика и телемеханика на трубопроводном транспорте

Связь и сигнализация на трубопроводном транспорте

Промышленный транспорт

Механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ

Виды промышленного транспорта

Транспорт отраслей промышленности

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на промышленном транспорте

Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на промышленном транспорте

Автоматика и телемеханика на промышленном транспорте

Городской транспорт

Городские транспортные пути и сети

Безопасность движения на городском транспорте

Подвижной состав городского транспорта

Метрополитен

Техническая эксплуатация и ремонт средств городского транспорта

Перевозки на городском транспорте

Электрификация и энергетическое хозяйство городского транспорта

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на городском транспорте

Автоматизированные системы управления и вычислительная техника на городском транспорте

Автоматика и телемеханика на городском транспорте

Связь и сигнализация на городском транспорте

Взаимодействие разных видов транспорта, смешанные перевозки

Комплексное развитие транспорта

Единая транспортная система страны

Организация управления и АСУ транспортом

Единые технологические процессы при взаимодействии разных видов транспорта

Организация работы транспортных узлов

Взаимодействие разных видов транспорта

Контейнерные перевозки

Контрейлерные перевозки, перевозки накатом

Перевозки на поддонах и пакетами

Технические средства при взаимодействии разных видов транспорта

Организация смешанных перевозок

Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на транспорте

Прочие виды транспорта

Электромобили, электробусы, транспортные средства с комбинированным силовым агрегатом

Автоматизированные транспортные системы

Эскалаторы и движущиеся тротуары

Транспортные средства на магнитном подвесе

Транспортные средства на воздушной подушке

Транспортные средства с линейными асинхронными двигателями

Амфибии

Капсульно-контейнерные средства транспорта



70 лет Колесникову Владимиру Ивановичу

70 Years to Kolesnikov Vladimir Ivanovich

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ КОЛЕСНИКОВ – широко известный в России и за рубежом ученый в области технологии, физики и механики металлополимерных композиционных трибосистем.

Владимир Иванович Колесников родился в г. Ростове-на-Дону 5 ноября 1941 года. Окончил в 1966 году физический факультет Ростовского государственного университета, а в 1992 году – Академию народного хозяйства при Правительстве Российской Федерации. В 1975 году он защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, а в 1987 году – доктора технических наук. С 1991 года он – член-корреспондент РАН, а с 2003 года – академик РАН по Отделению энергетики, машиностроения, механики и процессов управления по специальности «Машиностроение, транспорт».

С 1966 по 1969 гг. Владимир Иванович работал инженером НИИ автоматизации. С 1970 года до сего времени работает в Ростовском государственном университете путей сообщения, где прошел путь от ассистента кафедры «Физика» до ректора университета.

В. И. Колесникова – автор 570 научных работ, в том числе 12 монографий, 32 изобретений и 21 патента РФ, им подготовлены 11 докторов, 26 кандидатов наук.

Под руководством В. И. Колесникова в Ростовском государственном университете путей сообщения создана научная школа трибологов, успешно взаимодействующая с другими российскими и зарубежными научными центрами.

Своей научной и организационной деятельностью он внес значительный вклад в развитие одного из приоритетных направлений современной науки – технологию производства металлополимерных сопряжений из композиционных материалов и разработку новых методов управления

их фрикционными свойствами. Под его руководством разработаны принципы создания новых металлополимерных материалов триботехнического назначения, в которых основную нагрузку берет на себя металл (сталь, латунь, бронза), а высокие антифрикционные характеристики обеспечиваются наномодифицированным твердым смазочным материалом, расположенным в пазах, углублениях, отверстиях перфорации. Созданы смазочные композиции с нанокластерными добавками для тяжело нагруженных трибосопряжений.

Одна из последних разработок группы – это создание на основе нанотехнологий антифрикционных многослойных покрытий, в которых основную нагрузку берет на себя металл силового каркаса, а высокие антифрикционные характеристики обеспечиваются наноструктурным покрытием. Такие покрытия могут быть применены на предприятиях транспорта, тяжелого и легкого машиностроения, химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Одно из важнейших применений – использование в качестве принципиально нового способа лубрикации трибосистемы «колесо-рельс» путем нанесения на боковую грань головки рельса многослойного антифрикционного наноструктурированного покрытия. К достоинствам этой системы относится то, что существенно увеличивается долговечность покрытия и сокращается количество повторных нанесений материала. Кроме того, объем и масса наносимого материала значительно меньше, чем в случае пластичной смазки, устраняется загрязнение окружающей среды нефтепродуктами.

Владимир Иванович Колесников – Заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, академик Академии транспорта России, действительный член Инженерной академии РФ, действительный член Международной инженерной академии, председатель экспертного совета по транспорту Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ, зам. председателя Межведомственного научного совета по трибологии при РАН, член Бюро ОЭММПУ, член Президиума ЮНЦ РАН, председатель Российского Национального Комитета по трибологии, член Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», председатель редакционного совета журнала «Трение и смазка в машинах и механизмах», член редколлегий журналов «Трение и износ», «Транспорт РФ», «Транспорт: наука, техника, управление», главный редактор журнала «Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения»

В. И. Колесников является лауреатом премии Президента Российской Федерации в области образования за цикл трудов для технических вузов, успешно совмещает научно-педагогическую работу с общественной и педагогической деятельностью. В 1989 году он был избран народным депутатом – председателем подкомитета «Железнодорожный транспорт» Верховного Совета СССР. С 1998 по 2008 год – депутат Законодательного собрания Ростовской области.

Его труд высоко оценен правительственными наградами России и других государств, а также наградами русской Православной церкви, наградами, имеющими отраслевое, областное, городское и районное значение.

В возглавляемом академиком Колесниковым В. И. Ростовском государственном университете путей сообщения целенаправленно реализуется политика гражданско-правового, патриотического, трудового, духовно-нравственного воспитания студенческой молодежи – молодых жителей г. Ростова-на-Дону, Ростовской области, юга России.

По инициативе и непосредственном участии академика РАН Колесникова В. И. организованы и проведены крупнейшие научные форумы российского и международного уровня с участием ведущих отечественных и зарубежных специалистов из Франции, Германии, Австрии, Польши, Словакии, Украины, Беларуси и других стран.

В настоящее время Колесников В. И. активно работает над проблемами совершенствования безопасности и повышения надежности (в том числе в аспекте трибологии) функционирования инфраструктурных и транспортных объектов Олимпийских игр – 2014 в городе Сочи.

Уважаемый Владимир Иванович!

Примите наши сердечные поздравления в связи с Вашим юбилеем – 70-летием со Дня рождения!

Вы ведёте активную научную работу, являетесь ведущим ученым в области технологии, физики и механики металлополимерных композиционных трибосистем, основоположником научной школы трибологов, успешно взаимодействующей с другими российскими и зарубежными научными центрами.

Под Вашим руководством разработаны принципы создания новых металлополимерных материалов триботехнического назначения. На основе нанотехнологий созданы антифрикционные многослойные покрытия, которые могут быть применены на предприятиях транспорта, тяжелого и легкого машиностроения, химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Вы успешно совмещаете научно-педагогическую работу с общественной деятельностью. По Вашей инициативе в Ростовском государственном университете путей сообщения реализуется гражданско-правовое, духовно-нравственное воспитание студенческой молодежи. Вы являетесь лауреатом премии Президента Российской Федерации в области образования.

Большое внимание Вы уделяете редакционной деятельности, работая в редколлегиях нескольких журналов. Вы также являетесь членом редколлегии журнала “Транспорт: наука, техника, управление”.

Ваш труд высоко оценен научными и правительственными наградами России и других государств.

Позвольте пожелать Вам доброго здоровья и дальнейшей успешной работы!

Редакционная коллегия

МИКРОПРИВОДЫ ДЛЯ НАНОМАНИПУЛИРОВАНИЯ И НАНОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Доктор техн. наук, профессор **Резер С. М.**, кандидат техн. наук **Петрина А. М.**
(ВИНИТИ РАН)

MICROACTUATORS FOR ADVANCED NANOMANIPULATION AND NANOTRANSPORTATION

Doctor of Science (Tech.), Professor **Rezer S. M.**, Ph. D. (Tech.) **Petrina A. M.**
(All-Russia institute of the scientific and technical information of Russian Academy of Sciences - VINITI of RAN)

Нанотранспортирование, наноманипулирование, пьезоэлектрические микроприводы, магнитоэлектрические микроприводы, электромагнитные микроприводы, электростатические микроприводы, электротермические микроприводы, микросборка, физические модели

Nanotransportation, nanomanipulation, piezoelectric microactuator, magnetostrictive microactuator, electromagnetic microactuator, electrostatic microactuator, electrothermal microactuator, microassembly, physical models

Микроприводы являются важным инструментом для точного манипулирования компонентами и материалами в нанотехнологиях. В статье рассматриваются вопросы проектирования и применения микроприводов для наноманипулирования, нанотранспортирования и микросборки. Описываются основные характеристики и модели пьезоэлектрических, магнитоэлектрических, электромагнитных, электростатических, электротермических и гибридных микроприводов. Рассматриваются физические модели, используемые для анализа поведения микропривода и для оптимизации проектирования.

Microactuators are emerging as important tools capable of precisely manipulation in nanoscale components and materials. This paper provides a summary of the state in the design and application of microactuators for advanced nanomanipulation, nanotransportation, and microassembly. Key features and models of piezoelectric, magnetostrictive, electromagnetic, electrostatic, electrothermal, and hybrid microactuators are described and compared. The main focus is on the development of approximate physical models to capture the essence of the actuator behavior. The approximate physics models can be useful as tool for subsequent design optimization.

Введение

Для производства наноструктур и приборов требуются инструменты, которые обеспечивают процесс микро- и наноперемещений, включающий точное позиционирование компонентов и материалов. Одним из таких инструментов являются микроприводы, с помощью которых можно манипулировать и транспортировать компоненты и материалы в микро- и нанометровом диапазоне измерений. Микроприводы являются также основой будущего оборудования для использования в микрологистике, в производстве нанороботов и в транспортировке.

Использование микроприводов позволяет выполнять различные операции, такие как захват, толкание, волочение, ориентирование, позиционирование, изгиб и т.п. с нанометровой точностью. С помощью микроприводов осуществляется перемещение зонда в атомном силовом микроскопе [1], прецизионное зондирование в жидких средах [2 - 3], микросборка [4 - 5], нанотранспортирование и нанопозиционирование в телескопах нового поколения [6] и в космической робототехнике [7].

В связи с потребностью в широком диапазоне применений за последнее время имеется большой прогресс в исследовании и создании микроприводов. Базой для их создания служат уже разработанные технологии, например, традиционная полупроводниковая технология, учитывающая специфику наноструктурных компонентов, а также новые современные технологии, такие как микроэлектромеханические системы (MEMS) и технологии с использованием механических свойств материалов. Однако чтобы выполнять операции с микро- и нанообъектами, микроприводы должны обладать высокой степенью повторяемости, высокой точностью, надежностью, производительностью, температурной стабильностью и т.п. Для совершенствования микроприводов интенсивно ведутся теоретические исследования и разрабатываются методы их создания.

В свете сказанного, целью этой статьи является освещение состояния проектирования и применения микроприводов для микро- и наноперемещений. В работе делается акцент на описание аналитических моделей, которые помогают понять физические процессы, протекающие в микроприводах, определяют критические параметры, влияющие на характеристики микроприводов, и обеспечивают изготовление микроприводов. Рассматриваются пьезоэлектрические, магнитоэлектрические, электростатические, электромагнитные, электротермические, а также гибридные микроприводы, построенные на теории механической деформации и на разных физических моделях. Приводятся их технические и сравнительные характеристики, рассматривается принцип действия и особенности применения в микро- и наноманипулировании. На их примере прослеживаются тенденции, характерные для развития микроприводов в микро- и наномире.

Основные требования к проектированию микроприводов

Проектирование микроприводов основано на расчете характеристик, учитывающих размер, диапазон движения, усилие, разрешение, мощность, динамическую реакцию, надежность, повторяемость (воспроизводимость), рабочее пространство, стоимость и др. Описанные ниже типы микроприводов имеют каждый свои преимущества и свои недостатки. В зависимости от условий применения одни микроприводы имеют более благоприятные преимущества перед другими.

Выбор привода малого размера зависит от размера компонентов, с которыми он взаимодействует. Размер двигателей, вращающихся звеньев, подшипников, телескопических звеньев микропривода уменьшается вместе с уменьшением размера манипулируемого объекта, при этом поверхностные эффекты начинают доминировать над силами Ньютона. Небольшие размеры приводов требуются при позиционировании компонентов величиной от 1 – 2 мкм до 400 нм [8], при измерении характеристик нанокомпонентов в сканирующих зондовых электронных микроскопах [9]. Будущие требования к размерам микроприводов составляют еще меньшую величину, достигающую менее 100 нм. Однако с точки зрения требований пользователя, с приводами малого размера трудно как взаимодействовать, так и манипулировать.

Выбор диапазона движения и усилий зависит от типа применения. Например, захватные усилия, требуемые для отделения кремниевой нанопроволоки диаметром 50 нм от подложки, составляют примерно от 100 до 500 мкН [10]. Большие силы, возникающие между зондом микроскопа и поверхностью образца, если их не регулировать, могут разрушить образец и зонд. Для предотвращения повреждений хрупкого привода и деформации образца крайне необходимо управлять усилиями. Это становится особенно важным в пространстве, где поверхностные и внутримолекулярные силы, такие как электростатические, Ван-дер-Ваальса и капиллярные силы, возрастают на порядок и становятся доминирующими. Необходимые диапазоны движений и усилий зависят также от жесткости геометрических структур, которые значительно уменьшаются с уменьшением размеров. Это вызывает потребность высокой оптимизации геометрического проектирования внутри малого проектируемого пространства.

Разрешающая способность микропривода регулируется посредством управления входным источником воздействий и уровнем шумов используемого источника по напряжению и току. Для сверхмалого позиционирования приводов требуется смещение с малой разрешающей способностью (~0,1 нм/мВ) и высокой точностью управления движением. При этом напря-

жение или ток должны проявлять низкий уровень шума, чтобы способствовать как можно более высокой разрешающей способности движения.

Микроприводы с низкой мощностью и КПД энергии, которые работают при низких рабочих температурах или медленно рассеивают тепло, обладают пониженными нелинейными эффектами, такими как пластичность или сдвиг. Особенно это относится к электротермическому микроприводу, в котором высокая температура может вызывать пластическую или упругую реакцию, препятствующую исполнению повторяемости. В этом случае желательным является проектирование, которое минимизирует потребляемую мощность.

Изготовление микроприводов связано также с совершенствованием различных аспектов технологии, включающих разработку высокопроизводительного дозирования, сравнительных характеристик однородных структур, минимальных способов отклонения, минимальных остаточных напряжений, высоких прочностных и усталостных свойств и т.д.

Благодаря малым размерам микроприводы являются хрупкими и ломкими, поэтому они будут подвергаться частой замене после практического использования в производстве. Специальные применения приводов низкой стоимости и быстрой замены рекомендуются в работе [11]. Тем не менее, приводы простой конструкции, легкой замены и небольшой цены будут востребованы в будущем в качестве нанокomпонентов.

Таким образом, общие требования к проектированию микроприводов включают экстремально малые усилия для манипулирования нанокomпонентами, большую сложность динамики в наномасштабе, малые размеры, малые изменения входных параметров, подходящие свойства материалов, приемлемые граничные условия, оптимальное геометрическое проектирование, которые приводят к большим изменениям рабочих характеристик микроприводов. Следовательно, требуются систематические исследования методов проектирования с осторожным рассмотрением особенностей проектирования и параметров микроприводов в зависимости от применения.

Пьезоэлектрические микроприводы

Пьезоэлектрические приводы основаны на пьезоэлектрическом эффекте, который был открыт П. и Ж. Кюри в 1880 г. [12, 13] (Piezein – греческое слово, которое обозначает «сжатие»). Пьезоэлектрический эффект заключается в том, что электрическое поле в некоторых материалах (так называемых пьезоэлектриках) вызывает изменения кристаллической структуры, означающее ее расширение и сжатие в некоторых направлениях, и этот эффект проявляется в очень разных формах.

Под действием электрического поля прямоугольная пластинка с плоско-параллельными гранями, вырезанная определенным образом из пьезоэлектрического кристалла, испытывает в общем случае деформации растяжения (или сжатия) и сдвига. Наоборот, механическая деформация пластинки приводит к появлению электрических зарядов на ее электродах, расположенных соответствующим образом. Оба описанных явления называются соответственно обратным и прямым пьезоэлектрическим эффектом. Пьезоэлектрический эффект обладает обратимой электромеханической связью.

Причиной пьезоэлектрического эффекта является смещение состояния электрического и механического равновесия диэлектрического кристалла под влиянием внешних воздействий. В отсутствие внешних электрических и механических сил кристаллическая структура пьезоэлектрика не деформирована (в макроскопическом смысле) и электростатически нейтральна. Деформация электронных оболочек и относительного смещения атомов и ионов в структуре кристалла, наблюдающиеся при наложении электрического поля, приводят к макроскопической деформации образца. Подобным же образом макроскопическая деформация кристалла приводит к относительным перемещениям элементов структуры и к появлению электронной и ионной поляризации. При температурах ниже температуры Кюри каждый кристалл обладает дипольным моментом. Выстроенные определенным образом области называются доменами. Это выстраивание образует дипольный момент, при котором возникает поляризация.

Поляризацией обладают также некоторые поликристаллы, например, керамики. На рис. 1(а), взятым из работы [13], показана поляризация доменов керамики, ориентированных случайным образом, при которой керамический элемент не имеет общей поляризации. Чтобы керамический элемент имел поляризацию, то есть чтобы домены в керамическом элементе выстроились в одном направлении, они должны предварительно подвергнуться влиянию постоянного электрического поля при температуре, примерно равной температуре Кюри (см. рис. 1(б)).

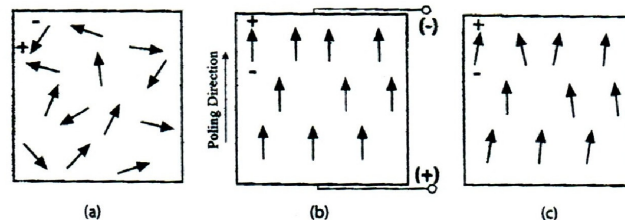


Рис 1. Процесс выстраивания: (а) – поляризация доменов, ориентированных случайным образом; (б) – электрическое поле, образованное поляризацией; (с) – остаточная поляризация после снятия электрического поля.

Этот процесс называется «процессом выстраивания». После выстраивания те домены, которые почти выстроились вдоль электрического поля, расширяются за счет доменов, которые не выстроились в направлении поля. Когда электрическое поле снимается, большинство диполей локализуется в конфигурацию вблизи центра ориентации (см. рис. 1 (с)). Теперь элемент имеет остаточную поляризацию. Если поляризованный пьезоэлектрический элемент подвергается механической деформации, в материале возникает электрический заряд (прямой пьезоэлектрический эффект). И наоборот, под действием электрического поля в материале возникает механическая деформация (обратный пьезоэлектрический эффект) (см. рис. 2 (а) и (б)), взятые из работы [13].

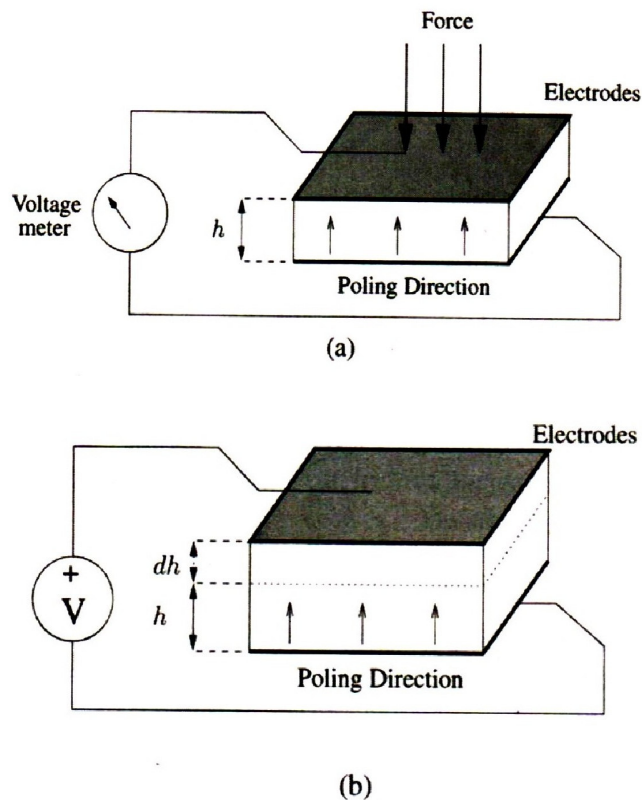


Рис. 2. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект: (а) – прямой эффект, (б) – обратный эффект

Как прямой, так и обратный пьезоэлектрические эффекты, в которых проявляется связь между упругим и электрическим или магнитным состоянием веществ, используются для пре-

образования электрической энергии в механическую энергию и обратно.

Уравнения электромеханики для линейного пьезоэлектрического материала записываются в следующем виде:

$$S_i = s_{ij}^E T_j + d_{mi} E_m, \quad (1)$$

$$D_m = D_{mi} T_i + \varepsilon_{mk}^T E_k, \quad (2)$$

где индексы $i, j = 1, 2, \dots, 6$ и $m, k = 1, 2, 3$ для различных направлений внутри прямоугольной системы координат, как показано на рис.2. Первый индекс представляет направление электрического поля, второй – показывает направление реакции (т.е. деформацию); буквы S, T, D, E – механическую деформацию, усилие, электрическое смещение и электрическое поле, соответственно. Свойства материала представлены константами: s^E – упругая константа, d – пьезоэлектрическое усилие, ε^T – диэлектрическая константа.

Первое уравнение описывает обратный пьезоэлектрический эффект, а второе – прямой пьезоэлектрический эффект. Когда приложенное электрическое поле имеет ту же полярность, что и поляризация, результаты деформации должны быть положительными и соответствуют растяжению, в то время как если они направлены противоположно, то соответствуют сжатию.

В пьезоэлектрических приводах продолжительное время применялась только керамика, однако в настоящее время широко используются микроприводы на основе микроэлектромеханических систем, материалов из сплава с памятью формы, полимерных материалов, тонкопленочных покрытий и др. Для пьезоэлектрического элемента все параметры в уравнениях (1) и (2) являются тензорами, следовательно, представлены нелинейными характеристиками. Однако для объектов с правильной формой (пластины, оболочки и т.д.) эти уравнения могут быть существенно упрощены благодаря геометрической симметрии этих объектов и специфическим свойствам пьезоэлектрических материалов.

В настоящее время в качестве пьезоэлемента широкое применение находят пьезоэлектрические сканирующие трубки. Применение пьезоэлектрических сканирующих трубок в микроприводах было впервые отмечено в работе [14]. По сравнению с традиционными устройствами позиционирования, микроприводы из пьезоэлектрических сканирующих трубок отличаются высокой точностью позиционирования и большой шириной полосы частот. Основным их преимуществом является то, что они легко интегрируются в современные сканирующие силовые микроскопы и другие устройства, связанные с нанопозиционированием [15 - 17].

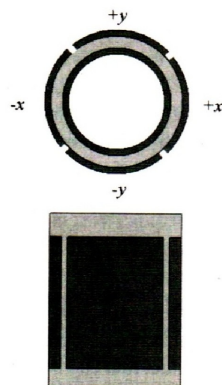


Рис. 3. Пьезоэлектрическая сканирующая трубка

Как показано на рис. 3 [15], пьезоэлектрическая сканирующая трубка состоит из трубки радиально поляризованного пьезоэлектрического материала, четырех внешних электродов и внешнего заземленного электрода. Противоположно электродам под углом 90° расположены четыре равных сектора. Путем изгиба при 2-мерном движении плоскость $x - y$ превращается примерно в сферу. В этой конфигурации внутренний электрод приводится в движение z -сигналом. Другая конфигурация включает внешний кольцевой электрод для независимого вертикального вытягивания (расширения) или сжатия. При надлежащей настройке (размеров пьезотрубок, диапазона позиционирования, температуры и т.д.) такие устройства по-

зволяют осуществлять точное манипулирование во всех направлениях пространства.

В работе [18] отмечается, что точный расчет диапазона сканирования пьезоэлектрической трубки является очень трудным. Изгиб трубки описывается функцией электрического поля и вызванного неоднородного растяжения. Для небольших отклонений уравнение горизонтального перемещения для конечной точки записывается в следующей форме:

$$\Delta_i = \frac{\sqrt{2d_{31}L^2}}{\pi Dh} V_i, \quad i = x, y,$$

где Δ_i – отклонение в направлении x или y , d_{31} – пьезоэлектрическая константа напряжения, L – длина трубки, D – наружный диаметр трубки, h – толщина трубки и V_i – напряжение электрода по осям x или y .

Вертикальное перемещение обусловлено напряжением V_z , возникающим в электроде, которое дается следующим уравнением:

$$\Delta_z = \frac{\sqrt{2d_{31}L}}{h} V_z.$$

Наряду с такими преимуществами пьезоэлектрических микроприводов, как высокая точность, большая нагрузочная способность, широкая полоса пропускания, быстроедействие, есть и существенные недостатки, включающие нелинейную гистерезисную характеристику деформации пьезодвигателя, наличие которой усложняет проектирование системы управления пьезоэлектрическим микроприводом. Другими нежелательными свойствами при моделировании и управлении пьезоэлектрическими приводами являются также ползучесть и вибрации.

Ползучесть. Под ползучестью понимается зависимость напряжения (материала) и деформации от времени. В пьезоэлектрическом приводе ползучесть связана с эффектом приложения напряжения и остаточной поляризацией. Эффект заключается в появлении медленной ползучести после изменения напряжения. Один из способов борьбы с ползучестью основан на аппроксимации нелинейной модели в виде следующего нелинейного уравнения [19]:

$$y(t) = y_0 \{1 + \gamma \log(t/t_0)\}. \quad (3)$$

Здесь t_0 представляет время, в течение которого появляется эффект ползучести, γ – фиксируемое значение скорости ползучести, которая идентифицируется с наблюдаемой реакцией привода.

Эта сложная нелинейная модель упрощается при использовании линейной модели ползучести, описанной в работе [20]. Линейная модель ползучести, в которой используются низкочастотные характеристики пьезоэлектрического привода, сравнивается с моделями ползучести, применяемыми в механизмах [13]. В этом случае эффект ползучести моделируется как серия согласованного числа пружин и затуханий согласно уравнению:

$$G_c(s) = \frac{1}{k_0} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{c_i s + k_i}, \quad (4)$$

где k_0 – константа модели упругого поведения привода на низких частотах, k_i – константа пружины и c_i – константа затухания.

Если модель имеет третий порядок, то есть $N = 3$, то эффект ползучести осуществляется с умеренной частотой. Преимущество метода в этой области частот состоит в том, что эта низкочастотная модель может быть сведена к линейной модели, которая описывает динамику вибраций привода.

Гистерезис. Гистерезис является основной формой нелинейности в пьезоэлектрических микроприводах. Слово “hysteresis” означает «запаздывание, отставание» или «наступающий после». Например, эффект запаздывания (4) упрощенной модели ползучести G_c (при $N = 1$, $c_1 = 1$ и $k_1 = 1$), определяемый выражением

$$G_c(s) = 1 + \frac{1}{s+1},$$

показан на рис. 4 [20] диаграммой сигналов вход – выход при изменении входной частоты. Например, на низких частотах (входная частота 0,2 Гц) эффект ползучести представлен эллипсом с более круглой петлей. На высоких частотах (входная

частота 1 Гц) эффект ползучести уменьшается и петля гистерезиса становится менее круглой.

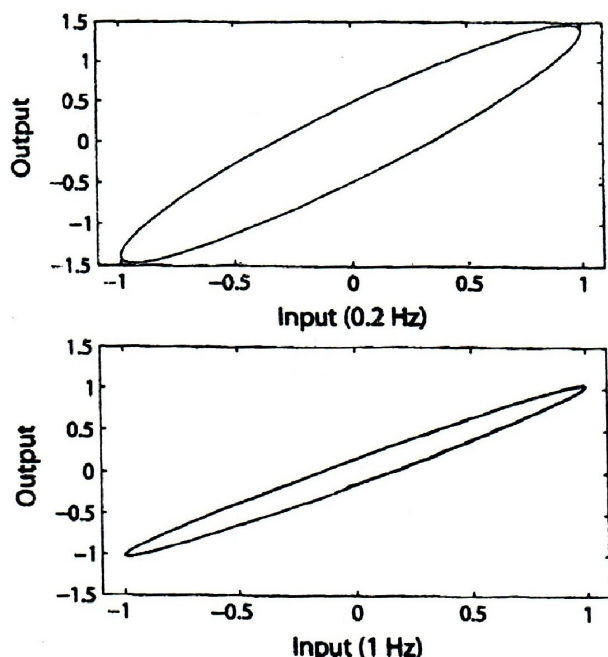


Рис. 4. Эффект ползучести при низких (0,2 Гц) и высоких (1 Гц) входных частотах

Большинство широко используемых методов моделирования гистерезиса в пьезоэлектрических приводах являются классическими гистерезисными моделями [19 - 22]. Классическая модель используется для моделирования точности гистерезиса на данной частоте во многих приводах различных типов, таких как пьезокерамические, электромагнитные, электростатические, термические и др.

При гистерезисе возникает различная реакция физических тел на некоторые внешние воздействия в зависимости от того, подвергалось ли это тело ранее тем же воздействиям или подвергается им впервые. Необратимые изменения гистерезиса проявляются также в различном течении прямых и обратных процессов. В пьезоэлектрическом приводе различают магнитный гистерезис и упругий гистерезис.

Магнитный гистерезис – различие в значениях намагниченности материала при одной и той же напряженности внешнего намагничивающего поля H_c в зависимости от значения предварительной намагниченности I образца.

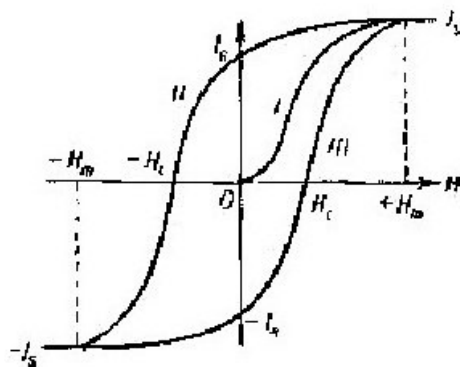


Рис. 5. Основная кривая намагничивания – I и петля магнитного гистерезиса II – III

Кривая зависимости I от поля H (так называемая основная, или нулевая кривая намагниченности) представлена на рис. 5 (кривая I) [21]. Если, доведя материал, например ферромагнетик, до насыщения I_s (при $H = +H_m$), уменьшать затем магнитное поле, то I будет изменяться необратимо, то есть намагниченность тела (при заданной величине H) будет больше (кривая I, рис.5), чем на основной кривой. При $H = 0$ ферромагнетик обладает остаточной намагниченностью I_R , для

уничтожения которой необходимо приложить поле H обратного знака – H_c , называемой коэрцитивной силой. (Коэрцитивная сила в основном определяется различного рода внутренними неоднородностями вещества ферромагнетика, препятствующими смещению границ зародышей перемagnetничивания; поэтому, чем совершеннее кристаллическая решетка вещества, тем меньше коэрцитивная сила и площадь петли гистерезиса). Дальнейшее увеличение поля обратного знака до $-H_m$ приводит к намагниченности $-I_s$, соответствующей полю $+H_m$. При изменении поля от $-H_m$ до $+H_m$ процесс повторяется, но по другому пути (кривая III). Таким образом, при циклическом изменении магнитного поля H намагниченность I описывает так называемую максимальную петлю гистерезиса (статическую петлю), площадь которой $\oint H dI$ равна работе, совершаемой полем H (магнитный гистерезис). Энергия, затраченная на перемagnetничивание, переходит в тепло, вследствие чего ферромагнетик, подвергаемый циклическому перемagnetничиванию, нагревается вследствие потерь энергии на магнитный гистерезис. Площадь и форма петли гистерезиса существенно меняются под влиянием внешних воздействий на ферромагнетик (температура, внешние упругие напряжения, термическая и механическая обработка и т.п.).

Упругий гистерезис заключается в отставании во времени развития деформаций упругого тела от напряжений. При циклическом повторении нагрузки и разгрузки тела диаграмма, изображающая напряжение δ в функции от деформации ϵ , дает петлю упругого гистерезиса (рис.6) [21]. Площадь петли ΔU пропорциональна доле энергии упругости, перешедшей в тепло. Для оценки упругого гистерезиса пользуются относительной величиной $\Delta U / U$, где U – энергия упругой деформации (штриховка на рисунке).

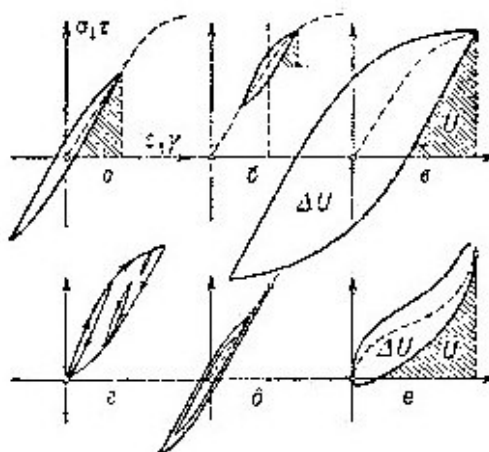


Рис. 6. Характерные петли упругого гистерезиса: а, б, в – при простой нагрузке; г – при сложной нагрузке; д – при затухании колебаний; б, г, е – при асимметрической нагрузке

Причина упругой деформации заключается в появлении в кристалле местных пластических деформаций, создающих в окружающей среде остаточные напряжения; эти последние при изменении нагрузки на тело, в свою очередь, производят местную пластическую деформацию обратного знака; в обоих случаях энергия расходуется на необратимые процессы. Кроме того, существует связь упругого гистерезиса с магнитными полями, магнитным гистерезисом, с магнитострикционными и температурными явлениями, составом сплавов, технологией и рядом других факторов.

Явление упругого гистерезиса как упругого несовершенства свойственно всем телам и отмечается даже при низких температурах, близких к абсолютному нулю. Оно является причиной затухания свободных колебаний самих упругих тел, затухания в них звука, уменьшения коэффициента восстановления при неупругом ударе и обуславливает необходимость затраты внешней энергии для поддержания вынужденных колебаний. В зависимости от назначения оно может рассматриваться как нежелательное (потери энергии) или как полезное (гашение колебаний).

При расчете деформации пьезоэлектрического микропривода при статических и динамических режимах работы учитывают гистерезис. В зависимости от постоянного или переменного магнитного поля различают статические и динамические петли гистерезиса.

Статическая петля гистерезиса представляет зависимость намагниченности (или магнитной индукции) пьезоэлектрического элемента от периодически изменяющегося магнитного поля, при этом изменение поля должно быть медленное (квазистатическое).

Динамическая петля гистерезиса – зависимость намагниченности (или магнитной индукции) пьезоэлектрического элемента от периодически изменяющегося со временем (переменного) магнитного поля. Если магнитное поле изменяется от некоторого положительного значения до некоторого отрицательного максимального значения одной и той же амплитуды, доводящей пьезоэлектрический элемент до магнитного насыщения, то намагниченность или магнитная индукция опишет при этом максимально симметричную динамическую петлю гистерезиса. Динамическая петля гистерезиса отличается от петли гистерезиса, снятой при медленном, квазистатическом изменении поля. Это различие обусловлено тем, что площадь динамической петли гистерезиса определяется не только потерями энергии на магнитный гистерезис, но также потерями на вихревые токи и потерями из-за магнитной вязкости. При одинаковых значениях максимальной намагниченности (или магнитной индукции) динамическая петля гистерезиса шире статической петли гистерезиса.

Вибрации влияют на потерю точности позиционирования микропривода, особенно на высоких скоростях, где они являются основными препятствиями в достижении высокоскоростного нанопозиционирования. Чтобы увеличить ширину полосы частот, а следовательно, и скорость нанопозиционирования, используют системы управления с динамикой высокочастотного режима вибраций. Однако высокочастотный режим вибраций может воздействовать на стабильность системы управления с замкнутым контуром, навязывая системе управления пределы достижимых характеристик. Кроме того, внешние вибрации отрицательно влияют на работу устройств нанопозиционирования, например, возникающие вибрации при перемещении зонда и образца в сканирующем зондовом электронном микроскопе. В этом случае для снижения вибраций используются шаговые микродвигатели, позволяющие дистанционно управлять сближением зонда и сканирующего зондового электронного микроскопа.

Возможность высокоскоростных операций можно увеличить путем оптимизации геометрии пьезоэлектрического устройства. Этот способ предлагается в работе [13]. На рис. 7 рассмотрен принцип работы такого пьезоэлектрического устройства. Пьезоэлектрический привод является стационарным (с фиксированным заземлением на С), сдвигающимся вперед-назад внутренним стержнем. Относительно большое перемещение с нанометровой точностью достигается путем повторения шаговой процедуры. Движение происходит следующим образом. Вначале пьезоэлектрический привод А прижимается к стержню; после этого пьезоэлектрический привод В расширяется, заставляя стержень двигаться влево; пьезоэлектрический привод С сжимается и А размыкается и, наконец, В включается в контакт, заставляя стержень двигаться снова влево. Эти движения повторяются снова и снова, позволяя пьезоэлектрическому микродвигателю совершать с нанометровой точностью позиционирование стержня в широком диапазоне перемещений.

Ударные вибрации, которые являются результатом каждого шагового удара (пьезоэлектрические микроприводы А и С), со временем становятся все более ярко выраженными и в продолжении высокоскоростной эксплуатации приводят к потере точности позиционирования. Кроме того, при каждом цикле сжатия происходит динамическое растяжение, которое будет, в конечном счете, создавать трещины в пьезоэлектрическом материале. Например, в той же работе отмечается, что жизненная усталость пьезоэлектрических микроприводов составляет 100 млн. на один миллиард циклов сжатие-растяжение. Если микродвигатель делает шаги нанометрового размера, его продолжительность работы составит от 200 до 2000 м. Такая продолжительность жизни является очень малой, если привод

использовать при длительном позиционировании с нанометровой точностью. Типичной рекомендацией по уменьшению повреждений из-за усталости пьезоэлектрических приводов является оптимизация механических ударов – то есть при управлении заставлять микропривод двигаться в медленном темпе. Таким образом, для управления пьезоэлектрическим микроприводом при быстром позиционировании необходимо ослаблять неблагоприятные эффекты, связанные с ударными силами и вибрацией.

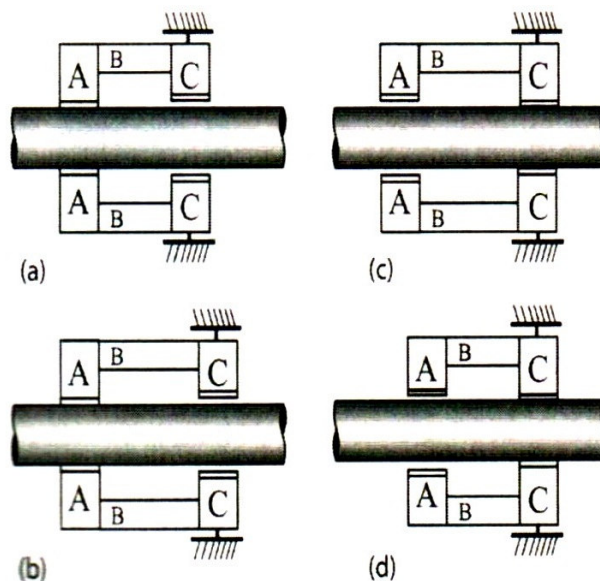


Рис. 7. Оптимизация геометрии пьезоэлектрического микропривода. Схематическое движение стержня влево, требующее повторения сжатия и растяжения пьезоэлектрических приводов А и С: (а) – А-прижатие к стержню, (б) – В-расширение, заставляющее стержень двигаться влево, (с) – С-сжатие и А-раскрытие, (д) – В-контакт, заставляющий стержень двигаться влево

Несмотря на указанные недостатки, благодаря простой конструкции, прецизионным техническим характеристикам, широкому диапазону перемещения, быстрдействию пьезоэлектрический микропривод является идеальным электро-механическим исполнительным механизмом. Пьезоэлектрические микроприводы находят, прежде всего, широкое применение в зондовой микроскопии при управлении движением зонда и образца; для измерения механических свойств ячеек, помещаемых внутри зондового сканирующего электронного микроскопа; в медицине – в лазерной терапии, хирургических микроманипуляторах, в биомедицинской технологии, нанобиотехнологии, для создания наноматериалов, в нанолитографии, в микророботах для манипулирования биологическими образцами и т.д.

Магнитоэлектрические микроприводы

Магнитоэлектрические микроприводы основаны на явлении магнитоэлектрики ферромагнитных материалов [23]. Под магнитоэлектрикой понимается изменение формы и размеров тела при намагничивании. Магнитоэлектрика есть непосредственный результат проявления основных типов взаимодействия в ферромагнитных телах: обменного взаимодействия и магнитного взаимодействия. В соответствии с этим возможны два вида различных по природе магнитоэлектрических деформаций кристаллической решетки: за счет изменения магнитных сил и за счет изменения обменных сил, возникающих при обменном взаимодействии между магнитными слоями электронной оболочки атомов, молекул и кристаллов. При намагничивании ферромагнетиков магнитные силы проявляются при процессах смещения границ между областями самопроизвольной намагниченности (доменных границ) и вращения магнитных моментов доменов. При этом смещаются атомы, происходит деформация решетки – магнитоэлектрика, которая носит анизотропный характер и проявляется в основ-

ном в изменении формы кристалла почти без изменения его объема (линейная магнитострикция). Если при намагничивании происходит изменение объема кристалла, то такое явление относится к объемной магнитострикции. В ферромагнетиках линейная магнитострикция (относительное удлинение) составляет $\Delta l/l \sim 10^{-5}$, объемная – составляет $\Delta v/v \sim 10^{-7}$ [21].

В непосредственной связи с магнитострикцией находится термодинамически обратное ей явление – изменение намагниченности ферромагнитного тела при деформации (магнитоупругий эффект). Магнитоупругие явления в области смещения и вращения обязаны своим происхождением магнитным силам взаимодействия атомов в решетке и, так же как и в магнитострикции в кристалле, анизотропны. В этой области полей действующие на ферромагнетик упругие напряжения приводят к изменению ориентаций областей самопроизвольной намагниченности в решетке. Магнитоупругие эффекты связаны с влиянием изменения межатомных расстояний, вызываемых упругими напряжениями на обменное взаимодействие электронов. Изменение обменного взаимодействия вследствие деформации решетки приводит к изменению самопроизвольной намагниченности. Этот магнитоупругий эффект, так же как и объемная магнитострикция, представляет теоретический интерес, так как из него можно получить сведения о характере зависимости обменного взаимодействия от межатомных расстояний.

Как и в пьезоэлектрическом микроприводе, основной формой нелинейности в магнитострикционном микроприводе является гистерезис, который является непосредственным следствием явления магнитного гистерезиса. Магнитострикционный гистерезис проявляется в отставании магнитострикционного изменения размеров ферромагнетиков от изменения величины внешнего магнитного поля. Само явление магнитострикции ферромагнетиков связано с наличием у них самопроизвольной намагниченности. Каждый домен ферромагнетика оказывается сжатым или растянутым вдоль направления намагниченности в нем в зависимости от знака самопроизвольной магнитострикции. При намагничивании и перемагничивании ферромагнетика в нем происходит изменение объемов доменов с различными ориентациями намагниченности, а также вращение векторов в них. Все эти процессы приводят к изменению линейных размеров образца, то есть к наблюдаемой магнитострикции. Поскольку процессы намагничивания необратимы, то при размагничивании образца или при его циклическом перемагничивании одному и тому же значению внешнего поля при различных направлениях его изменения (уменьшение или увеличение) будут соответствовать различные структуры доменов с различной результирующей намагниченностью, а следовательно, и с различными линейными размерами образца.

С магнитострикционными эффектами связаны аномалии теплового расширения ферромагнитных тел, которые особенно велики вблизи точки Кюри. Эти аномалии объясняются тем, что магнитострикционные деформации, вызываемые обменными (а в общем случае и магнитными) силами в решетке, проявляются не только при помещении указанных тел в магнитное поле, но также при нагревании их (в отсутствии поля). Изменение объема тел вследствие магнитострикции при нагревании достигает большой величины вблизи точки Кюри. Наложение этих изменений объема на обычное тепловое расширение, обусловленное тепловыми колебаниями атомов в решетке, иногда приводит к весьма резким изменениям величины и характера зависимости коэффициента теплового расширения от температуры.

С магнитострикцией связаны также различные упругие аномалии в ферромагнетиках. Резкие аномалии модулей упругости и внутреннего трения, наблюдаемые в указанных веществах в районе точки Кюри, обязаны влиянию магнитострикции, возникающей при нагреве.

В магнитострикционном микроприводе используется способность ферромагнитных материалов преобразовывать электрическую энергию в механическую. Магнитострикционный механизм в микроприводах используется, когда необходимо получить большие усилия при относительно малом перемещении [13].

Электромагнитные микроприводы

Аналитическая модель электромагнитного микропривода основана на взаимодействии электромагнитного поля и движущихся заряженных частиц в ферромагнитных сердечниках.

Сила, действующая со стороны электромагнитного поля на движущуюся заряженную частицу, называется силой Лоренца.

$$\mathbf{BF} = e\mathbf{E} + e/c [\mathbf{vB}], \quad (1)$$

где e – заряд частицы, E – напряженность электрического поля, B – магнитная индукция, v – скорость заряженной частицы относительно системы координат, в которой вычисляются величины F , E и B ; c – скорость света в вакууме.

Первый член в правой части уравнения (1) является силой, действующей на заряженную частицу в электрическом поле. Сила, испытываемая частицей в магнитном поле, выражается вторым членом. Эта часть силы Лоренца перпендикулярна направлению движения заряженной частицы v и направлению магнитной индукции B . Величина этой силы максимальна, если направление движения составляет с направлением поля прямой угол, и равна нулю, если частица движется по полю. Движение частицы с массой m и зарядом e в однородном и постоянном магнитном поле в вакууме ($\mu = 1$, $B = H$) описывается уравнением

$$m \, dv/dt = e/c [\mathbf{vH}]. \quad (2)$$

В прямоугольной системе координат с осью z , направленной вдоль магнитного поля H , скорость частицы v будет иметь две составляющие: v – параллельную в направлении оси z , т.е. в направлении H , и v – перпендикулярную и лежащую в плоскости (x, y). Решение уравнения (2) показывает, что в результате воздействия магнитного поля частица совершает движение с постоянной скоростью v по винтовой линии; при этом движение ее складывается из поступательного движения вдоль оси z с параллельной скоростью v и вращательного движения в плоскости (x, y). Иными словами, при помещении тела в магнитное поле магнитные моменты атомов ориентируются вдоль направления поля H , что ведет к изменению направления их собственных механических моментов; но так как полный механический момент количества движения остается неизменным, то тело в целом должно получить момент количества движения обратного направления, то есть прийти во вращение.

Эта теория из-за генерирования больших усилий широко используется в традиционных макроскопических приводах. Вращение можно наблюдать при намагничивании стержня, вертикально подвешенного на упругой нити в соленоиде (рис.8) [25]. При пропускании электрического тока стержень намагничивается и поворачивается, что может быть отмечено по закручиванию нити. Величина этого закручивания ничтожно мала; однако она может быть увеличена, если через соленоид пропускать переменный ток, частота которого совпадает с частотой собственных колебаний нити.

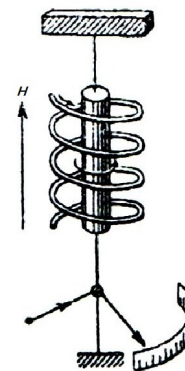


Рис. 8. Намагничивание стержня, вертикально подвешенного на упругой нити в соленоиде

Также если стержень подвергнуть быстрому вращению вокруг его оси, то даже при отсутствии какого-либо внешнего поля возникает намагничивание в направлении оси вращения, так как изменение механического момента атомов приводит к возрастанию слагающей магнитных моментов в направлении оси вращения стержня.

Этот принцип традиционного изготовления приводов с проволочной спиралью, помещенной в магнитное поле, используется для конструирования электромагнитных микроприводов. Однако проектирование и изготовление микроприводов с большими усилиями, с достаточным числом колец и достаточной массой магнитного материала является трудной зада-

чей. Для ее решения привлекаются гибридные и тонкопленочные методы.

Для изготовления колец и магнитов применяются магнитные пленки с использованием микроэлектромеханических систем. Гибридное проектирование электромагнитного микропривода рассмотрено в работе [26]. Движение осуществляется путем использования двух приводов. Два магнита внутри привода при перемещении центрируются вдоль оси спирали, но стрелкой в противоположном направлении. Так, когда ток течет по спирали, один магнит притягивается к спирали, а другой – отталкивается от нее, совершая движение взад-вперед в том же направлении. В результате сил совершается отклонение взад-вперед, которое зависит от упругого сопротивления позиционирующего устройства. Изменение направления тока на обратное генерирует силу и перемещение в обратном направлении. Возникающие магнитные силы представляют нелинейную функцию расстояния между магнитом и катушкой. Однако используя два магнита в конфигурации толчок – растяжение, магнитные силы выстраиваются таким образом, что для малых перемещений они примерно постоянны при различных перемещениях взад-вперед, при этом результаты перемещения привода являются линейной функцией используемого тока. Электромагнитный микропривод, описанный в работе [26], имеет характеристики движения по осям $x, y \pm 60$ мкм со средней энергией расхода на ось от 10 до 20 мВ.

Конструкция гибридного микропривода с использованием сплавов с памятью формы показана на рис. 9, взятого из работы [27]. Конструкция состоит из направляющего стержня (1), экрана, поглощающего колебания (2), стопорного винта (3), винтовой пружины из материала с памятью формы (4), обычной винтовой пружины (5). Микропривод служит в качестве механизма передвижения колесного микробота.

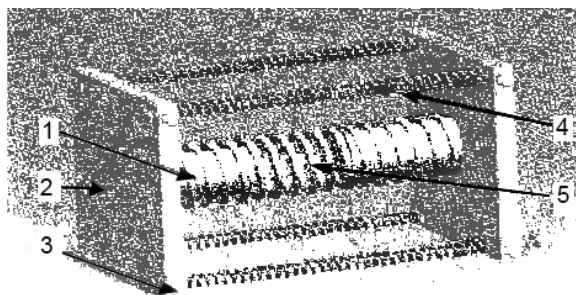


Рис. 9. Пружинный микропривод из сплавов с памятью формы

Электромагнитные микроприводы, основанные на магнитомеханических явлениях, в которых обнаруживается связь между механическими и магнитными моментами в телах, используются в микро- и наноперемещениях благодаря их широкому диапазону передвижения, низкому входному напряжению и высокому быстродействию. Достоинством электромагнитных микроприводов является их способность работать в жидких средах, что делает их перспективными для применения в медицине. В настоящее время электромагнитными микроприводами оснащаются микроботы, применяемые в хирургии и для диагностики в медицине [28 - 31].

Электростатические микроприводы

Аналитическая модель электростатического микропривода основана на законе Кулона, который выражает зависимость силы взаимодействия двух электрических зарядов от расстояния между ними. Конструктивно электростатический микропривод состоит из подвижных и неподвижных проводниковых пластин, в которых подвижная часть перемещается силами электростатического взаимодействия. Пластины разделены слоем диэлектрика. Перемещение подвижной пластины связано с изменением емкости, которая может регулироваться: а) изменением величины зазора между пластинами; б) изменением площади взаимного перекрытия пластин; в) перемещением диэлектрика между пластинами; г) деформацией сжатия или растяжения диэлектрика; д) нагревом диэлектрика; е) изменением состава диэлектрика.

Электростатическая сила притяжения между двумя пластинами определяется следующим уравнением:

$$F = \frac{C}{2d} V^2,$$

где C обозначает емкость, d – расстояние между двумя пластинами, V – рабочее напряжение.

Отметим, что сила притяжения значительно убывает с увеличением расстояния d , поэтому сила, генерируемая электростатическим приводом, наиболее эффективна в малом диапазоне расстояния. На рис. 10 показаны конфигурации привода с перпендикулярным (а) или параллельным (б) движением пластин относительно фиксированной платы. Для сравнения приводится простая конфигурация (с) привода, где емкость C сохраняет энергию, которая является функцией площади A пластины, диэлектрической проницаемости материала ϵ_0 и расстояния между пластинами d [32].

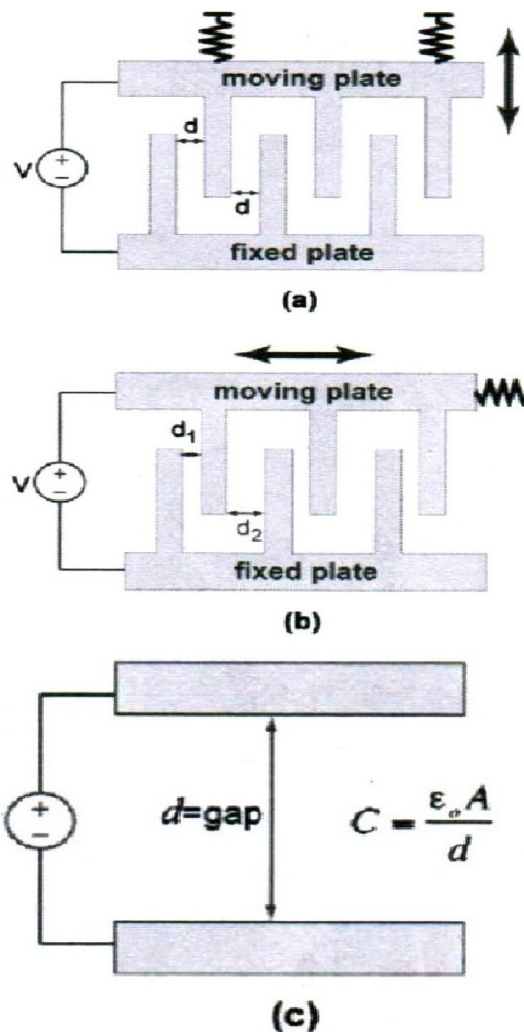


Рис. 10. Схематическая диаграмма электростатического микропривода, показывающая механизм:

(а) – с перпендикулярным движением относительно фиксированной пластины, (б) – с параллельным движением, (с) – с параллельной емкостной пластиной, показывающей изменение емкости как функции площади пластин и зазора между ними

В робототехнике преимущественно используются электростатические микроприводы гребешкового типа, основанные на микроэлектромеханических системах [33 - 38]. Микропривод состоит из гребешковых структур, одни из которых фиксированы, другие – подвижные, движение в которых осуществляется за счет электростатических сил. Для приводов с параллельным движением пластин электростатические силы в x направлении определяются следующим уравнением [13]:

$$F_x = \frac{n \cdot \epsilon \cdot t}{d} V^2, \quad (1)$$

где n - число гребешковых пар, t - толщина пластины, d - пространственный зазор, ε - диэлектрическая постоянная и V - напряжение. Таким образом, выходное усилие микропривода регулируется изменением напряжения, числа гребешковых пар, толщины пластин и величиной пространственного ззора.

По сравнению с другими микроприводами, электростатические микроприводы обеспечивают максимальное наноперемещение, высокое разрешение позиционирования ($<1,5$ нм) и быстрый отклик (порядка микросекунд). Кроме того, они превращают движение микрометрового диапазона в нанометровое шаговое перемещение с высокой воспроизводимостью выходных усилий [34].

При аналитическом моделировании и анализе электростатических микроприводов возникает необходимость расчета электростатических сил с различного типа нелинейностями. В работе [39, 40] представлен расчет электростатических сил между элементами конструкции на основе микроэлектромеханических систем по модели плоского конденсатора с учетом краевых эффектов. Краевые эффекты, которые влияют на пружинные силы, электростатические силы, тепловые характеристики, остаточное давление, измерительные характеристики и т.п., описываются в работе [41]. Например, при таких ограничениях инструмент проектирования для моделирования механической пружины основывается на линейной модели, теории малого отклонения и анализе вращения звеньев, которые могут привести к значительным ошибкам в проектировании [38, 42]. Вращение вне плоскости может вызвать смещение осей гребешковых пальцев, что приведет к неустойчивому натяжению пружинной системы. В податливых механизмах некорректное проектирование подвесной системы с уменьшенной жесткостью может привести к неустановившемуся движению и вращению конечного звена манипулятора [43].

Из-за больших сложностей в аналитических моделях при проектировании электростатических микроприводов не рассматриваются такие нелинейности, как краевые эффекты поля, деформация движущихся плат, паразитная емкость, обусловленная топологией, и др., которые могут вызывать электростатические силы большой величины [44].

Однако благодаря легкому изготовлению и малому объему электростатических микроприводов находят широкое применение в микроробототехнике. При наличии большого смещения гибкие механизмы преобразуют линейное движение гребешковых приводов во вращательное движение механической руки микроробота, выполняющей позиционирование [35]. Комбинация линейного и вертикального гребешкового приводов с линейными и торсионными пружинами с предельным движением (~ 1 мкм) исследована в работе [36]. Гребешковый микропривод, встроенный в руку манипулятора, с системой управления с емкостной обратной связью, предназначенный для манипулирования частиц размером ~ 100 мкм, приводится в работе [37]. Дифференциальный пружинный микропривод из материалов с памятью формы рассматривается в работе [45]. В микроприводе используется механизм адгезии, работающий по принципу биологической присоски. Микропривод разработан для микророботов вертикального перемещения.

Недостатком электростатических микроприводов является то, что они не находят использование в электронных сканирующих микроскопах, поскольку их электрическое поле высокого напряжения может взаимодействовать с электронным пучком микроскопа.

Электротермические микроприводы

При проектировании микроприводов основными требованиями являются высокая точность позиционирования, большой диапазон перемещения, высокая разрешающая способность и низкие рабочие температуры. Этим требованиям в основном удовлетворяют электротермические микроприводы, поскольку они отличаются компактностью, большим усилием, широким перемещением и низким возбуждающим напряжением [4, 46 - 48].

Электротермические микроприводы связаны с процессом передачи теплоты. Механизм передачи теплоты осуществляется следующими способами: теплопроводностью, конвекцией и радиацией (или излучением). Передачу энергии теплопроводностью можно проследить на примере металлического прутка. Если нагреть один конец прутка, то теплота, в конечном счете, распространится и на другой его конец. Поскольку

один конец прутка становится горячим, атомы металла на этой части прутка увеличивают свою кинетическую энергию. Поскольку пруток остается твердым, среднее расположение каждого атома остается фиксированным, но каждый из атомов может вибрировать относительно этого положения. По мере того как энергия атомов нарастает, колебания становятся все более быстрыми, а движения распространяются все дальше от среднего равновесного положения. Атомы, находящиеся в самой горячей части прутка, вибрируют наиболее энергично, они толкают соседние атомы и эти атомы в результате непосредственных соударений тоже начинают более энергично вибрировать. Таким образом, кинетическая энергия как бы «проталкивает» себя от атома к атому и постепенно от одного конца прутка к другому. Это перемещение теплоты в толщу твердого тела называется теплопроводностью («кондукцией» - от латинских слов, означающих «вести вместе»). Тот факт, что атомы и молекулы твердых тел по мере повышения температуры вибрируют со все большей амплитудой, означает, что каждый атом или молекула начинают занимать больше места. Тогда становится понятным, почему объем твердого тела увеличивается с повышением температуры и уменьшается с ее понижением, несмотря на то что молекулы остаются в фиксированном положении и твердо связаны между собой.

Перенос и передача теплоты, массы или электрических зарядов движущейся средой называется конвекцией (от латинских слов, означающих «нести вместе»). Оба понятия - и теплопроводность, и конвекцию - можно объяснить в терминах механики. В обоих случаях имеется фактическое воздействие более энергичных атомов или молекул на менее энергичные атомы и молекулы, и поэтому энергия передается прямым контактом. Однако теплота может быть передана и без какого-либо контакта. Если заключить в вакуум некий горячий объект, то он будет передавать свою теплоту через него, несмотря на то что вокруг него нет ничего, что могло бы эту теплоту перенести посредством теплопроводности или конвекции. Такая теплота кажется проистекающей из горячего объекта во всех направлениях, подобно обычным лучам света. По-латыни слово «луч» звучит как «радиус», поэтому явление переноса теплоты через вакуум было названо «радиацией».

Обычно решение для температурного распределения получают, принимая во внимание баланс между теплотой Джоуля и тремя указанными типами теплового переноса: теплопроводностью, конвекцией и радиацией. Например, на рис. 11 показано распределение тепла конечного звена манипулятора и подложки [49].

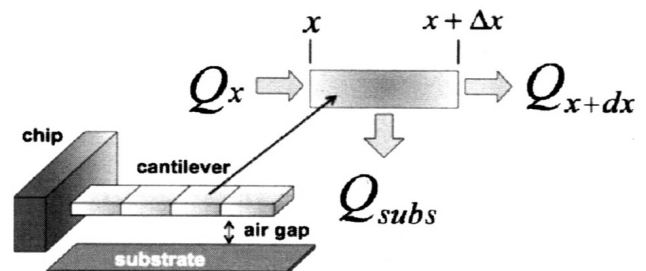


Рис. 11. Схематическая диаграмма, показывающая распределение тепла

Теплота, связанная с переносом тепла Джоуля, определяется согласно [50] следующим уравнением:

$$Q_x + Q_{\text{Joule}} = Q_{x+dx} + Q_{\text{subs}} \quad (1)$$

На практике два члена уравнения Q_x и Q_{x+dx} на границах управляемого объема пропорциональны пространственному температурному градиенту (dT / dx). Теплота Q_{Joule} , порождаемая эффектом Джоуля, зависит от удельного сопротивления элементов и плотности тока. Теплота Q_{subs} , передаваемая конвекцией к подложке, влияет на форму элементов и температурное сопротивление между манипулятором и подложкой [51].

Уравнение (1), представляющее дифференциальное уравнение второго порядка и температурное распределение, решается с помощью температурных граничных условий [50]. Температурное распределение рассматривается как одна из определяющих величин, в которых температура и тепловой поток изменяются вдоль длины и являются однородными вдоль других направлений. Зная температурное распределе-

ние через уравнение (1), можно рассчитать линейное температурное расширение конечного звена манипулятора в зависимости от среднего изменения температуры. Далее, для расчета усилий, моментов и отклонений микроприводов используются различные методы [50, 52].

Отметим, что в большинстве моделей передача тепла конвекцией и радиацией при проектировании микроприводов в основном не учитывается по следующим причинам. Для наноперемещений микроприводы проектируются малой мощности и обладающие низкой температурой. С изменением воздушного зазора между микроприводом и объектом меняется механизм передачи тепла между нижней поверхностью микропривода и подложкой и перенос тепла конвекцией учитывается лишь при большом воздушном зазоре (~ 450 мкм) [53], в то время как проводимость доминирует при малом воздушном зазоре (~ 2 мкм). Поскольку электропроводность осуществляется через якорь микропривода, то посредством него аналитически моделируются граничные температурные условия [49].

Приводной механизм электротермического микропривода основан на теплопроводности или на биморфном эффекте [54]. Биморфная структура микропривода состоит из двух и более материалов. Микроструктуры с однослойным материалом вырабатывают движения, обусловленные разницей теплового расширения горячего и холодного прутков. На практике наиболее распространены микроприводы U-образного профиля (U-типа) и микроприводы клиновидной структуры (V-типа). Конфигурация приводов U-типа и V-типа показана на рис. 12, который взят из работ [55, 56, 57, 58].

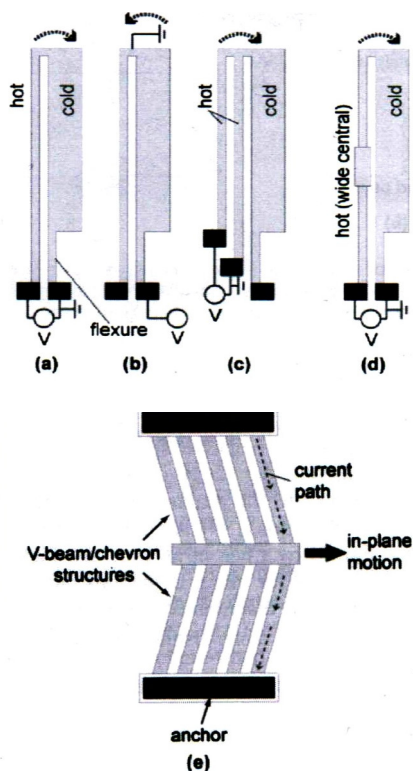


Рис. 12. Конфигурация электротермических микроприводов U-типа и V-типа

Электротермические микроприводы, основанные на технологии MEMS, имеют широкое применение в наноперемещениях не только потому, что генерируют большие перемещения и усилия, но и также из-за простого технологического процесса изготовления, основанного на полупроводниковой технологии. Для улучшения характеристик электротермических микроприводов используют гибридные структуры из металла, кремния и полимеров.

Уравнение теплопроводности, которое определяет геометрические параметры и свойства микропривода, рассчитываются через уравнение теплопроводности

$$k(T)A \frac{d^2 T}{dx^2} - h(T) \cdot P(T - T_\infty) + I_1^2 \frac{dR_1(T)}{dx} = 0$$

Здесь: k - коэффициент теплового расширения; A - общая площадь поверхности, $A = A_1 + A_2 + A_3$ (поверхности алюминия, кремния и полимера SU-8, соответственно); T - температура; h - коэффициент теплового расширения воздуха; P - эквивалентный периметр, который определяется уравнением $P = (P_0 L_0 + A_0) / L$; I_1 - электрический ток, проходящий через алюминиевую пленку, который определяется уравнением $I_1 = A_1 V / (p_0 L)$, где V - электрический потенциал на сегменте. С учетом того, что первоначальная температура приравнивается к комнатной, т.е. $T_0 = T_\infty$, уравнение теплопроводности приобретает следующий простой вид:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - m^2 (T - T_0) + n^2 = 0,$$

где: $m^2 = h(T)P/K(T)A$, $n^2 = 1/kp_1(T) (A_1 / A)(V/L)^2$.

Предполагается, что температура на двух концах микропривода $x = 0$ и $x = L$ одинакова и равна T_0 . Но коэффициенты m^2 и n^2 остаются зависимыми от температуры, поэтому уравнение является нелинейным и линейризуется численным методом с использованием граничных условий.

Схематическое изображение полимерного электротермического микропривода показано на рис. 13а [48]. Конструкция выполнена из трех материалов, включающих алюминий, кремний и полимер. Теплота, выделяемая алюминием, движется к верхней части кремниевой структуры. Кремниевая часть образует рамку, действующую как проводник температуры. Между кремниевыми пластинами встроены полимерный материал типа SU8. Когда электрический ток прикладывается к устройству, выделяемая теплота переносится в полимерный слой через кремниевые канавки, которые имеют большое контактное сопряжение с полимерным слоем (рис. 13б).

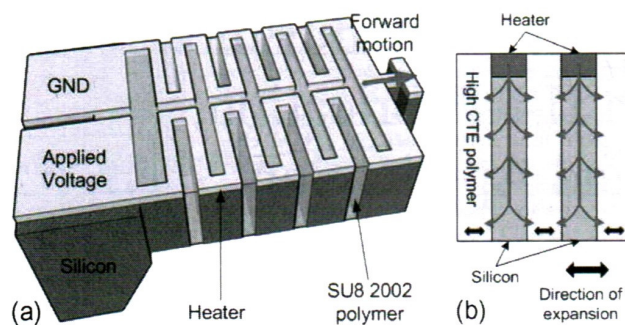


Рис. 13. Схематическое изображение электротермического микропривода

Полимерный слой расширяется вдоль бокового направления и вызывает перемещение микропривода. Такой электротермический микропривод работает при низком возбуждаемом напряжении, малом потреблении мощности и низкой температуре.

Электроактивный полимерный материал используется в пьезоэлектрическом микроприводе, известном как искусственная мышца [59]. Размер микропривода составляет 12 мм * 2 мм * 0,17 мм. Микропривод отличается высокой точностью преобразования механической энергии в движение и большим угловым перемещением. В работах [60, 61] предлагается комбинация температурного и пьезоэлектрического эффектов для создания нового гибридного термопьезоэлектрического привода. Целью его является объединение высокоразрешающих и высокоскоростных характеристик пьезоэлектрического эффекта и широкого диапазона деформации термического привода. Чтобы понять поведение привода, предлагается динамическая модель. Исследуемая модель используется для анализа поведения микропривода и совершенствования характеристик управления.

На основе полимерного электротермического микропривода авторами работы [48] разработан электромеханический микросхват, конструкция которого состоит из двух механических рук и четырех микроприводов, управляющих движением вдоль x - и y -осей (рис. 14). Размеры микросхвата вдоль x - и y -осей составляют W_{x1} , W_{x2} , W_{y1} , W_{y2} . Через W_{up} определяется зазор между двумя наконечниками зажимных приспособлений. На микросхват подается возбуждающее напряжение V_{x1} , V_{x2} , V_{y1} , V_{y2} . Путем комбинации возбуждающего напряжения

микрохват выполняет прямолинейные и вращательные движения. Помимо стандартных операций захвата объектов микрохват совершает операции манипулирования вращающихся объектов. Обладая большим перемещением при небольшом возбуждающем напряжении и низкой рабочей температуре, он имеет технологические преимущества перед другими микрохватами при использовании в микроманипулировании, транспортировании и микробиорке. Процесс изготовления микрохвата основан на традиционной микромашинной и полупроводниковой технологии и полимерном литье.

Таким образом, полимерные электротермические микроприводы обладают большим будущим, поскольку они способны производить большие перемещения при небольшом возбуждающем напряжении и низком температурном режиме. Кроме того, отличительным преимуществом этих микроприводов является их способность работать в жидких средах, их биосовместимость с микророботами, которые способствуют потенциальному использованию их в широком диапазоне применений.

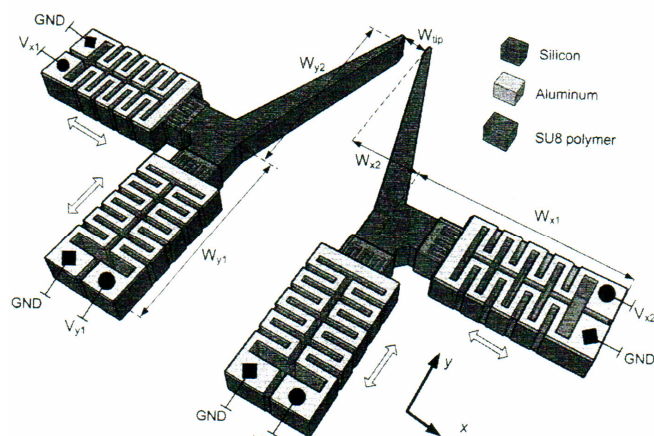


Рис. 14. Электромеханический микрохват с четырьмя полимерными электротермическими микроприводами

Материалы

Проектирование характеристик микроприводов зависит от использования различных материалов, их комбинаций и уникальных свойств новых наноструктурных материалов. Свойства материалов, такие как электрическая проводимость, температурная проводимость, модуль Юнга, коэффициент теплопроводности, удельная теплота, сопротивление, коэффициент тепловой конвекции и др. быстро меняются с температурой (20 – 130%), влияя на перемещение, температуру и электрический ток микропривода [53]. В микроприводах применяют материалы, которые изменяют свою геометрию (размеры и форму), реагируют на применение возбуждения (магнитное поле, электрическое поле, электрический ток, изменение температуры и т.д.). Наиболее известным материалом является пьезоэлектрический материал из семейства циркониевого титаната (PZT). Пьезоэлектрические материалы позволяют иметь очень высокое разрешение, большие усилия и малое время отклика, поэтому они широко используются в пьезоэлектрических схватах, микроприводах и сканирующих атомных силовых микроскопах [48, 61].

В работах [62, 63] приведены рекомендации по выбору материалов для электротермического и электростатического приводов. Например, такие материалы, как алмазы, алюминий, кремний, карбид кремния, нитрид кремния рекомендуются для выбора высокоскоростного, силового движения; полимеры – для большого перемещения (или сдвига) и для низкого входного напряжения; алюминий – для низкого удельного сопротивления, для слабых сил и для высокоскоростного движения. Для многих упомянутых материалов допускается инвертирование преобразования силы (например магнитоstriction – магнитоупругий эффект).

Большинство электротермических микроприводов выполнены из металла или кремния, поскольку металл и кремний имеют относительно низкий коэффициент теплового расши-

рения, но высокую тепловую проводимость. Однако они не эффективны при электромеханическом преобразовании из-за малой величины смещения. Как известно, полимеры обладают высоким коэффициентом теплового расширения, но являются электрическими и термическими изоляторами. Поэтому для улучшения характеристик микроприводов используют смешанные структуры из металла, кремния и полимеров.

Таким образом, при проектировании должны учитываться различные свойства материалов, включая модули упругости, электрическое сопротивление, прочность, плотность, проводимость, тепловое расширение и т.д. Характеристики материалов на наномасштабе зависят от объемных свойств. В работе [4] отмечается, что банк данных свойств материалов на наномасштабе измерений еще не создан. Поэтому требуются исследования по выделению моделей температурно-зависимых материалов для прогнозирования точных рабочих характеристик микроприводов. Будущие исследования микроприводов связывают с созданием новых стандартов измерения и методов совместимости материалов и восстановления данных.

Заключение

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что в процессе проектирования микроприводов в виде очень маленьких технических устройств, предназначенных для нанотранспортирования и наноманипулирования компонентами и материалами в нанотехнологиях, используются наиболее благоприятные преимущества каждого типа микроприводов.

Базой для создания микроприводов служат уже разработанные технологии, например, традиционная полупроводниковая технология, учитывающая специфику наноструктурных компонентов, а также новые современные технологии, такие как микроэлектромеханические системы (MEMS) и технологии с использованием механических свойств материалов. На основе анализа литературы разработаны требования к моделированию и рабочим характеристикам микроприводов. Делается акцент на описание аналитических моделей, которые помогают понять протекающие в микроприводах физические процессы, которые определяют критические параметры, влияющие на характеристики микроприводов, и обеспечивают изготовление микроприводов.

Рассматриваются пьезоэлектрические, магнитоstrictionные, электростатические, электромагнитные, электротермические, а также гибридные полимерные микроприводы, построенные на теории механической деформации и разных физических моделях. Приводятся их технические и сравнительные характеристики, описывается принцип действия и особенности применения для микро- и наноперемещений. Для совершенствования микроприводов интенсивно ведутся теоретические исследования и разрабатываются методы их создания. Будущие направления идентифицируются с предельными возможностями оборудования. На приведенных примерах прослеживаются тенденции, характерные для развития микроприводов в микро- и наномире при наноманипулировании и нанотранспортировании.

Литература

1. Sardan O., Eichorn V., Petersen N. D., Fatikow S., Sigmund O., Boggild P. Rapid Prototyping of Nanotube-Based Devices Using Topology-Optimized Microgrippers // *Nanotechnology*. – 2008. – Vol. 19. – No. 49. – P. 495 – 503.
2. Chronis N., Lee L. P. Electrothermally Activated SU-8 Microgripper for Single Cell Manipulation in Solution // *Journal of Microelectromechanical Systems*. – 2005. – Vol. 14. – No. 4. – P. 857 – 863.
3. Kim k., Liu X., Zhang Y., Syn Y. Nanonewton Force-Controlled Manipulation of Biological Cells Using a Monolithic MEMS Microgripper with Two-Axis Force Feedback // *J. Micro-mech. Microeng.* – 2008. – Vol. 18. – No. 5. – P. 55 – 63.
4. Sahu B., Taylor C. R., Leang K. K. Emerging Challenges of Microactuators for Nanoscale Positioning, Assembly, and Manipulation // *ASME J. Manuf. Sci. and Eng.* – 2010. – Vol. 132. – P. 030917/1 – 030917/16.
5. Abbott J. J., Nagy Z., Beyeler F., Nelson B. J. Robotics in the Small. Pt.1: Microrobotics // *IEEE Robotics & Automation Magazine*. – 2007. Vol. 14. – No. 2. – P. 92 – 103.

6. Zhang B., Zhu Z. Developing a linear piezomotor with nanometer resolution and high stiffness // *IEEE/ASME Trans. Mechatron.* – 1997. – Vol. 2. – No. 1. – P. 22 – 29.
7. Корпухин А. С., Жуков А. А., Гринькин Е. А. Микро-системный биморфный привод устройств космической микробототехники // Сб. тезисов 19 Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Экстремальная робототехника», Санкт-Петербург, 8 – 9 апр. 2008. – СПб, 2008. – С.126 – 127.
8. Andersen K. N., Petersen D. H., Karlson K., Molhave K., Sardan O., Horsewell A., Eichorn V., Fatikow S., Boggild P. Multimodal Electrothermal Silicon Microgrippers for Nanotube Manipulation // *IEEE Trans. Nanotechnology.* – 2009. – Vol. 8. – No. 1. – P. 76 – 85.
9. Zou Q., Leang K. K., Sadoun E., Reed M. J., Devasia S. Control Issues in high-speed AFM for biological application: Collagen imaging example // *Asian J. Control: Special Issue Adv. Nano-Technol. Control.* – 2004. – Vol. 6. – No. 2. – P. 164– 178.
10. Molhave K., Wich T., Kortschack A., Boggild P. Pick-and-Place Nanomanipulation Using Microfabricated Grippers // *Nanotechnology.* – 2006. – Vol. 8. – No. 1. – P. 2434 – 2441.
11. Chen S.-C., Culpepper M., L. // Design of a Six-Axis Micro-Scale Nanopositioner-[mu] HexFlex. *Precis. Eng.* – 2006. – Vol. 30. – No. 3. – P. 314 – 324.
12. Mason W. P. Piezoelectricity, its history and applications // *J. Acoust. Soc. Amer.* – 1981. – Vol. 70. – No. 6. – P. 1561 – 1566.
13. Santosh D., Evangelos E., Moheimani S. O. R. A Survey of Control Issues in Nanopositioning // *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.* – 2007. – Vol. 15. – No. 5. – P. 802 – 823.
14. Binnig G., Smith D. P. E. Single-tube three-dimensional scanner for scanning tunneling microscopy // *Rev. Sci. Instrum.* – 1986. – Vol. 57. – No. 8. – P. 1688 – 1689.
15. Gao W., Hocken R. G., Patten J. A., Lovingood J., Lucca D. A. Construction and testing of a nanomachining instrument // *Prec. Eng.* – 2000. – Vol. 24. – No. 4. – P.320– 328.
16. Shim J., Gweon D. Piezo-driven metrological multiaxis nanopositioner // *Rev. Sci. Instrum.* – 2001. – Vol. 72. – No. 11. – P. 4183 – 4187.
17. Salapaka S., Sebastian A. Control of the nanopositioning devices // *Proc. IEEE Conf. Dec. Control.* – 2003. – P. 3644 – 3649.
18. Chen C. J. Electromechanical deflection of piezoelectric tubes with quartered electrodes // *Appl. Phys. Lett.* – 1992. – Vol. 60. – No. 1. – P. 132 – 138.
19. Jung H., Shim J. Y., Gweon D. New open-loop actuating method of piezoelectric actuators for removing hysteresis and creep // *Rev. Sci. Instrum.* – 2000. – Vol. 71. – No. 9. – P. 3436 – 3440.
20. Croft D., Shed G., Devasia S. Creep, Hysteresis, and vibration compensation for piezoactuators: Atomic force microscopy application // *ASME J. Dyn. Syst. Control.* – 2001. – Vol. 123. – No. 1. – P. 35 – 43.
21. Физический энциклопедический словарь. Т.1. – М.: Советская энциклопедия, 1960. – С. 468, 470.
22. Афонин С. М. Гармоническая линеаризация гистерезисных статических и динамических характеристик пьезодви-гателя наноперемещений // *Вестник машиностроения.* – 2010. – № 5. – С. 3 – 7.
23. Shimizu N., Kimura T., Nakamura T., Umebu I. An ultra-high vacuum scanning tunneling microscope with a new inchworm mechanism. – *J. Vacuum Sci. Technol. A.* – 1990. – Vol. 8. – No. 1. – P. 333 – 335.
24. Ueno T., Qiu J., Tani J. Magnetic force control with composite of giant magnetostrictive and piezoelectric materials // *IEEE Trans. Magn.* – 2003. – Vol. 39. – No. 6. – P. 3534 – 3540.
25. Физический энциклопедический словарь. Т.3. – М.: Советская энциклопедия, 1963. – С. 102, 108.
26. Despont M., Drechsler U., Haberle W., Lantz M. A., Rothuizen H. E. A vibration resistant nanopositioner for mobile parallel-probe storage applications // *J. Microelectromech. Syst.* – 2007. – Vol. 16. – No. 1. – P. 130 – 139.
27. Yu H., Ma P., He D. Motion mechanism and gait planning of a wheeled micro robot // *Journal of Southeast University (English Edition).* – 2006. – Vol. 22. – No. 2. – P. 191 – 195.
28. Gillies G. T., Ritter R. C., Broaddus W. C., Grady M. S., Howard III M. A., McNeil R. G. Magnetic manipulation instrumentation for medical physics research // *Rev. Sci. Instrum.* – 1994. – Vol. 65. – No. 3. – P. 533 – 562.
29. Yesin K. B., Vollmers K., Nelson B. J. Modeling and control of untethered biomicrobots in a fluidic environment using electromagnetic fields // *Int. J. Robot. Res.* – 2006. – Vol. 25. – No. 5-6. – P. 527 – 536.
30. Bergeles C., Shamaei K., Abbolt J. J., Nelson B. J. Single-camera focus-based localization of intraocular devices // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* – 2010. – Vol. 57. – No. 8. – P. 2064 – 2074.
31. Kummer M. P., Abbolt J. J., Kratochvil B. E., Borer R., Sengul a., Nelson B. J. OctoMag: An Electromagnetic System for 5-DOF Wireless Micromanipulation // *IEEE Transactions on Robotics.* – 2010. – Vol. 26. – No. 6. – P. 1006 – 1017.
32. Imamura T., Katayama M., Ikegawa Y., Ohwe T., Koishi R., Koshikawa T. MEMS-Based Integrated Head/Actuator/Slider for Hard Disk Drives // *IEEE /ASME Trans. Mechatron.* – 1998. – Vol. 3. – No. 3. – P. 166 – 174.
33. Carley L. R., Bain J. A., Fedder G. K., Greve D. W., Guil-lou D. F., Lu M. S. C., Mukherjee T., Santhanam S., Abelman L., Min S. Single-chip computers with microelectromechanical systems-based magnetic memory // *J. Appl. Phys.* – 2000. – Vol. 87. – No. 9. – P. 6680 – 6685.
34. Liu X., Tong J., Sun Y. A Millimeter-Sized Nanomanipulator With Sub-Nanometer Positioning Resolution and Large Force Output // *Smart Mater. Struct.* – 2007. – Vol. 16. – No. 5. – P. 1742 – 1750.
35. Volland B. E., Heerlein H., Rangelow I. W. Electrostatically Driven Microgripper // *Microelectron. Eng.* – 2002. – Vol. 61-62. – P. 1015 – 1023.
36. Chang H.-C., Tsai J. M.-L., Tsai H.-C., Fang W. Design, Fabrication, and Testing of a 3-DOF Harm Micromanipulator on (111) Silicon Substrate // *Sens. Actuators, A.* – 2006. – Vol. 125. – No. 2. – P. 438 – 445.
37. Beueler F., Neild A., Oberti S., Bell D. J., Sun Y. Monolithically Fabricated Microgripper With Integrated Force Sensor for Manipulating Microobjects and Biological Cells Aligned in an Ultrasonic Field // *J. Microelectromech. Syst.* – 2007. – Vol. 16. – No. 1. – P. 7 – 15.
38. Hung E. S., Senturia S. d. Extending the Travel Range of Analog-Tuned Electrostatic Actuators // *J. Microelectromech. Syst.* – 1999. – Vol. 8. – No. 4. – P. 497 – 505.
39. Драгунов В.П., Остертак Д.И. Электростатические взаимодействия в МЭМС с плоскопараллельными электродами. Часть 1. Расчет емкостей // *Нано- и микросистемная техника.* – 2010. – № 7. – С. 37 – 41.
40. Драгунов В.П., Остертак Д.И. Электростатические взаимодействия в МЭМС с плоскопараллельными электродами. Часть 11. Расчет электростатических сил // *Нано- и микросистемная техника.* – 2010. – № 8. – С. 40 – 47.
41. Lee K/ B., Pisano A. P., Lin L. Nonlinear Behaviors of a Comb Drive Actuator Under Electrically Induced Tensile and Compressive Stresses // *J. Micromech. Microeng.* – 2007. – Vol. 17. – No. 3. – P. 557 – 566.
42. Legtenberg R., Groeneveld A. W., Elwenspoek M. Comb-Drive Actuators for Large Displacements // *J. Micromech. Microeng.* – 1996. – Vol. 6. – No. 3. – P. 320 – 329.
43. Dong J., Mukhopadhyay D., Ferreira P. M. Design, Fabrication and Testing of a Silicon-on-Insulator (SOI) MEMS Parallel-Kinematics XY Stage // *J. Micromech. Microeng.* – 2007. – Vol. 17. – No. 6. – P. 1154 – 1161.
44. Chan E. K., Dutton R. W. Electrostatic Micromechanical Actuator With Extended Range of Travel // *J. Microelectromech. Syst.* – 1999. – Vol. 9. – No. 3. – P. 321 – 328.
45. Hu B., Wu M., Fu Z., Zhao Y. A bio-inspired suction cup actuated by a differential shape memory alloy actuator // *Huazhong keji daxue xuebao. Ziran kexue ban = J. Huazhong Sci. and Technol. Natur. Sci.* – 2010. – Vol. 38. – No. 7. – P. 16 – 19.
46. Que L., Park J. S., Gianchandani Y. B. Bent-beam electro-thermalactuators – Paqrt I: Single beam and cascaded devices // *J. Microelectromech. Syst.* – 2001. – Vol. 10. – No. 2. – P. 247 – 254.
47. Lau G.-K., Goosen J.F.L., van Keulen F., Duc T.C., Sarro P.M. Polymer Thermal Microactuator With Embedded Silicon Skeleton: Pt I. Design and Analysis // *Journal of Microelectromechanical Systems.* – 2008. – Vol.17. – No. 4. – P. 809 – 822.

48. Duc T.C., Lau G.-K., Sarro P.M. Polymeric Thermal Microactuator with Embedded Silicon Skeleton: Pt II. Fabrication, Characterization, and Application for 2-DOF Microgripper // *Journal of Microelectromechanical Systems*. – 2008. – Vol. 17. – No. 4. – P. 823 – 831.
49. Hickey R., Kujath M., Hubbard T. Heat Transfer Analysis and Optimization of Two-Beam Microelectromechanical Thermal Actuator // *J. Vac. Sci. Technol. A*. – 2002. – Vol.20. – No. 3. – P. 971 – 974.
50. Huang Q., Lee N. K. S. Analysis and Design of Polysilicon Thermal Flexure Actuator // *J. Micromech. Microeng.* – 1999. – Vol. 9. – No. 1. – P. 64 – 70.
51. Lin L., Chiao M. Electrothermal Responses of Lineshape Microstructures // *Sens. Actuators, A* // – 1996. – Vol.55. – No. 1. – P. 35 – 41.
52. Kuang Y., Huang Q. A., Lee N. K. S. Numerical Simulation of Polysilicon Thermal Flexure Actuator // *Microsyst. Technol.* – 2002. – Vol. 8. – No. 1. – P. 17 – 21.
53. Mankame N. D., Ananthasuresh G. K. Comprehensive Thermal Modeling and Characterization of an Electro- Thermal-Compliant Microactuator // *J. Micromech. Microeng.* – 2001. – Vol. 11. – No. 5. – P. 452 – 462.
54. Yan. D., Khajepour A., Mansour R. Design and modeling of a MEMS bidirectional vertical thermal actuator // *J. Micromech. Microeng.* – 2004. – Vol. 14. – No. 7. – P. 841 – 850.
55. Moulton T., Ananthasuresh G. Micromechanical Devices With Embedded Electro-Thermal Compliant Actuation // *Sens. Actuators, A*. – 2001. – Vol. 90. – No. 1-2. – P. 38 – 48.
56. Carlson K., Andersen K. N., Eichhorn V., Petersen D. H., Molhave K., Bu I.Y.Y., Teo K.V.K., Milne W.I., Fatikow S., Bogdild P. A Carbon Nanofibre Scanning Probe Assembled Using an Electrothermal Microgripper // *Nanotechnology*. – 2007. – Vol. 18. – No. 34. – P. 345501.
57. Li L., Uttamchandani D. Modified Asymmetric Micro-Electrothermal Actuator: Analysis and Experimentation // *J. Micromech. Microeng.* – 2004. – Vol. 14. – No. 12. – P.1734 – 1741.
58. Zhu Y., Corigliano A., Espinosa N.D. A Thermal Actuator for Nanoscale In Situ Microscopy Testing: Design and Characterization // *J. Micromech. Microeng.* – 2006. – Vol. 16. – No. – 2. – P. 242 – 253.
59. Mutlu R., Alici G. A. Multistable Linear Actuation Mechanism Based on Artificial Muscles // *Trans. ASME. Journal of Mechanical Design*. – 2010. – Vol. 132. – No. 11. – P. 111001/1 – 111001/8.
60. Rakotondrabe M, Ivan I. A. Development and Dynamic Modeling of a New Hybrid Thermopiezoelectric Microactuator // *IEEE Transactions on Robotics*. – 2010. – Vol. 26. – No. 6. – P. 1077 – 1085.
61. Nguyen N.- T., Ho S.-S., Low C. L.-N. A polymeric microgripper with integrated thermal actuators // *J. Micromech. Microeng.* – 2004. – Vol. 14. – No. 7. – P.674 – 699.
62. Prasanna S., Spearing S. M. Material Selection and Design of Microelectrothermal Bimaterial Actuators // *J. Microelectromech. Syst.* – 2007. – Vol. 16. – No. 2. – P.248 – 259.
63. Srikar V. T., Spearing S. M. Material Selection for Micro-fabricated Electrostatic Actuators // *Sens Actuators, A*. – 2003 – Vol. 102. – No. 3 – P. 279 – 285.

Сведения об авторах

Резер Семен Моисеевич, д. т. н., профессор, зав. Отделом транспорта ВИНТИ РАН
125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20
Тел.: 499-152-56-11, 499-155-42-21
E-mail: tran@viniti.ru

Петрина Алла Макаровна, к. т. н., зав. Сектором в ОНИ по технологии машиностроения ВИНТИ РАН,
125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20
Тел. 499-155-43-46

ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ ПРИ ВКАТЫВАНИИ ГРЕБНЯ ОБЕЗГРУЖЕННОГО КОЛЕСА НА ГОЛОВКУ УПОРНОГО РЕЛЬСА

Доктор техн. наук, профессор **Туранов Х. Т.**,
аспирант **Якупов А. Р.**

(Уральский государственный университет путей сообщения - УрГУПС)

CALCULATION OF TRACK RAIL REACTIONS DURING ROLLING OF LOW-LOADED WHEEL CREST ONTO THE HEAD OF THRUST RAIL

Doctor of Science (Tech.), Professor **Turanov Kh. T.**,
Post-graduate student **Yakupov A. R.**
(Urals State University of Railways)

Колёсная пара, рельсовые нити, рамная сила, вертикальные силы, движение грузового вагона по кривой, динамические и математические модели колёсных пар, реакций рельсовых нитей, коэффициент устойчивости колеса при вкатывании гребня обезгруженного колеса на головку рельса

Wheel pair, track rails, frame force, vertical forces, movement of wagon on a curve, dynamic and mathematical models of wheel pairs, track rail reactions during rolling of the crest of low-loaded wheel onto the railhead

В статье приведены результаты вычислений реакции рельсовых нитей при вкатывании гребня на головку рельса на основе разработанных динамических и математических моделей. Результатами вычислительных экспериментов в системе MathCAD доказано, что использование условий равновесия сил геометрической статики в виде двух проекции сил на оси координат и одного момента сил относительно выбранного центра при наличии в аналитических выражениях трансцендентных функций типа синуса и косинуса, как это не парадоксально, не соответствует физическому смыслу решаемой инженерной задачи. Реакции рельсовых нитей следует найти на основе уравнения моментов сил относительно выбранных центров, где при любых исходных данных результаты решения задачи будут соответствовать физическому смыслу решаемой задачи. При любых исходных данных вычисление коэффициента устойчивости колеса против вкатывания на головку рельса следует выполнить на основе уравнений моментов сил относительно выбранных центров, поскольку всегда будет соблюдено неравенство препятствующих подъёму колеса сил, вызывающим этот подъём.

The article contains the results of calculations of track rail reactions during wagon rolling onto the rail head on the basis of the worked out dynamic and mathematical models. With the help of the results of numerical experiments in the system MathCAD it has been proved that the reaction of track rails should be derived only on the basis of moment of force equilibrium relative to the chosen centers when with any original data the results of problem solution will agree with the physical meaning of the task that is to be solved. No matter what the original data are the computation of coefficient of wheel stability against rolling onto the rail head should be performed on the basis of the moment of force equilibrium in relation to the chosen centers since in this case there will always be kept the inequality of forces preventing lifting of the wheel and forces causing this lifting.

Актуальность технической проблемы. В [1–3] с использованием классических положений теоретической механики из реальной схемы приложения сил на колёсную пару грузового вагона сформированы их динамические и построены математические модели с учётом того, что нагрузка на колёсную пару всецело зависит от технологии размещения груза (симметрично и/или несимметрично относительно оси симметрии вагона) [4, 5]. Кроме того, в [1–3] на основе анализа известных расчётных схем колёсных пар грузового вагона в случае опускания гребня нагруженного колеса на головку упорного рельса и результатов расчётов реакций рельсовых нитей [6], а также оценки устойчивости колеса при его опускании на головку упорного рельса, изложенных в [7–13], доказано некорректность построенных динамических и математических моделей, по причине которого результаты оценки устойчивости колеса на рельсе против вкатывания оказались неточными.

Общеизвестно, что формула для определения коэффициента устойчивости колесной пары против схода с рельса (по условию вкатывания) [10] имеет вид

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \frac{P}{P_6} \geq \left[K_{yc} \right], \quad (1)$$

где β – угол наклона образующей конусообразной поверхности гребня колеса с горизонталью (для новых колёс с профилем по ГОСТ 9036–88) $\beta = 60^\circ$ (по мере изнашивания гребня колеса [14] $\beta < 60^\circ$); μ – коэффициент трения поверхностей колёс и рельсов (принимают $\mu = 0,25$); P – вертикальная нагрузка от набегающего колеса на рельс; P_6 – боковая сила,

возникающая от взаимодействия гребня набегающего колеса и головки рельса; $[K_{yc}]$ – допускаемое значение коэффициента запаса устойчивости (для грузовых вагонов $[K_{yc}] = 1,4$).

Особо отметим, что формула (1), выведенная на основе рассуждений [11] (рис. 1), как видно, учитывает геометрию профиля гребня (β), физическое состояние контакта колеса с упорным рельсом (μ), воздействия вертикальных нагрузок от набегающего колеса на рельс P и боковой силы P_6 , возникающей при взаимодействии гребня набегающего колеса и головки рельса.

Формула (1) справедлива лишь при одном условии, когда соблюдается неравенство $P > P_6$, что соответствует устойчивому равновесию только набегающего колеса и только при движении на прямых. В противном случае, когда $P < P_6$, происходит сход колеса с рельса. Как справедливо замечено в [11], в [10] не учтено воздействие вертикальных и горизонтальных (возникающих при движении вагона в кривых) сил на другое колесо, опирающееся на другую рельсовую нить. В случае, когда колёсная пара находится на границе устойчивости, по (1) значение K_{yc} для любого типа подвижного состава практически равно 1,0, т. е. соответствует равенству сил $P = P_6$. В силу таких замечаний формула (1) некорректна.

К сожалению, в [2], так же, как и в [7–9], приведена динамическая модель и описано условие опускания нагруженного колеса по головке упорного рельса (рис. 2), в то время как в этом случае не происходит вкатывания набегающего малонагруженного колеса на головку упорного рельса.

На рис. 2 обозначено: G – сила тяжести колёсной пары, кН; F_1 и F_2 – нагрузки от кузова на шейки оси обезгруженной (малонагруженной) колёсной пары по вертикали, кН; $F_p = H_p$ – рамная сила как доля горизонтальной поперечной силы F_y [2, 6], приходящейся на обезгруженное колесо, кН; h – расстояние от головки рельса до приложения рамной силы, м (обычно

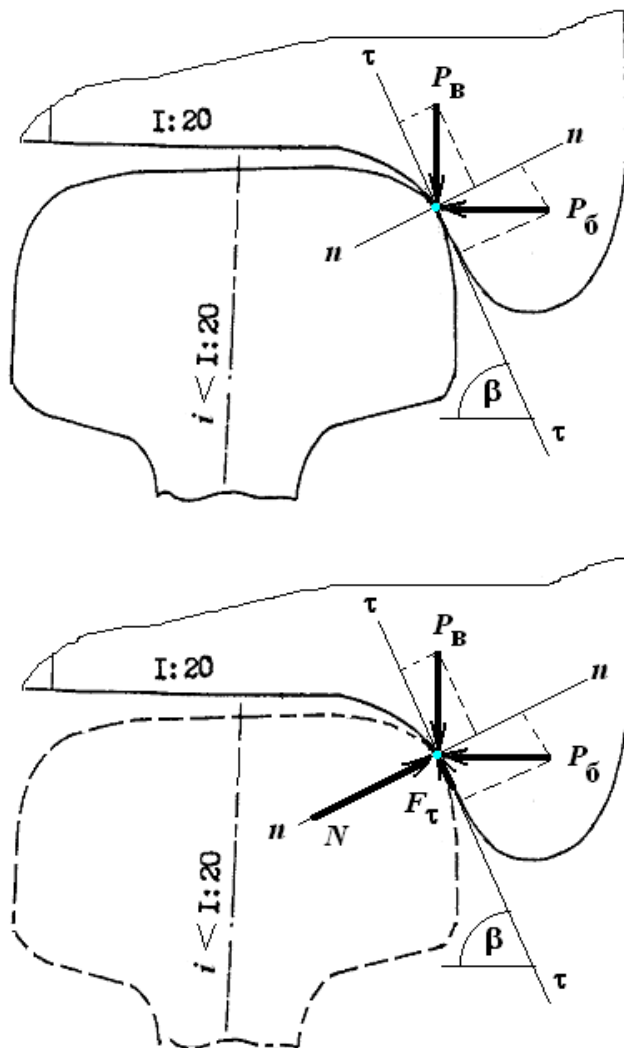


Рис. 1. Схема приложение сил на головку рельса от воздействия набегающего колеса

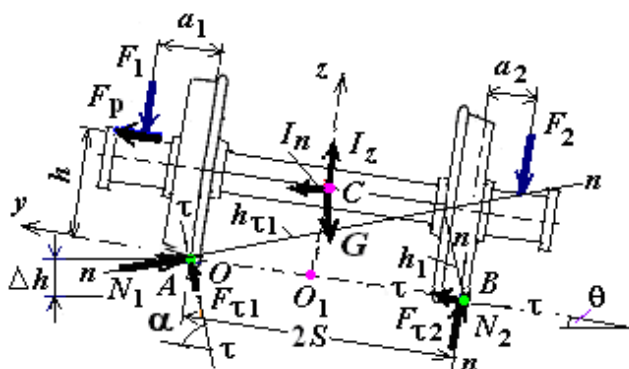


Рис. 2. Динамическая модель вкатывания колёсной пары вагона

принимают 0,54 м, поскольку $h = r_k + r_m$); I_n – нормальная составляющая сила инерции колёсной пары в абсолютном движении, учитывающая её движение с ускорением в поперечном направлении по кривому участку пути, кН [1, 2]; I_z – сила инерции колёсной пары в абсолютном движении, учитывающая её движение с ускорением по вертикали вниз как неблагоприятный случай для опускания колёса вниз (в отличие от рис. 1), кН; a_1 – расстояние от центра шейки оси колёсной пары до гребня колеса упорной нити (у четырёхосного грузового вагона принимают 0,264 м) и a_2 – расстояние от центра шейки оси колёсной пары до точки контакта колеса с внутренней рельсовой нитью (принимают 0,168 м); Δh – возвышение наружной рельсовой нити A относительно внутренней B, м; θ – угол, характеризующий возвышение наружной рельсо-

вой нити, рад.; $2S$ – расстояние между точками контакта колёс с рельсами, т. е. расстояние между осями рельсов, м (обычно 1,58 м).

Кроме того, на рис. 2 обозначено: $\bar{N}_1$, $\bar{N}_2$ и $\bar{F}_{\tau 1}$, $\bar{F}_{\tau 2}$

– нормальные и касательные составляющие реакции рельсовых нитей. При этом имеют в виду, что касательная $\tau - \tau$ к рабочей грани головки рельса в точке O касания гребня наружного колеса с рельсом упорной нити A образует с горизонталью (ось O_1y) угол α , что соответствует углу β в (1).

Учитывают, что касательные составляющие $\bar{F}_{\tau 1}$ и $\bar{F}_{\tau 2}$ реакции связей представляют собой силы трения между контактируемыми поверхностями колёс и рельсовыми нитями, т.

е. $\bar{F}_{\tau 1} = \bar{F}_{\tau p 1}$, $\bar{F}_{\tau 2} = \bar{F}_{\tau p 2}$. Силы трения, как силы со-

противления, всегда направлены в сторону, противоположную скольжению гребня колеса по рабочей грани головки упорного рельса, как показано на рис. 1.

Таким образом, получают расчётную модель колёсной пары вагона для определения устойчивости колеса на рельсе (см. рис. 2).

Математическая модель набегающего колеса колёсной пары передней тележки вагона при движении подвижного состава по кривому участку пути, полученная на основе проецирования сил на касательную $\tau - \tau$ и нормаль $n - n$, можно представить в виде [2]

$$\begin{aligned} (\sin(\alpha) - f \cos(\alpha)) N_1 - f N_2 &= \\ = F - G \sin(\theta) - I \cos(\theta) &; \\ (\cos(\alpha) + f \sin(\alpha)) N_1 + N_2 &= \\ = F + F + G \cos(\theta) + I \sin(\theta) - I &, \quad (2) \end{aligned}$$

где α соответствует β в (1), а $f \rightarrow \mu$.

Однако в [2] доказано, что из-за наличия трансцендентных функций типа синуса и косинуса в (2) имеет место

$N_1 \cos(\alpha) < N_2$, что не соответствует действительности.

В [9] коэффициент запаса устойчивости K_{yc} против схода колеса на рельс (рис. 3) найден в виде:

$$k \geq \frac{(P + P - N) \sin \tau}{F + (Y + F) \cos \tau} \quad (3)$$

Здесь Y_p соответствует F_p на рис. 1, а $P_1 \rightarrow F_1$, $P_2 \rightarrow F_2$, $F_1 \rightarrow F_{\tau 1}$, $F_2 \rightarrow F_{\tau 2}$ и $\tau \rightarrow \alpha$.

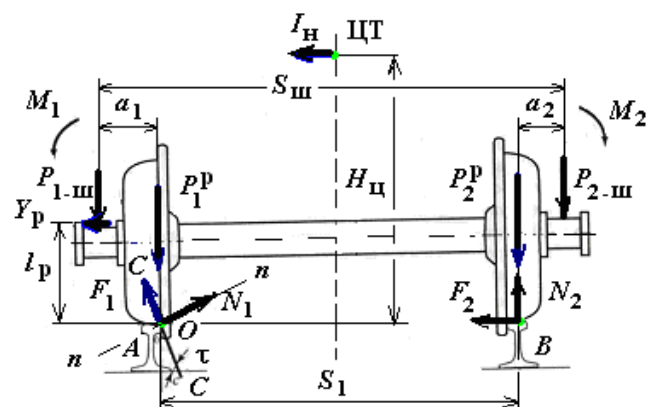


Рис. 3. Расчётная схема для определения устойчивости колеса на рельсе

В (3) нормальную N_2 следовало бы учитывать как силу, вызывающую подъём колеса, и учитывать в знаменателе, а не в числителе.

Таким образом, утверждение в [9] о том, что «гарантированная устойчивость колеса на рельсе обеспечивается при $k = 1,4$ – для локомотивов; $k = 1,3$ – для грузовых вагонов; $k = 1,6$ – для пассажирских вагонов; $k = 1,4$ – для изотермических вагонов» (см. С. 267 [9]), является некорректным.

Результаты всех последующих работ (например [12, 13]) опираются на формулу (1) [10] без её критического анализа. Так, например, в [13] приведены силы, действующие на колесо при однотоочечном (рис. 4, а) и двухточечном (рис. 4, б) контакте с упорной нитью.

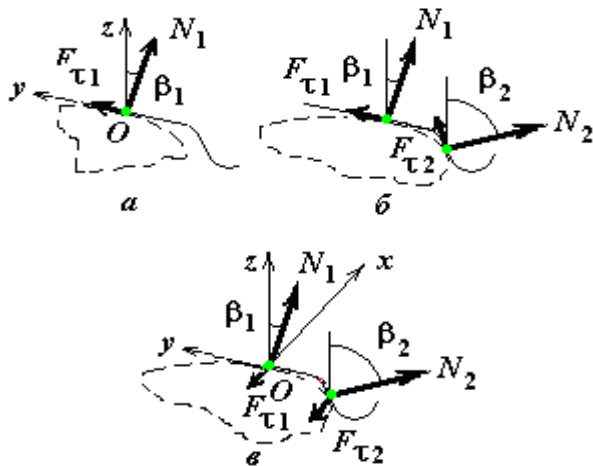


Рис. 4. Реакции связи (упорной нити) на набегающее колесо

Данная схема соответствует случаю опускания гребня по головке рельса так же, как и в [7–9]. Кроме того, направление $F_{\tau 1}$ и $F_{\tau 2}$ реакции связи, показанное на рис. 4, б, $F_{\tau 1}$ и $F_{\tau 2}$. В [13] приведены формулы для определения боковых P_6 и вертикальных $P_в$ сил в виде

– для однотоочечного контакта (см. рис. 4, а)

$$\begin{aligned} (\sin(\beta) - f \cos(\beta)) N_1 &= F_6; \\ (\cos(\beta) + f \sin(\beta)) N_1 &= F_в; \end{aligned} \quad (4)$$

– для двухточечного контакта (см. рис. 4, б)

$$\begin{aligned} F_6 &= \left(f \cos(\beta_1) - \sin(\beta_1) \right) N_1 + \left(f \cos(\beta_2) - \sin(\beta_2) \right) N_2; \\ F_в &= \left(\cos(\beta_1) + f \sin(\beta_1) \right) N_1 + \left(\cos(\beta_2) + f \sin(\beta_2) \right) N_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Заметим, что формула (1) выведена из (4) без учёта сил, действующих на другое колесо, т. е. при $N_2 = 0$. Особо отметим, что нормальные составляющие реакции связей N_1 и N_2 подлежат нахождению по известным величинам боковых P_6 и вертикальных $P_в$ сил, а не наоборот. Также подчеркнём, что определение нормальных составляющих реакции связей N_1 и N_2 для двухточечного контакта является самостоятельной прикладной задачей.

В предложенной в МИИТ формуле (условно назовём «формулой ВНК») для вычисления коэффициента запаса устойчивости по отношению работы сил A , возникающих в контакте поверхностей гребня колеса и рельса, к кинетической энергии движения T , приходящейся на набегающее на рельс колесо, нахождение величины работы сил A при подъёме колеса на высоту гребня h , кинетической энергии T по величине осевой нагрузки P_0 , а также нахождение скорости вертикального подъёма гребня колеса v_z [13] являются некорректными. Так, например, работа A найдена по формуле

$$A = \left[F_в (\mu + \operatorname{tg}(\beta)) + F_6 (\mu \operatorname{tg}(\beta) - 1) \right] h \operatorname{ctg}(\beta); \quad (6)$$

$$T = \frac{P_в^2}{2g z}, \quad (7)$$

где v_z – скорости вертикального подъёма гребня колеса:

$$v_z = v \operatorname{tg}(\alpha) \operatorname{tg}(\beta) \quad (8)$$

с учётом того, что α – угол набегания колеса на рельс; v – скорость движения единиц подвижного состава.

В (6) слагаемые в квадратной скобке представляют собой сумму «препятствующих» и «способствующих» подъёму колеса сил в виде

$$\begin{aligned} F_{пр} &= F_в (\mu + \operatorname{tg}(\beta)) \quad \text{и} \\ F_{сп} &= F_6 (\mu \operatorname{tg}(\beta) - 1), \end{aligned}$$

направленные по касательной $\tau - \tau$, совпадающей с профилем гребня. Следовало бы представить выражение в квадратной скобке в виде

$$F_6 [\mu \operatorname{tg}(\beta) - 1] - F_в (\mu + \operatorname{tg}(\beta)),$$

поскольку сход колеса с рельса может произойти в случае, когда соблюдается условие $P_6 \gg P_в$. Однако и это некорректно из-за того, что не учтены силы, воздействующие на другое

колесо. В (6) произведение $h \operatorname{ctg}(\beta)$ соответствует пути перемещения гребня по головке рельса в виде

$$s = \sqrt{\Delta r^2 + y^2},$$

где $\Delta r \approx h \approx 16$ мм – приращение радиуса качения колеса, умноженному на $\cos \beta$ (или $\cos \beta (h/\sin \beta)$), под воздействием разности сил $F_{пр}$ и $F_{сп}$.

Некорректность (8) вытекает из-за перпендикулярности направления v к v_z .

В предложенное МИИТ [13] условие, при котором произойдёт явный сход, когда величина подъёма колеса над УГР на 28 мм (высота гребня вагонного колеса), как гипотеза (условно назовём «гипотезой ГИП») должна быть доказана аналитически. Доказательство «гипотезы ГИП» является самостоятельной прикладной задачей.

Таким образом, во всех предложенных методах оценки безопасности движения грузовых вагонов не исследованы и не изучены причины появления вертикальных $P_в$ и боковых P_6 сил, действующих на колёсную пару [4, 5]. Также странно, что силы $P_в$ и P_6 найдены по неизвестным реакциям связей

$\bar{R} \in \{\bar{N}, \bar{F}\}_\tau$ [13]. В соответствии с этим результаты исследований, изложенные, например в [12, 13], вызывают возражения.

Коэффициент устойчивости безгруженного колеса колесной пары против схода с рельса (по условию вкатывания) может быть определен в виде [3, 15]

$$\eta = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} \geq 1,25, \quad (9)$$

где $M_{уд}$ и $M_{опр}$ – «удерживающий» и «опрокидывающий» моменты сил:

$$\begin{aligned} M_{уд} &= F_2 (2S + a) + I_n \sin(\theta) S + \\ &+ G \left(\cos(\theta) S + \sin(\theta) r_k \right); \end{aligned} \quad (10)$$

$$M_{опр} = F_p h + M_1 + I_z S + I_n \cos(\theta) r_k. \quad (11)$$

Здесь обозначения соответствуют рис. 3.

Анализируя результаты известных работ [1–13], следует отметить, что до сих пор отсутствует обоснование построенных математических моделей вкатывания обезгруженного колеса колёсной пары грузового вагона, позволяющее оценить правильность найденных значений реакций связей (рельсовых нитей) по результатам вычислительных экспериментов. В соответствии с этим разработка рекомендации по выбору конечных аналитических формул для определения реакции рельсовых нитей на воздействие колёсных пар грузового вагона при вкатывании обезгруженного колеса на головку рельса является актуальной прикладной задачей в отрасли железнодорожного транспорта.

Формулировка задачи. На основе вычисления требуется рекомендовать конкретные аналитические формулы для определения реакции рельсовых нитей при вкатывании обезгруженного колеса на головку рельса, позволяющие произвести оценку устойчивости по вкатыванию колеса грузового вагона.

Условия задачи и принятые допущения. Будем учитывать, что при вкатывании на головку упорного рельса гребень обезгруженного (т. е. малонагруженного) колеса грузового вагона скользит вверх.

Как в [1–3], предположим, что вертикальные силы $\bar{F}_1$ и $\bar{F}_2$, приложенные на шейки оси колёсной пары, в отличие от [2] (см. рис. 1), препятствуют вкатыванию гребня прямолинейной части обезгруженного колеса на головку упорного рельса A относительно точки O под действием рамной силы $\bar{F}_p$ [3].

Воспользуемся динамическими моделями при вкатывании гребня обезгруженного колеса грузового вагона на головку рельса (рис. 5 и 6) [3].

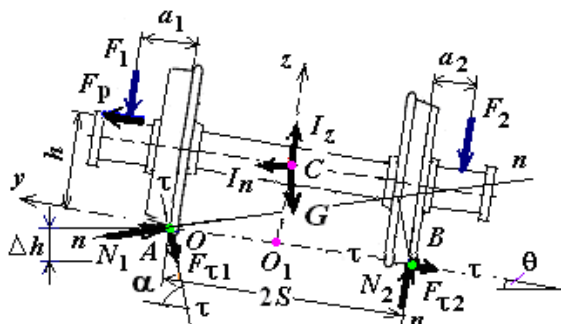


Рис. 5. Динамическая модель вкатывания колёсной пары вагона

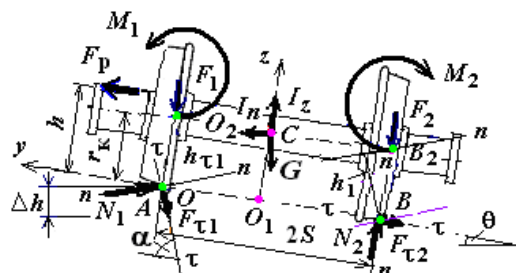


Рис. 6. Эквивалентная динамическая модель колёсной пары

На рис. 5 и 6 обозначено: α – угол между поперечной осью Oy и касательной $\tau - \tau$ к рабочей грани головки рельса в точке O касания прямолинейной части гребня наружного колеса с упорным рельсом A (обычно для грузовых вагонов принимают равным 60° [10]).

Методы решения. Воспользуемся методом кинестатики (уравнения равновесия плоской системы динамических сил геометрической статики) [16, 17] и методом решения линейных алгебраических уравнений в системе MathCAD [18], представленными в [3].

Аналитическое решение задачи [3]. Незвестные нормальные составляющие N_1 и N_2 реакции связей $\bar{R}_1$ (рельс A) и $\bar{R}_2$ (рельс B), независимо от того, проецированы силы на направления координатных осей Oyz или на касательную $\tau - \tau$ и нормаль $n - n$ (см. рис. 2), представлены аналитическими формулами [3]:

$$N_1 = \frac{-F + f(F + F - I) + G \times (\sin(\theta) + f \cos(\theta)) - I(\cos(\theta) - f \sin(\theta))}{-\sin(\alpha)(1 + f)}, \quad (12)$$

$$N_2 = \frac{F(\cos(\alpha) - f \sin(\alpha)) - (F + F - I)(\sin(\alpha) + f \cos(\alpha)) - G \cos(\theta)(\sin(\alpha) + f \cos(\alpha)) - G \sin(\theta)(\cos(\alpha) - f \sin(\alpha)) + I \cos(\theta)(\cos(\alpha) - f \sin(\alpha)) - I \sin(\theta)(\sin(\alpha) + f \cos(\alpha))}{-\sin(\alpha)(1 + f)}. \quad (13)$$

Контролем правильности представленных аналитических формул является выполнение равенства, вытекающего из уравнения моментов сил относительно точки O (см. рис. 5 [3]):

$$Fh + Fa + IS + I \times (\cos(\theta)r - \sin(\theta)S) - G(\cos(\theta)S + \sin(\theta)r) - F(2S + a) + N_2 2S = 0. \quad (14)$$

Кроме того, неизвестные нормальные составляющие N_1 и N_2 реакций связи $\bar{R}_1$ (рельс A) и $\bar{R}_2$ (рельс B) найдены составлением двух уравнений моментов сил относительно двух произвольных точек O и B (см. рис. 6) [3] в виде:

$$N_2 = \frac{1}{2S} \left(M_{уд.} - M_{опр.} \right); \quad (15)$$

$$N_1 = \frac{Fh + M + F2S - IS + I \times (\cos(\theta)r + \sin(\theta)S) + G(\cos(\theta)S - \sin(\theta)r) - M}{2S(\cos(\alpha) - f \sin(\alpha))}. \quad (16)$$

В (15) «удерживающие» $M_{уд.}$ и «опрокидывающие» $M_{опр.}$ моменты сил найдены в виде (10) и (11) [3].

Контролем правильности последних аналитических выражений является выполнение следующего равенства, вытекающего из проекции сил на вертикаль, в отличие от [2]:

$$(F + F - I) + I \sin(\theta) + G \cos(\theta) = N_1(\cos(\alpha) - f \sin(\alpha)) + N_2. \quad (17)$$

В [2, 3] решение задачи вкатывания гребня обезгруженного колеса на головку упорного рельса представлено с использованием понятия «препятствующих» соскальзыванию прямой части гребня колеса относительно боковой поверхности рельса сил $F_{пр.}$ и «вызывающих» это соскальзывание сил $F_{выз.}$ [1 – 3]. Вкатывания гребня колеса на головку упорного рельса не произойдет, если разность сил $F_{пр.}$ и $F_{выз.}$ (см. рис. 5) удовлетворяет условию [2]

$$\Delta F = F_{пр.} - F_{выз.} \geq 0, \quad (18)$$

где, в отличие от [2],

$$F_{пр.} = (F_1 + F_2) \sin(\alpha) + G \times (\cos(\theta) \sin(\alpha) + \sin(\theta) \cos(\alpha)) + I_n \sin(\theta) \sin(\alpha) + f(N_1 + N_2 \cos(\alpha)); \quad (19)$$

$$F_{выз.} = F_p \cos(\alpha) + N_2 \sin(\alpha) + I_n \cos(\theta) \cos(\alpha) + I_z \sin(\alpha). \quad (20)$$

Исходные данные задачи. Пусть, как и в [6, 9], в кривом участке пути с радиусом кривизны заданной точки кривого участка пути $\rho = 320$ м произошёл сход грузового вагона из-за вкатывания гребня колеса на головку наружного рельса. Скорость движения подвижного состава была $v = 70$ км/ч. По одной из версий, это могло произойти по причине жёсткого торможения. По одним сведениям, тормозная сила достигала 700, а по другим – 1 000 кН. Расчёт следует выполнить при трёх величинах рамной силы F_p , которые получены по данным ВНИИЖТ: $F_{p1} = 50$, $F_{p2} = 78$ и $F_{p3} = 89$ кН [9].

Характеристика пути [6, 9]. Рельсы Р65, шпалы деревянные 2 000 шт./км, балласт гравийный, состояние пути плохое (коэффициент трения скольжения гребня колеса по рельсу $f = 0,25$); радиус кривизны заданной точки кривого участка пути $\rho = 320$ м; возвышение наружной рельсовой нити A относительно внутренней $B - \Delta h = 0,1$ м; $\theta = \arctg(\Delta h/2S) = \arctg(0,1/1,58) = 0,063$ – угол, характеризующий возвышение наружной рельсовой нити, рад. ($\theta \cdot 180/\pi = 3,621$ град.).

Характеристика грузового вагона [6, 9]. $G = 15$ – вес колёсной пары, кН; $G_{бр} = 920$ – вес брутто, кН ($M = 9,378 \cdot 10^4$ – масса кузова с грузом, кг); $n_k = 8$ – количество осей экипажа, шт.; $G_{ст.} = G_{бр}/n_k = 115$ – статическая нагрузка от колёса на рельс, кН; $G_k = 844$ – вес кузова с грузом, кН; $f = 0,25$ – коэффициент трения скольжения гребня колеса по рельсу; $h_{цт.} = h_1 = 2$ – высота центра тяжести кузова вагона, м; $F_1 = G_{ст.}$ и $F_2 = G_{ст.}$ – нагрузка от кузова на шейки оси колёсной пары, кН (здесь предполагали, что груз размещён симметрично относительно продольной оси вагона).

Результаты вычислительных экспериментов. 1) Результаты расчётов на основе аналитических формул (12) – (14). Нормальные составляющие реакций рельсовых нитей A и B , вычисленные по (12) и (13) в системе MathCAD [18] при величине рамной силы $F_{p1} = 50$ кН, в отличие от [9], оказались равными $N_1 = -17,8$ и $N_2 = 273,9$ кН. Однако проверка результатов расчёта показала, что равенство (14) не соблюдается, т.е. слагаемые с положительным знаком равны 498,3, а вычитаемые – 273,3 кН. При $F_{p1} = 78$ кН: $N_1 = 12,7$ и $N_2 = 265,2$ кН, а при $F_{p1} = 89$ кН: $N_1 = 24,6$ и $N_2 = 261,8$ кН. Также не соблюдается равенство (14).

Установлено, что уменьшение значения угла наклона профиля гребня к горизонтали α (для неизношенных колёс 60°) с учётом её износа [14] при постоянной величине коэффициента трения f и величине рамной силы $F_p = 50$ кН приводит к уменьшению N_1 и увеличению N_2 (рис. 7, а, б), а при $F_p = 78$ кН, наоборот, – к увеличению N_1 и уменьшению N_2 (рис. 7, в, г). При этом зафиксировано, что для заданных исходных данных задачи предельным значением рамной силы, при котором происходит увеличение N_1 и уменьшение N_2 , является $F_p = 66,4$ кН.

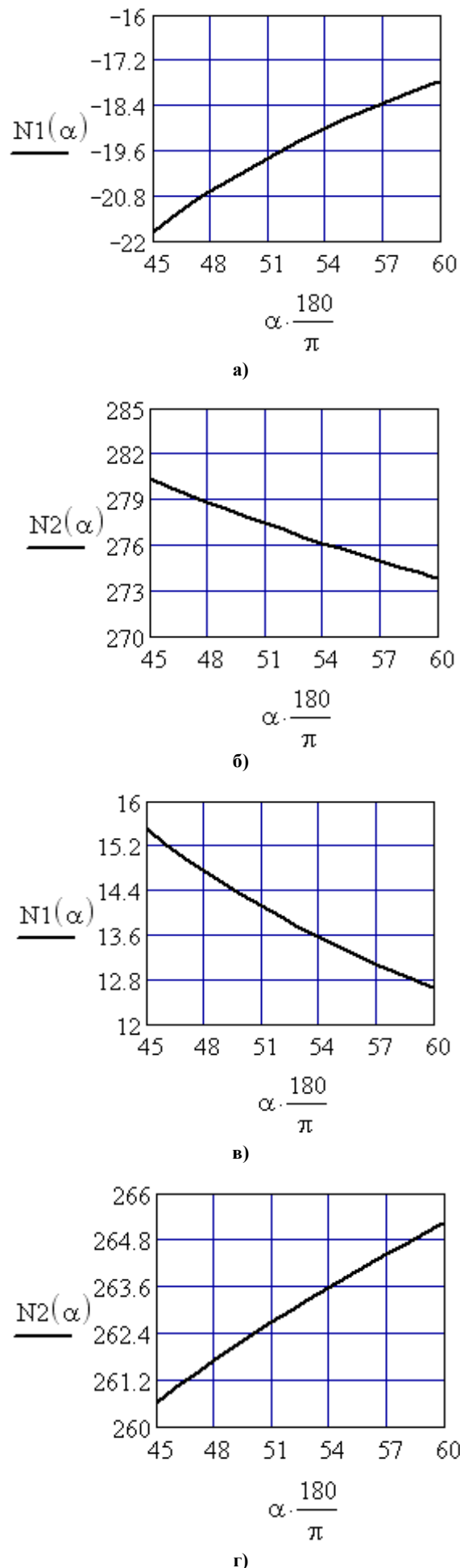


Рис. 7. Графические зависимости N_1 и N_2 от вариации α

Увеличение рамной силы F_p при постоянной величине коэффициента трения f приводит к увеличению N_1 и к незначительному уменьшению N_2 (рис. 8, а). Уменьшение коэффициента трения f при постоянной величине рамной силы F_p приводят к уменьшению N_1 и к незначительному увеличению N_2 (рис. 8, б).

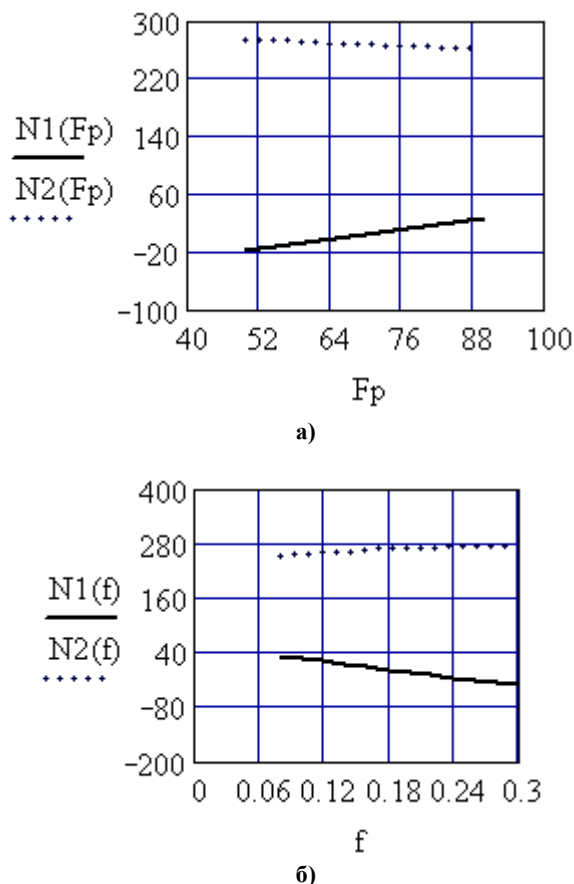


Рис. 8. Графические зависимости N_1 и N_2 от вариации F_p и f

Анализ полученных результатов вычислений. Величины нормальных реакции связи N_1 и N_2 в основном зависят от величины рамной силы F_p , коэффициента трения f между контактируемыми поверхностями колёс с рельсовыми нитями и вертикальных сил F_1 и F_2 , приложенных на шейки оси колёсной пары. Причём увеличение рамной силы F_p увеличивает значение реакции связи N_1 и уменьшает значения N_2 (см. рис. 8, а). Уменьшение коэффициента трения f при $F_p = \text{const.}$ уменьшает значение N_1 и, наоборот, незначительно увеличивает N_2 (см. рис. 8, б), т. е. допускает соблюдение неравенства $N_1 < N_2$. Кроме того, при любых исходных данных равенство (14) не соблюдается. Согласно замечанию [2, 3] при любых исходных данных должно соблюдаться условие $N_1 \cos \alpha > N_2$ и соблюдаться равенство (14), в противном случае результаты решения инженерной задачи не будут соответствовать её физическому смыслу.

Таким образом, результаты вычислительных экспериментов показали, что использование условий равновесия сил геометрической статики в виде двух проекций сил на оси координат и одного момента сил относительно выбранного центра [16, 17] при наличии в аналитических выражениях трансцендентных функций типа синуса и косинуса [2, 3], как не парадоксально, не отвечает физическому смыслу решаемой инженерной задачи так же, как и в [6].

2) Результаты расчётов на основе аналитических формул (15) – (17). Нормальные составляющие реакций рельсовых нитей A и B , вычисленные по (15) и (16) в системе MathCAD [18], при величине рамной силы $F_{p1} = 50$ кН, в отличие от [6], оказались равными $N_1 = 484,5$ и $N_2 = 131,45$ кН. При $F_{p1} = 78$ кН: $N_1 = 518,9$ и $N_2 = 121,7$ кН; при $F_{p1} = 89$ кН: $N_1 = 532,4$ и $N_2 = 117,9$ кН.

Установлено, что уменьшение значения угла наклона профиля гребня к горизонтали α с учётом её износа [14] при по-

стоянной величине коэффициента трения f и величине рамной силы $F_p = 50$ кН приводит к уменьшению N_1 (рис. 9).

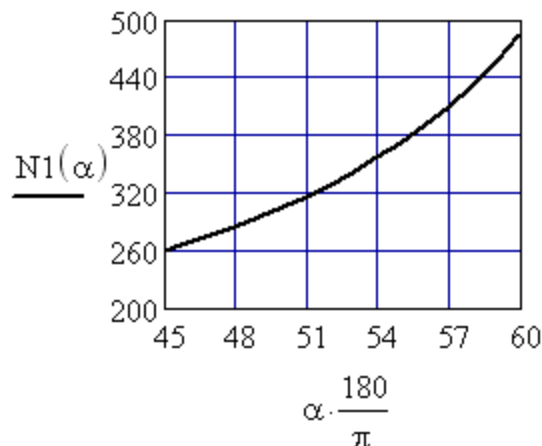


Рис. 9. Графические зависимости N_1 от вариации α

Увеличение рамной силы F_p увеличивает значение реакции связи N_1 и незначительно уменьшает N_2 (рис. 10, а). Уменьшения коэффициента трения скольжения f при $F_p = \text{const.}$ увеличивает значение N_1 по нелинейному закону (рис. 10, б). Здесь следует учесть, что N_2 согласно (16) не зависит от f . При любых исходных данных соблюдается равенство (17) (268,81 кН), что подтверждает правильность выполненных расчётов.

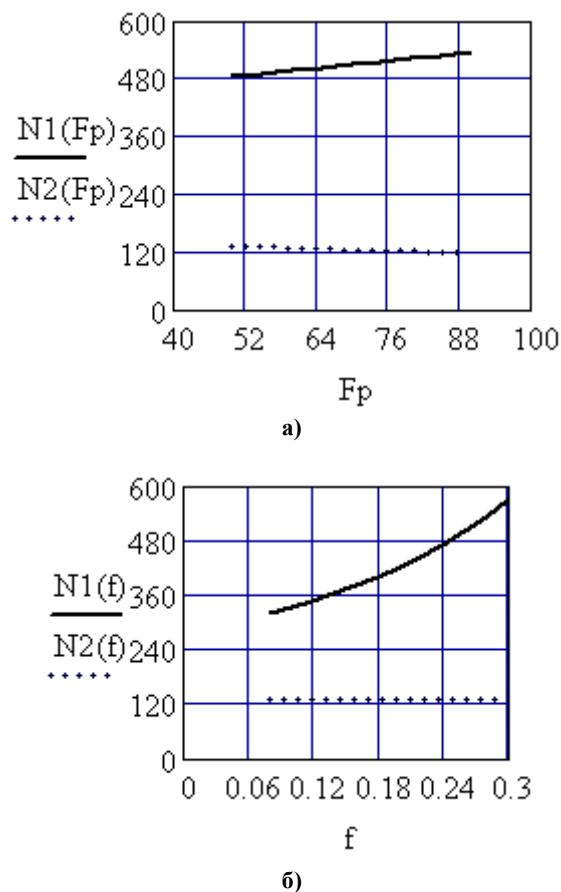


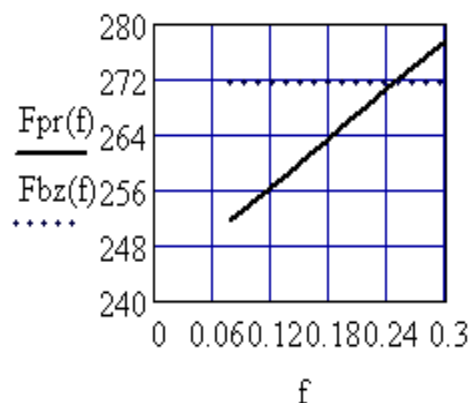
Рис. 10. Графические зависимости N_1 и N_2 от вариации F_p и f

Таким образом, результаты вычислительных экспериментов на основе (15) и (16) показали, что при любых исходных данных будет соблюдено условие $N_1 \cos \alpha > N_2$ и равенство (17), что соответствует физическому смыслу решаемой задачи.

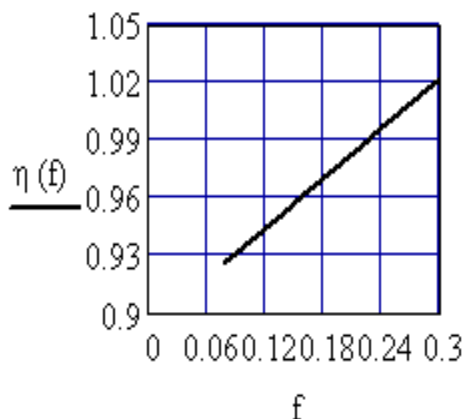
Отсюда вытекает важный вывод о том, что недопустимо определять один отыскиваемый параметр расчётов (например N_2) из уравнения моментов сил относительно выбранной точки (например, относительно точки O), а другой (например N_1) - из уравнения равновесия сил в проекциях на выбранную ось

координат (например, на направление нормали $n - n$). Такая ошибка допущена в [7 – 9].

3) *Результаты расчётов на основе аналитических формул* (19) и (20) с использованием (12), (13) и (15), (16). Приведём результаты вычислений с учетом «препятствующих» подъёму колеса сил $F_{пр.}$ (см. (8)) и «вызывающих» этот подъём сил $F_{выз.}$ (см. (20)) [3]. При величине рамной силы $F_{р1} = 50$ кН и коэффициенте трения скольжения $f = 0,25$ значения сил $F_{пр.}$ и $F_{выз.}$, вычисленные на основе (12) и (13), в отличие от [6], равны по 271,6 кН. Тогда коэффициент устойчивости нагруженного колеса при опускании на головку рельса $\eta = F_{пр.}/F_{выз.}$, вычисленный на основе (12) и (13), равен $\eta = 1,0$. Согласно [7 – 9] значение коэффициента устойчивости η можно увеличить, уменьшая значение f . Однако при использовании (12) и (13) уменьшению величины коэффициента трения f соответствует уменьшение силы $F_{пр.}$ по линейному закону при $F_{выз.} = \text{const}$ (рис. 11, а), соответственно этому значение коэффициента устойчивости η уменьшается от 1 по линейному закону (рис. 11, б), что противоречит предположениям [7 – 9].



а)

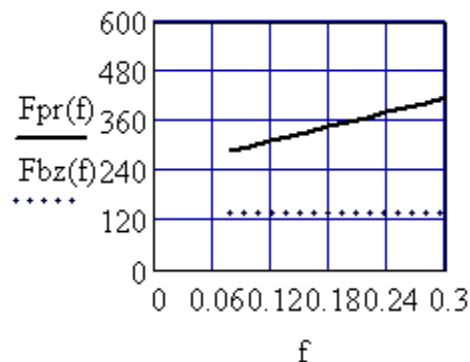


б)

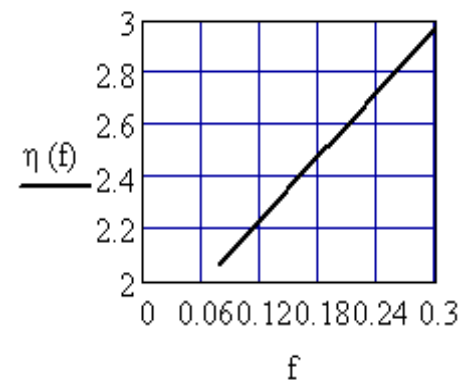
Рис. 11. Графические зависимости $F_{пр.}$, $F_{выз.}$ и η от вариации f

Отсюда следует, что при использовании (12) и (13) всегда соблюдается равенство сил $F_{пр.}$ и $F_{выз.}$, при этом всегда $\eta \leq 1$, что соответствует случаю явного схода колеса с рельса.

Силы $F_{пр.}$ и $F_{выз.}$, вычисленные на основе (15) и (16), при величине рамной силы $F_{р1} = 50$ кН, в отличие от [6], равны 148,3 и 379,4 кН. Соответственно этому коэффициент устойчивости η , вычисленный на основе (15) и (16), при $f = 0,25$, $\eta = 2,6$. Значение коэффициента устойчивости η можно увеличить, уменьшая значение f [7 – 9], например, если $f = 0,1$, то $\eta = 1,36$. Уменьшению величины коэффициента трения f соответствует уменьшение силы $F_{пр.}$, в отличие от [3], по линейному закону (рис. 12, а), соответственно этому по линейному закону уменьшается значение коэффициента устойчивости η (рис. 12, б), однако не ниже, чем до 2.



а)



б)

Рис. 12. Графические зависимости $F_{пр.}$, $F_{выз.}$ и η от вариации f

Анализ результатов вычислений. Результаты расчётов коэффициента устойчивости обездвиженного колеса при вкатывании на головку упорного рельса показали, что при любых исходных данных вычисление η по (19) и (20) на основе (12) и (13), рекомендованное в [7 – 9], является некорректным, поскольку всегда соблюдается равенство (18) (или $\Delta F_{\tau-\tau} = 0$) и соответственно этому $\eta = 1,0$. При любых исходных данных вычисление η по (19) и (20) на основе (15) и (16) позволяет оценить устойчивость обездвиженного колеса при вкатывании на головку рельса, поскольку всегда соблюдается неравенство (18) (или $\Delta F_{\tau-\tau} \geq 0$) и соответственно этому $\eta \geq 1,0$. Поэтому оценка устойчивости колёсной пары вагона против вкатывания гребня колеса на головку упорного рельса, выполненная отношением сил $F_{пр.}$, «препятствующих» подъёму колеса, к силам $F_{выз.}$, «вызывающим» этот подъём [3], является корректным лишь при использовании конечных аналитических формул (15) и (16).

4) *Обобщающие результаты вычислительных экспериментов.* Приведём сравнительные результаты вычислений реакций связей R_1 (наружная рельсовая нить А), R_2 (внутренняя рельсовая нить В) и их проекции на координатные оси Oyz (R_{1y} , R_{1z} и R_{2y} , R_{2z}), кН (рис. 13), выполненные на основе (15) и (16) при $F_p = 50$ кН и $f = 0,25$.

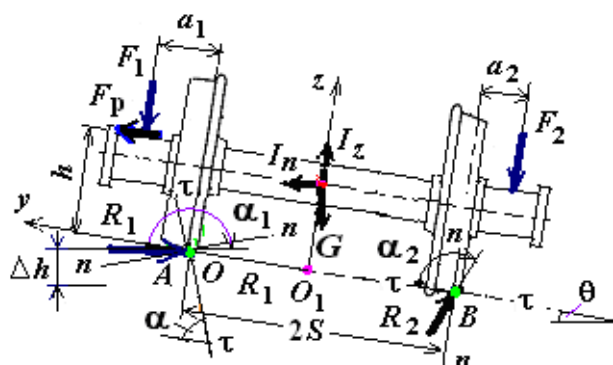


Рис. 13. Направление реакции связей, приложенных на колёсную пару

Результаты вычислений реакций связей R_1 , R_2 и их проекций на оси координат (R_{1y} , R_{1z} и R_{2y} , R_{2z}) в кН, в отличие от [6], оказались следующими:

$R_1 = N_1 \sqrt{1 + f^2} = 499,4$ – реакция связи (наружной рельсовой нити) A ;

$R_{1y} = -N_1 (\sin(\alpha) + f \cos(\alpha)) = 480,2$ – проекция реакции связи A на поперечную ось Oy ;

$R_{1z} = N_1 [\cos(\alpha) - f \sin(\alpha)] = 137,4$ – проекция реакции связи A на вертикальную ось Oz ;

$\alpha = \arccos\left(\frac{R_{1y}}{R_1}\right) = 2,863$ рад. ($180\alpha_1/\pi = 164,036$ град.) – направляющий косинус реакции связи A ;

$R_2 = N_2 \sqrt{1 + f^2} = 135,5$ – реакция связи (внутренней рельсовой нити) B ;

$R_{2y} = -fN_2 = 32,86$ – проекция реакции связи B на поперечную ось Oy ;

$R_{2z} = N_2 = 131,45$ – проекция реакции связи B на вертикальную ось Oz ;

$\alpha_2 = 1,816$ рад. ($180\alpha_2/\pi = 104,036$ град.) – направляющий косинус реакции связи B .

Полученные исходные данные, согласно закону равенства действия и противодействия механики [15, 16], позволяют обоснованно выполнить расчёты устойчивости пути против поперечного сдвига под поездом.

Анализируя результаты вычислительных экспериментов, можно сделать вывод, что расчёты по определению неизвестных реакций рельсовых нитей N_1 и N_2 следуют выполнять исходя из условия равновесия моментов сил относительно точек контакта колёс с рельсовыми нитями, где гарантированно соблюдается условие $N_1 \cos \alpha > N_2$, что соответствует физическому смыслу решения инженерной задачи [6].

Выводы

1. Результаты вычислительных экспериментов установили, что при использовании метода кинестатики (условий равновесия сил геометрической статики в виде двух проекций сил на оси координат) в виде (12) и (13) уменьшение значения угла наклона профиля гребня к горизонтали с учётом её износа [14] при постоянной величине коэффициента трения f по мере увеличения рамной силы приводит к увеличению N_1 и уменьшению N_2 . Увеличение рамной силы увеличивает значение реакции наружной рельсовой нити N_1 , уменьшая при этом реакции внутренней рельсовой нити N_2 , что логично. Уменьшение коэффициента трения при постоянной величине рамной силы уменьшает значение реакции наружной рельсовой нити N_1 и, наоборот, увеличивает реакцию внутренней рельсовой нити N_2 , т. е. допускает соблюдение неравенства $N_1 \cos \alpha < N_2$, что ставит под сомнение результаты решения инженерной задачи как не соответствующие её физическому смыслу. Таким образом, использование условий равновесия сил геометрической статики в виде двух проекций сил на оси координат и одного момента сил относительно выбранного центра [16, 17] при наличии в аналитических выражениях трансцендентных функций типа синуса и косинуса [3], как не парадоксально, не отвечает физическому смыслу решаемой инженерной задачи.

2. Результаты вычислительных экспериментов, выполненные на основе уравнения моментов сил относительно выбранных центров в виде (15) и (16), показали, что при любых исходных данных будет соблюдено условие $N_1 \cos \alpha > N_2$ и равенство (17), что соответствует физическому смыслу решаемой задачи. Отсюда вытекает важный вывод о том, что недопустимо определять один отыскиваемый параметр расчётов

из уравнения моментов сил относительно выбранной точки (например, относительно точки O), а другой – из уравнения равновесия сил в проекциях на выбранную ось координат (например, на направление нормали $n - n$), как это выполнено в [7–9].

3. Оценка устойчивости колёсной пары вагона против опускания гребня колеса на головку упорного рельса, выполненная отношением сил, препятствующих подъёму колеса $F_{пр.}$, к силам, вызывающим этот подъём $F_{выз.}$, найденным из проекций равновесия сил на выбранные оси координат [7–9], является некорректной. При этом всегда соблюдается равенство этих сил и, соответственно этому, коэффициент устойчивости колеса против вкатывания при уменьшении коэффициента трения скольжения может быть $\eta \leq 1$, что соответствует случаю явного схода колеса с рельса.

4. Результаты расчётов коэффициента устойчивости показали, что при любых исходных данных вычисление этого коэффициента на основе уравнений моментов сил относительно выбранного центра позволяет оценить устойчивость нагруженного колеса при опускании на головку рельса, поскольку всегда соблюдается неравенство препятствующих подъёму колеса сил, к силам, вызывающим этот подъём, и соответственно этому $\eta \geq 1,0$.

5. Оценка устойчивости колеса колёсной пары вагона против вкатывания на головку упорного рельса, определяемая отношением сил «препятствующих» подъёму колеса, к силам, «вызывающим» этот подъём, является правильной лишь при использовании уравнений моментов сил относительно точек контакта колёс с рельсовыми нитями, где гарантированно соблюдается условие $N_1 \cos \alpha > N_2$, что соответствует физическому смыслу решения инженерной задачи [6].

Новизну (отличительная особенность) исследований представляют построенные графические зависимости реакций рельсовых нитей от вариации угла наклона профиля гребня колеса, рамных сил и коэффициента трения скольжения колёс относительно поверхностей контактов рельсов, позволившие обосновать методы расчёта реакций рельсовых нитей при вкатывании обездвиженного колеса на головку упорного рельса. Полученные результаты исследований являются новой ступенью в разработке данной проблемы.

Преимущество (значимость) данной методики – возможность достоверной оценки устойчивости при вкатывании обездвиженного колеса на головку упорного рельса.

В перспективе полученные результаты исследований позволяют обоснованно выполнить расчёты устойчивости пути против поперечного сдвига под поездом.

Литература

1. Туранов Х.Т. Построение динамических моделей устойчивости колеса колёсной пары грузового вагона при вкатывании на головку рельса / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов // Транспорт: наука, техника и управление. – 2011. – № 7. – С. 8–14.
2. Туранов Х.Т. Математическое моделирование реакции рельсовых нитей при опускании колеса на головку рельса / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов, А.А. Ватонин // Транспорт: наука, техника и управление. – 2011. – № 11. – С. 33–39.
3. Туранов Х.Т. Математическое моделирование реакции рельсовых нитей при вкатывании обездвиженного колеса на головку рельса / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 4. – С. 19–24.
4. Тимухина Е.Н. Математическое моделирование нагруженности колёсной пары вагона с несимметрично размещённым грузом при воздействии пространственной системы сил / Е.Н. Тимухина, А.Р. Якупов // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2011. – № 7. – С. 15–19.
5. Туранов Х.Т. Математическое моделирование рамных сил при движении подвижного состава с несимметрично размещённым грузом / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов, А.А. Ватонин // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2011. – № 11. – С. 15–21.
6. Туранов Х.Т. Вычисления реакции рельсовых нитей при опускании нагруженного колеса на головку упорного рельса на основе построенных математических моделей / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов, А.А. Ватонин // Транспорт Урала. – 2011. – № 4. – С. 34–39.

7. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган. Под ред. М.Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
8. Шахуньянц Г.М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Г.М. Шахуньянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
9. Расчёты и проектирование железнодорожного пути: Учебное пособие для студентов вузов ж. – д. трансп. / В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др. // Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. – М.: Маршрут, 2003. – 486 с.
10. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ–ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.
11. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава / Г. Марье. // – Л.: Госжелдориздат, 1933. – 334 с.
12. Хусидов В.В. Метод оценки безопасности движения по запасу устойчивости колеса против схода с рельса / В.В. Хусидов // Труды 3-й науч.-практич. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2002. – С. V –58.
13. Иванов Д.В. Метод оценки безопасности движения по запасу устойчивости колеса против схода с рельса / Д.В. Иванов, А.Г. Петров [и др.] // Труды 11-й науч.-практич. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2010. – С. XV –1-5.
14. Блохин Е.П. Современное состояние с износом колёс грузовых вагонов и гребней колёс локомотива на железных дорогах Украины и России / Е.П. Блохин, С.В. Мямлин [и др.] // ВІСНИК Східноукраїнського національного університету. НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ, № 12 (166). Ч. I. 2011. – С. 30 – 34.
15. Яблонский А.А. Курс теоретической механики / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. С-Пб.: Издательство «Лань», 1998. – 768 с.
16. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики / Н.Н. Бухгольц. М.: Наука, 1967. Ч. I. – 460 с.
17. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. М.: Наука, 1983. – 640 с.
18. Кирьянов Д. Самоучитель MathCAD 13 / Д. Кирьянов. СПб.: БХБ-Петербург, 2006. – 528 с.

Сведения об авторах

Туранов Хабибулла Туранович, доктор технических наук, профессор УрГУПС, Почётный железнодорожник
620034. г. Екатеринбург. ул. Колмогорова, 66
Тел.: + 7 963 035 31 89 (моб.), 8 10 343 367 44 03 (дом.)
E-mail: turanov@inbox.ru; khturanov@yandex.ru;

Якупов Айрат Равилевич, аспирант УрГУПС
620034. г. Екатеринбург. ул. Колмогорова, 66
Тел. +7 902 265 89 05 (моб.)
E-mail: Ya.airat@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СБОИ И ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Кандидат техн. наук, доцент **Тимухина Е. Н.**,
(Уральский государственный университет путей сообщения)

TECHNOLOGICAL FAILURES AND PROBLEMS IN CALCULATION AND ENSURANCE OF FUNCTIONAL RELIABILITY OF RAILWAY STATIONS

Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Timukhina E. N.**,
(Ural State University of Railway Transport)

Железнодорожная станция, путь, перегон, поезд, имитационная модель, операция, прогнозирование, управление, прием, отправление, преследование, выполнение, информационная система, ИСТРА.

Railway station, track, span, station, simulation model, operation, prediction, control, reception, departure, proceeding, accomplishment, information system, ISTR.

В статье ставится проблема надежности работы железнодорожных станций. Выявляется техническая и функциональная проблемы возникновения технологических потерь, представляющие собой необходимость совершенствования методов расчета взаимосвязанного комплекса креплений и повышения функциональной надежности станций, что снижает уровень технологических потерь от технологических сбоев.

The article poses the problem of reliable performance of railway stations. Technical and functional problems of technological losses are revealed, which represent the necessity, respectively, of improvement of the interrelated fastenings and enhancement of functional reliability of stations, this reducing the level of technological losses from technological failures.

Рыночная экономика требует, чтобы экономическое взаимодействие обеспечивалось надежными и эффективными транспортными связями. Особое внимание при этом следует уделять надежности работы железнодорожных станций. Именно здесь обнаруживаются технологические потери от разного рода сбоев в работе. Технологические сбои, такие как сход подвижного состава или выход из строя средств автоматизации, снижают работоспособность станции и ведут к экономическим потерям. Нарушение крепления и сдвиг груза при роспуске с горки вызывает дополнительную маневровую и грузовую работу и приводит зачастую к несоблюдению срока доставки.

Устранить полностью возможность технологических сбоев в ближайшее время не представляется возможным. В последние десятилетия не вкладывались достаточные инвестиции для своевременного обновления технических средств в путевом, вагонном и локомотивном хозяйстве, а также в хозяйстве автоматики и телемеханики. По оценке экспертов, из-за технологических сбоев железнодорожные станции теряют 10-15% своей производительности. Поэтому стоит двусторонняя задача:

- а) техническая – снизить вероятность технологических сбоев;
- б) функциональная – снизить негативные последствия от разного рода сбоев на станциях.

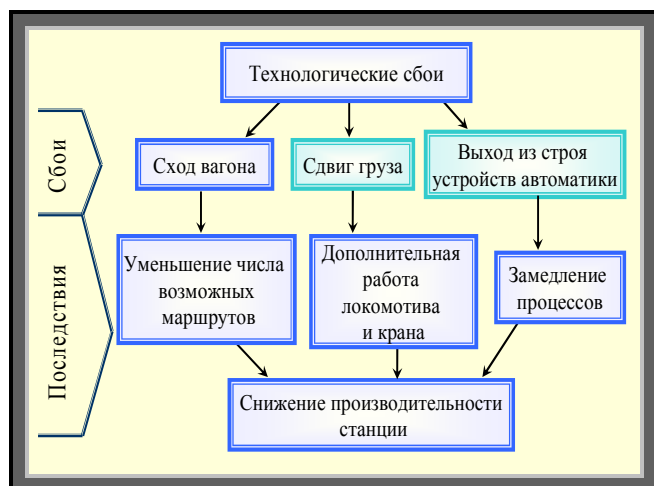


Рис.1. Технологические сбои и их последствия

Технологические сбои и их последствия

Экономическое взаимодействие производственных систем должно сопровождаться надежными и эффективными транс-

портными связями. Для этого транспортная инфраструктура должна быть хорошо развита, а технологические функции всех подразделений железнодорожного транспорта должны выполняться качественно и с должной надежностью. Однако существуют технологические сбои, которые могут приводить (или не приводить) к уменьшению функциональных возможностей. Основные технологические сбои сводятся к трем группам (рис.1).

Наибольшее значение имеют две последние группы. Поэтому более подробно будут рассмотрены вопросы крепления груза и состояния надежности средств автоматизации.

Состояние и методы расчета надежности средств автоматизации

Надежность функционирования систем автоматики существенно связана с отказами средств железнодорожной автоматики (ЖАТ). Отказы пока что нельзя назвать явлением исключительным (рис. 2).

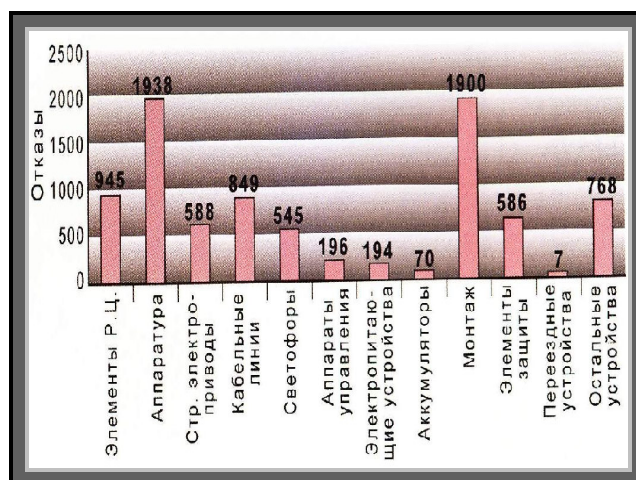


Рис. 2. Распределение отказов по дорогам и объектам

Проблемой является относительно низкая надёжность и недостаточная контролепригодность основного объёма, так называемых «традиционных средств ЖАТ», требующих применения весьма трудоёмкого и недостаточно эффективного планово-предупредительного метода технического обслуживания. По экспертным оценкам, эти работы, занимающие до 80 % всего рабочего времени линейных работников дистанций СЦБ, вызывают до 50% всех отказов (так называемые «по слепопрофилактические отказы»). В ряде случаев низкое качество этих изделий, приводит к преждевременному выходу их

из строя. Ограниченный объем финансирования хозяйства АТ не позволяет одновременно решить все его проблемы.

К одной из основных проблем относится износ основных фондов. Системы и устройства эксплуатируются на сети с превышением нормативного срока. *Это 76 % стрелок ЭЦ, 48 % автоблокировки, более половины линейных пунктов систем ДЦ и ДК, 33 % вагонных замедлителей и почти половина компрессорных установок в горочном хозяйстве.*

Широкое применение в теории надежности нашли различные численные показатели надежности [1]. В качестве показателей надежности используются показатели, характеризующие надежность реализации функций системы, опасность возникновения в системе аварийных ситуаций. При рассмотрении показателей следует различать единичные и комплексные показатели надежности.

Следует отметить еще такие широко распространенные показатели безотказности, как интенсивность отказов и параметр потока отказов системы. Они определяются условной плотностью вероятности возникновения отказа, соответственно восстанавливаемой или невосстанавливаемой системы или ее элемента для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

В общем случае вероятность успешного выполнения заданной процедуры определяется надежными свойствами элементов, выполняющих заданную процедуру. Если предположить, что успешное функционирование системы и персонала при выполнении заданной процедуры – события независимые, то вероятность успешного выполнения заданной процедуры L_i

определяют выражением

$$L_i = L_{mc_i} L_{noi} L_{pi} \quad (1)$$

где L_{mc_i} – вероятность успешного функционирования технических средств;

L_{noi} – вероятность успешного функционирования программного обеспечения;

L_{pi} – вероятность успешного функционирования персонала.

Методы исследования и оценки надежности технических средств и технологических процессов обработки информации можно разделить на 4 группы: аналитические, экспериментальные, основанные на статистическом моделировании, комбинированные.

Под аналитическим исследованием надежности некоторой системы понимают расчет ее надежности на основе данных о надежности компонентов, структуре, условиях функционирования и режиме обслуживания. Отличительной чертой *экспериментальных методов* является то, что они не требуют знания о надежности свойств компонентов системы. *Методы статистического моделирования*, как и аналитические, требуют наличия данных о надежности компонентов. Метод статистического моделирования состоит в генерировании (с помощью случайных чисел) случайных отрезков времени безотказной работы и времени восстановления отдельных компонентов, т.е. искусственного воспроизведении процесса функционирования системы выхода.

Технические средства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) непосредственно обеспечивают безопасность движения поездов. Они решают две основные задачи: управление движением поездов на станциях и перегонах и обеспечение безопасности поездных и маневровых передвижений. Отказы в этих системах создают предпосылки появления опасных ситуаций, ведущих к авариям и катастрофам. Известные методы моделирования отдельных устройств СЖАТ на уровне описания дискретных автоматов наиболее полно рассмотрены в работах В. В. Сапожникова и Вл. В. Сапожникова. Эти методы применимы для качественной оценки безопасности технических средств.

Проблемы крепления грузов на открытом подвижном составе и исследования по этой проблеме

Наибольшую угрозу безопасности движения поездов и, соответственно, наибольшие издержки создают нарушения качества погрузки, которые выявляются на станциях, особенно

при маневровых соударениях и в составе поездов во время движения.

Характерным браком при перевозке машин и оборудования является удлинение растяжек и, как правило, продольный сдвиг как всего груза, так и отдельных его единиц. Действующие ТУ устанавливают способы размещения и крепления машин, отвечающих вполне определенному перечню, но к перевозке предъявляется много грузов, не предусмотренных ТУ, и поэтому на каждый такой груз отправителю необходимо выполнить расчет крепления. Несмотря на то что расчеты и чертежи рассматриваются и утверждаются службами ОАО «РЖД», нередко встречаются случаи расстройств крепления, особенно *при соударениях вагонов во время роспуска на сортировочных станциях.*

Обобщая результаты анализа расстройств крепления грузов, можно отметить, что нарушения крепления грузов по ТУ и неточность методики п.10.5.3 главы 1 ТУ [2] связаны с раздельным вычислением усилий в растяжках от действия продольных и поперечных сил инерции. Это приводит к расстройству размещения и крепления в пути следования, особенно при маневровых соударениях, и является причиной несохранной перевозки грузов, которые могут привести к угрозе безопасности движения поездов.

Целый ряд работ, посвященных определению усилий в элементах креплений грузов на открытом подвижном составе, выполнен учеными ВНИИЖТа, ряда транспортных ВУЗов, проектного и научно-исследовательского института транспортного строительства (ВНИИС).

Вопросы крепления грузов на вагоне с использованием действующей методики расчета крепления грузов (ТУ) изучены в работах докторов технических наук А.Д. Малова, В.К. Бешке-то, В.В. Повороженко, А.А. Смехова, Л.О. Грачевой, П.С. Анисимова и других.

Обзор отечественного и зарубежного опыта показывает, что вопросам совершенствования способов размещения и крепления грузов на подвижном составе посвящены многие работы. Анализ исследований позволяет сделать вывод о необходимости дифференцированного подхода к вопросам крепления груза с учетом его особенностей, тогда как существующие методы расчета крепления грузов не учитывают многие важные факторы. Поэтому *возникает необходимость усовершенствования существующей методики расчета крепления грузов.*

При перевозке грузов по железной дороге выбор способа размещения, выполнения чертежей и расчетов по закреплению грузов, не предусмотренных общесетевыми техническими условиями, является обязанностью грузоотправителя, который не всегда имеет квалифицированных специалистов для выполнения этой работы. Кроме того, выполнение расчетов крепления грузов требует от разработчика значительных затрат времени, использования большого количества справочной литературы. Большой опыт в оказании помощи клиентам железной дорогой в выборе способов перевозки грузов, их размещении и креплении накоплен в Германии [3-6]. На железных дорогах в Германии сформирована специальная консультационная служба. Она осуществляет помощь клиентуре по надлежащему применению технических условий размещения и крепления грузов на подвижном составе.

Решению задач автоматизации расчетов по выбору способов размещения и крепления грузов посвящены труды ряда других авторов. Большая работа под научным руководством профессора В.А.Болотина. Следует отметить, что в соответствии с действующими ТУ в расчетах система “груз – крепление – вагон” принимается как статически определяемая система, что не в полной мере соответствует действительности. В действительности система “груз – крепление – вагон”, где растяжки имеют различную топологию, относится к классу статически неопределимой системы.

Кроме того, при учете усилий предварительных натяжений гибких элементов крепления в системе “груз – крепление – вагон” задача определения усилий в элементах крепления из разряда плоской системы переходит в разряд пространственной системы, где количество неизвестных будет превышать число уравнений равновесия.

Таким образом, *определение усилий в гибких элементах крепления грузов на открытом подвижном составе представляет собой достаточно сложную и до настоящего времени в полном объеме не решенную прикладную задачу.* Усо-

вершенствованный метод расчета крепления груза должен обеспечить необходимую надежность креплений, направленную на сохранную перевозку грузов в пути следования, отсутствие повреждений элементов вагонов с безусловным соблюдением безопасности движения поездов, а также *снизить до минимума технологические потери в работе станций.*

Начиная с 1989 г. группой ученых под научным руководством проф. А.В. Александрова и проф. В.Б. Зылева [7] проведены исследовательские работы по изучению максимального значения продольного ускорения, возникающего при маневровых соударениях вагонов. В этих работах было показано, что использование более легкого ударяемого вагона в ряде случаев может оказаться предпочтительным с точки зрения оценки прочности крепления и сохранности самого груза, что противоречит действующим ТУ. В этой части ТУ следует пересмотреть. Группой исследователей под научным руководством проф. Х.Т. Туранова предлагается новый подход к расчету крепления грузов на открытом подвижном составе с использованием основных положений и принципов прикладной механики с широким применением вычислительной среды MathCAD. Результаты этих исследований опубликованы во многих работах [8-12].

Математическая модель креплений груза с подкладками совместно с гибкими и упорными средствами креплений представляют собой достаточно сложную конструкцию не в смысле построения и решения систем дифференциальных уравнений, а в смысле представления сложной механической системы «груз – подкладки – гибкие элементы – упорные бруски».

Таким образом, до сих пор не разработана **адекватная расчетная схема и не построена математическая модель** креплений груза с подкладками совместно с гибкими и упорными элементами, в особенности при движении подвижного состава по кривому участку пути на спуск при воздействии пространственной системы сил. В настоящее время не разработано удовлетворительное математическое описание процессов работы упоров и растяжек, а также динамики груза под воздействием сложной системы сил во время соударения вагонов при роспуске на сортировочных станциях.

Методы расчета технических и функциональных параметров транспортных систем

Транспортные системы, такие как железнодорожные станции и транспортные узлы, имеют сильную структурную и функциональную связность и трудно поддаются расчету. За последние несколько десятилетий накопился опыт применения тех или иных методологических подходов и моделей для расчета и оптимизации транспортных систем.

Строгий анализ показывает, что зачастую методы использовались некорректно. Существовали разные научные школы, которые могли придерживаться различных, а то и противоположных взглядов. Анализ теоретических источников и, в особенности, существующей практики оценки инвестиционных проектов показывает, что значительно переоценивается надежность их технологической основы – расчета технических и технологических параметров и, тем самым, существенно занижается возможный разброс в показателях эффективности транспортной системы [12].

Функциональные параметры железнодорожных станций существенно зависят от организации взаимодействия отдельных элементов и подсистем.

Это - взаимодействие парка приема и горки, выставочного парка и грузовых фронтов, сортировочного парка и вытяжек формирования и, наконец, станции и участка.

Важно правильно оценить опыт технико-экономических расчетов, накопленный в железнодорожной отрасли по определению:

- пропускной и перерабатывающей способности элементов инфраструктуры (станций, перегонов, перегрузочных фронтов и т. д.);
- потребности в постоянных устройствах (главных и станционных путей, платформ и т. д.);
- задержек подвижного состава под технологическими операциями и в их ожидании.

Ввиду важности задачи определения пропускной и перерабатывающей способности ж.-д. станций этой проблемой занимались многие ученые и специалисты.

В.Д. Никитин предложил формулу определения пропускной способности приемоотправочных путей. С.Г. Писарев в исходные формулы для определения пропускной способности путей ввел коэффициент резерва и коэффициент, учитывающий неравномерность движения поездов. И.И. Васильев предложил формулу, в которой содержался коэффициент, учитывающий различные технологические потери в работе станций. Аналогичные формулы дал И.Г. Тихомиров. П.В. Бартенев предложил учитывать несоответствие времени занятия пути одним поездом интервалам в графике движения поездов.

Рассмотренные выше труды ученых железнодорожного транспорта были посвящены аналитическим методам расчета пропускной способности путей. В качестве альтернативного, одновременно разрабатывался и совершенствовался графический способ. В этой связи необходимо отметить работы С.В. Земблинова. Однако графический способ является, графической проверкой возможности пропуска станцией поездов при заданном графике движения.

Зарубежный исследователь, профессор Г. Поттофф, разработал теорию расчета пропускной способности горловин в табличной форме. А.В. Быкадоров осуществил совместное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности на моделях теории массового обслуживания [13].

Основы расчета наличной пропускной способности элементов железнодорожных узлов при колебаниях продолжительности обслуживания рассмотрены В.Я. Негреем [14]. И.Т. Козлов предложил имитационную модель работы участковой станции, которая с достаточной степенью точности отражает работу большинства реальных станций [15].

С.В. Земблинов, К.К. Таль, М.С. Гликман разработали методику расчета потребного числа путей на сортировочных и участковых станциях, в которой пытались установить влияние схем путевого развития. В последующем, В.А. Персианов, Н.С. Усков и К.К. Таль разрабатывали методы моделирования станционных процессов при проектировании станций и узлов [16]. Особое внимание при этом уделялось оценке пересечений маршрутов в горловинах станций.

И в 70-х годах в работах многих авторов продолжались попытки уточнения аналитических формул, в которые вносились эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние различных факторов. По формулам И.Г. Тихомирова число станционных путей предлагалось определять в период сгущенного прибытия поездов на расформирование с расчетным часовым темпом, определяемым из пуассоновского распределения межпоездных интервалов. Однако распределение входящего поездопотока не является универсальной характеристикой, подходящей для получения достаточно точных результатов.

П.С. Грунтов предлагал число поездов в период сгущенного прибытия определять исходя из заданной вероятности беспрепятственного их приема станцией [17]. Н.И. Федотов доказывал целесообразность определения числа путей в приемоотправочных парках с учетом особенностей схем путевого развития с выходом на стоимостную оценку возможных вариантов.

В 70-е годы рамки аналитического определения числа путей и других эксплуатационных параметров расширились благодаря применению теории массового обслуживания. По рекомендациям Н.Н. Шабалина число путей в парке приема подлежало определению исходя из вероятности задержки поездов на подходах к станции и продолжительности задержек. Профессор И.Б. Сотников исследовал не только пуассоновский, но и эрланговский входящий поездопоток, а также эрланговское время обслуживания поездов на станционных путях [18].

Исследовалось также взаимодействие отдельных элементов станционной работы. Определялись прямые и обратные связи, влияющие на показатели работы железнодорожных станций. Значительное влияние колебания потоков оказывают на необходимый резерв пропускной способности элементов железнодорожных узлов. Весьма ощутимо колебания транспортных потоков сказываются на потребном резерве перерабатывающей способности грузовых комплексов.

В последние годы всё более интенсивно для расчёта железнодорожных станций и транспортных узлов используется метод имитационного моделирования, в частности, имитационная система ИСТРА, разработанная профессором П.А. Козловым и развитая далее в его научной школе [19,20,21]. Минтранс РФ планирует включить раздел «Имитационная экспертиза проекта» в типовой состав проекта развития

транспортной инфраструктуры. В Европе это является обычной процедурой при оценке функциональных возможностей транспортной системы.

Задачи исследования

Целью дальнейших исследований становится *повышение функциональной надежности (работоспособности)* железнодорожных станций в условиях, когда существует вероятность технологических сбоев. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- найти способы снижения вероятности технологических сбоев;
- разработать методологию оценки технологических потерь станций при возникновении технологических сбоев различной природы;
- разработать технологические методы повышения функциональной надежности станций при технологических сбоях (рис. 3).



Рис. 3. Пути повышения функциональной надёжности станций при технологических сбоях

Выводы

Подводя итог, можно сформулировать ряд задач для решения проблемы:

1. Функциональная надежность станций в значительной степени определяет технологические параметры всего железнодорожного транспорта. Однако существуют технологические сбои, при которых работоспособность станций снижается. Необходимо выяснить причины и виды такого рода сбоев.
2. Анализ показал, что основными видами сбоев являются сход вагона, отказ средств автоматики и нарушения крепления груза. Технологические потери при этом могут быть различными, однако методики их расчета не существует.
3. Основной причиной выхода из строя устройств автоматики является превышение нормативного срока службы. Вагонный парк также изношен и состояние путевого хозяйства вызывает тревогу. Отсюда и сходы подвижного состава. Проблемы качественного крепления лежат, в основном, в неправильном их расчете.
4. Оценка технологических потерь от разного рода сбоев лучше всего проводить методом имитационного моделирования. Другие методы не подходят из-за сильной структурной и функциональной связности систем железнодорожного транспорта.
5. Необходимо разработать подходы к снижению вероятности сбоев, а также повышению функциональной надежности станций при их возникновении.

Литература

1. Антонов Ю.В., Белов В.П., Голяков А.Д. и др. Надежность и безопасность информационно-управляющих систем (методы оценивания и контроля). - СПб.: ОАО "НИИ ТМ", 2004. – 326

2. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М.: Юртранс, 2003. – 544 с.
3. Bebaden von Güterwagen / Tanicki Tülden.// Deine Bahn. [DB: Deine Bahn]. – 1998. – 26, №2. – С. 84-85. Нем.
4. Bebadetechnik und Ldung – Sicherund / Munzert R.// Deine Bahn. – 1998. – 26, №6. – С. 345-348. – Нем.
5. Rousable Bracing Device said to reduce damage // Traffic Manag. – 1995. – 34, №4. – С. 58-59. – Англ.
6. Zurrmittel zum Verzuren von Lasten! Dolerych V // DNF: Int. Fachzeitschr. Forger, – Lager – and Transporttechn. [DHF: Dtsch/ Hebe – and Forgertechn.] – 1998. – 44, №5 С. 50-60. – Нем.
7. Александров А.В., Зылев В.Б., Соловьев Г.П., Штейн А.В. Численное исследование переходных динамических процессов при соударении вагонов / Строительная механика и расчет сооружений. - М.: Стройиздат, 1989. №5 - С. 14...17.
8. Тимухина Е.Н., Туранов Х.Т. Математическое моделирование сдвига груза при движении подвижного состава по кривому участку пути с учётом воздействия пространственной системы сил, включая силы инерции Кориолиса // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2011. – № 3. – С. 28–32.
9. Тимухина Е.Н., Туранов Х.Т. Математическое моделирование нагруженности гибких элементов креплений груза с подкладкой при воздействии пространственной системы сил // Транспорт Урала. 2011. №. 1. – С. 35–39.
10. Тимухина Е.Н., Туранов Х.Т.. Математическое моделирование совместного закрепления гибких и упорных элементов креплений груза при воздействии пространственной системы сил // Вестник РГУПС. – 2011. – № 1. – С. 30–35.
11. Тимухина Е.Н.. Математическое моделирование динамической деформации гибких элементов крепления груза с упорным брусом при соударении вагона в сортировочном парке // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 2. – С. 88-95.
12. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. - М., Информэнерго, 1994, 80 с.
13. Быкадоров А.В. Системное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций / Автореферат дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. М., МИИТ, 1981, 42 с.
14. Негрей В.Я. Научные основы расчетов и проектирования железнодорожных станций и узлов / Автореферат дис. на соиск. уч. степ. докт.техн.наук. Ленинград, ЛИИЖТ, 1987, 35 с.
15. Козлов И.Т. Пропускная способность транспортных систем. - М., Транспорт, 1985, 214 с.
16. Персианов В.А., Скалов К.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. - М., Транспорт, 1972, 208 с.
17. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. - М., Транспорт, 1986, 247 с.
18. Сотников И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. - М., Транспорт, 1976, 268 с.
19. Козлов П.А., Александров А.Э. Автоматизированный программный комплекс расчета, регистрации и отображения работы сортировочной станции //Железнодорожный транспорт, № 9, 2003. С. 65-67.
20. Козлов П.А., Козлова В.П. Расчет параметров проектируемых транспортных узлов // Железнодорожный транспорт, №7, 2008. С. 36-38.
21. Козлов П.А., Владимирская И.П. Методы оптимизации взаимодействия железнодорожного и морского транспорта // Транспорт РФ, №1 (20), 2009.С 53-55.

Сведения об авторе

Тимухина Елена Николаевна, кандидат техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Управление эксплуатационной работой» УрГУПС 620034. г. Екатеринбург. ул. Колмогорова, 66
Тел. +7 904 985 36 06 (моб.)
E-mail: ETimuhina@uer.usurt.ru

ДИНАМИКА ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕВОЗОК ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ РОССИИ

Аспирант Сулакшин Т. С.
(Государственный университет управления)

THE DYNAMICS OF PRODUCTION AND TRANSPORTATION OF THE MAIN TYPES OF INDUSTRIAL PRODUCE BY RAILWAY TRANSPORT IN RUSSIA

Post-graduate student Sulakshin T. S.
(State University of Management)

Грузооборот, погрузка, средняя дальность перевозки, объем промышленного производства, коэффициент эластичности, проблемы рентабельности железнодорожного транспорта, проблема пропускной способности сети, баланс интересов

Freight turnover, loading, average length of haul, industrial production, elasticity, problems of profitability of the railway transport, problem of capacity of the railways, balance of interests

В статье проведен ретроспективный анализ и изучена динамика грузовой работы железнодорожного транспорта в современной России, выявлен ряд проблем, возникающих в процессе его взаимодействия с отраслями промышленности. Сделана попытка с помощью математических методов оценить значение для экономики железнодорожного транспорта каждого из восьми основных грузов. Обосновывается необходимость увеличения государственной поддержки железнодорожного транспорта.

In the article we made the retrospective analysis and studied the dynamics of freight work of the railway transport in Russia today, we also discovered a number of problems that are concerned with the process of its interaction with industries. An attempt to estimate the value of the railway transport each of the 8 main freights was made by means of mathematical methods. The necessity of increasing government support of the railway transport is proved.

Появление железных дорог в начале XIX в. имело большое значение для интенсификации процессов индустриального развития, освоения отдаленных экономических регионов, ускорения товарооборота во многих странах мира. Промышленная революция XVIII-XIX вв. значительно повысила потребность в перевозках массовых грузов – угля, руды, леса, строительных материалов, удовлетворять которую с успехом стал железнодорожный транспорт, чему способствовало снижение стоимости и существенное увеличение скорости доставки грузов по железным дорогам в отличие от имеющихся ранее способов перевозки.

Возникновению сети железных дорог в России предшествовала острая дискуссия среди специалистов. Сторонники развития железных дорог утверждали, что для страны с обширной территорией железные дороги необходимы, так как только по ним возможно перемещение значительных объемов грузов на дальние расстояния. Отсутствие надежных путей сообщения приводило к чрезмерным дисбалансам в экономике страны – стоимость хлебной продукции в плодородных регионах страны и в преимущественно завозящих ее могла различаться в разы. Председатель Вольного экономического общества Н.С.Мордвинов в 1827 г. утверждал: «Из всех путей сообщения железные дороги могут быть для торговли самыми полезнейшими. Кроме того, что по железной дороге, при равной действующей силе тяжести, перевозится в семь с половиной раз более, чем то же самое совершается по лучшим шоссейным дорогам, еще дороги таковые несравненно выгоднее и перед сообщениями по воде...» [1].

В то же время, некоторые члены российской элиты предполагали, что в сложных климатических условиях эксплуатация железных дорог невозможна. Генерал-майор путей сообщения М.Г.Дестрем, являвшийся сторонником развития в России водных путей, в «Журнале путей сообщения» в 1831 г. писал: «Наш климат не позволяет иметь железные дороги: земля попеременно то мокрая, то мерзлая, и притом на глубине 5 футов делает укладку рельсов ежели несовершенно невозможной, то затруднительной и дорогостоящей...» [2].

Тем не менее, на основании Указа императора Николая I от 15 апреля 1836 г., в 1837 г. было начато и завершено строительство первой железной дороги (Петербург – Царское Село – Павловск), положившей начало формированию сети железных дорог в России.

По мере строительства новых железнодорожных линий, их распространения по территории страны объемы грузовых перевозок увеличивались, постепенно менялась их структура. Если в 60-70-х годах XIX в. в грузообороте железных дорог преобладали хлебные грузы (их доля на отдельных дорогах достигала 50-75%), то к 90-м годам существенно увеличилась

доля промышленной продукции, прежде всего добывающей (каменный уголь, нефть, лесные грузы). К началу XX в. протяженность сети железных дорог превысила 52 тыс. км. В 1900 г. в России железнодорожным транспортом было отправлено 153,7 млн. т грузов, а грузооборот составил 36,5 млрд. т·км. [3].

В XX в. развитие сети железных дорог в России (СССР) продолжилось. Были построены системообразующие железнодорожные магистрали – Транссибирская, Байкало-Амурская, Туркестано-Сибирская. Отечественная сеть железных дорог стала одной из ведущих в мире – «...железные дороги СССР, располагая 11–12% общей протяженности железнодорожных линий мира, выполняли более 50% мирового грузооборота железных дорог...» [5].

В 1990 г. грузооборот железнодорожного транспорта в СССР составил 3717,1 млрд. т·км, было отправлено 3872,1 млн. т грузов (в России в 1991 г. – 1957,3 млн. т). Длина железнодорожной сети в СССР к 1991 г. достигла исторического максимума – 147,4 тыс. км, в том числе в России – 87,6 тыс. км [4].

При этом в XX в. у железнодорожного транспорта появились серьезные конкуренты – трубопроводы и автомобильный транспорт, в результате чего доля железнодорожного транспорта в общем грузообороте транспортной системы страны сократилась с 86,6% в 1940 г. до 46,9% в 1990 г. Однако для перевозки большинства массовых грузов на дальние расстояния, за исключением газа и нефти, тяготеющих к трубопроводному транспорту, железнодорожный транспорт по-прежнему остается основным и безальтернативным.

Исторический процесс, отражающий повышение роли железнодорожного транспорта для экономики и в большой степени для производственной сферы, доказал рациональность принятого в XIX в. решения о начале железнодорожного строительства в России.

Изменение общественно-политического устройства в конце XX в. сопровождалось значительными преобразованиями в экономическом укладе страны. Работа железнодорожного транспорта в новых экономических условиях, его взаимодействие с другими отраслями народного хозяйства усложнились. Одновременно повысился интерес в поиске ответов на следующие вопросы:

- Какую роль сыграл железнодорожный транспорт в социально-экономическом развитии страны в период 1991–2010 гг., имея в виду, прежде всего, эффект для отраслей промышленного производства?

- Как железнодорожный транспорт реагирует на изменение объемов производства промышленной продукции?

– Какие результаты достигнуты во взаимоотношениях железнодорожного транспорта с клиентурой и какие при этом возникают проблемы?

В условиях экономической нестабильности, снижения объемов промышленного производства в России в 90-х годах XX в. грузооборот железнодорожного транспорта и погрузка в период 1991–1998 гг. синхронно снижались (рис. 1) [6,7]. Грузооборот железнодорожного транспорта сократился более чем вдвое – с 2325,9 млрд. т·км до 1020 млрд. т·км. Существенно уменьшились доходы железных дорог, объемы инвестиций в инфраструктуру, стремительно устаревают основные фонды.

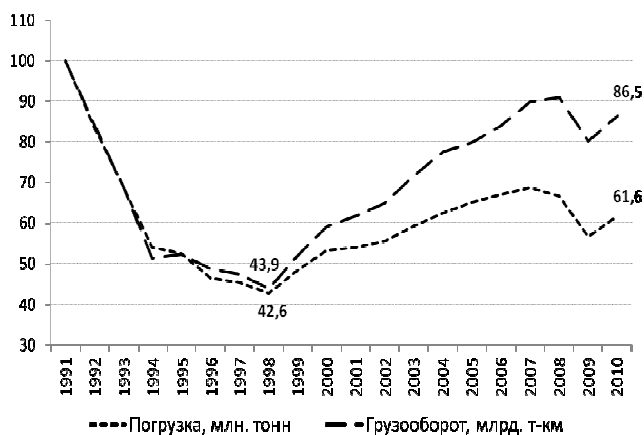


Рис. 1. Динамика погрузки и грузооборота железнодорожного транспорта в России в период 1991 – 2010 гг. (в % к 1991 г.)

С 1999 г. до начала финансово-экономического кризиса в 2008 г. происходило улучшение производственных показателей железнодорожного транспорта. Начало этого процесса было обусловлено оживлением экономики, а также процессом импортозамещения, начавшимся после экономического кризиса и девальвации 1998 г. и способствовавшим росту объемов производства в стране. Далее, по мере либерализации условий экспортной торговли, снижения экспортных пошлин, на фоне роста мировых цен на товары российского экспорта значительно увеличились экспортные грузопотоки.

Следует отметить, что начиная с 1999 г. темпы роста грузооборота стали существенно опережать темпы роста погрузки и разрыв между ними постепенно увеличивался, что связано с увеличением средней дальности перевозки, которая выросла с 1057 км в 1992 г. до ~1500 км в 2009–2010 гг., что является максимальным уровнем для отечественных железных дорог (рис. 2) [8,9].

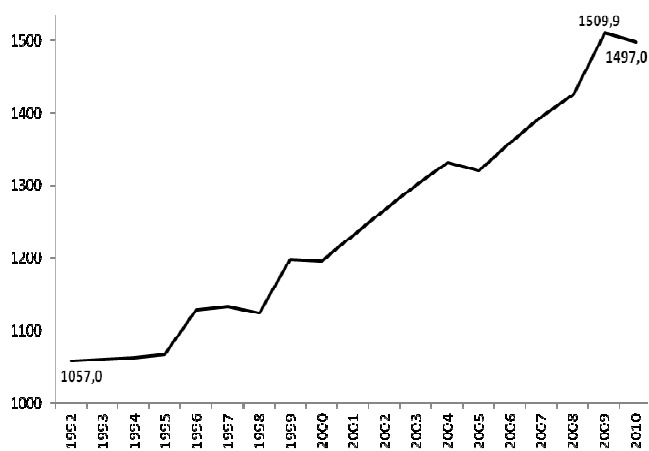


Рис. 2. Изменение средней дальности перевозки грузов железнодорожным транспортом России в период 1992–2010 гг., км

Такая динамика обусловлена увеличением доли сырья в экспортных перевозках, имеющих повышенную дальность, а также переориентацией грузоотправителей на автомобильный

транспорт при отправлении грузов на малые расстояния. Средняя дальность перевозки в 1995–2010 гг. увеличилась практически по всем важнейшим грузам (табл. 1).

Таблица 1.
Изменение средней дальности перевозки грузов в период 1995–2010 гг., % к 1995 г.

Каменный уголь	126,6
Нефть и нефтепродукты	113,9
Руды металлические	106,1
Черные металлы	90,3
Лесные грузы	108,3
Минеральные строительные материалы	113,8
Химические и минеральные удобрения	110,7
Цемент	121,9

Данная тенденция демонстрирует, с одной стороны, повышение роли железнодорожного транспорта в обслуживании отдаленных регионов, где зарождаются экспортные грузопотоки, а с другой – говорит о неблагополучии в развитии внутреннего рынка. Строится мало перерабатывающих предприятий, спрос на сырье в пределах страны не растет, в зарубежные страны в основном вывозится продукция самого низкого передела с наименьшей добавленной стоимостью. Экономика и транспорт становятся более уязвимыми к влиянию мировой экономической конъюнктуры, что, например, обусловило спад ВВП РФ в 2009 г. на 7,8% в годовом сопоставлении.

В результате увеличения экспортных грузопотоков снижаются резервы пропускной и провозной способности железных дорог, портовые мощности не справляются с объемами перевалки экспортных грузов с железнодорожного транспорта на водный, что приводит к возникновению «пробок» на отдельных полигонах железнодорожной сети. В августе 2010 г. на Восточном полигоне сети простаивало более 230 грузовых поездов. Это в значительной степени было связано со сложностями подачи вагонов в порты из-за неритмичной перевалки грузов на морские суда в условиях роста экспортных отправок.

Железнодорожный транспорт способствует развитию промышленности как прямо, удовлетворяя спрос грузоотправителей на перевозки, так и косвенно. Дороги являются крупнейшим потребителем продукции многих отраслей материального производства. По данным Министерства транспорта РФ, ОАО «РЖД», владеющее железнодорожной инфраструктурой, ежегодно потребляет около 1,6 млн. т металлов и металлопродукции [10]. В 2008 г. объем закупок железнодорожных рельсов составил около 900 тыс. т, рельсовых скреплений – более 240 тыс. т, специальной проволоки для производства шпал – более 70 тыс. т. В большом количестве закупалась стальной прокат, стальное литье, чугун и другие виды металлургической продукции [11]. Суммарная доля продукции черной металлургии в структуре материалов, потребляемых ОАО «РЖД», превышает 55%.

Существенную долю занимает потребление строительных (12%) материалов, нефтехимической (3%), лесной и целлюлозно-бумажной (7%) продукции [10]. Железные дороги являются крупными потребителями продукции электротехнической промышленности, машиностроения, информационного и телекоммуникационного сектора. Они потребляют до 6% всей производимой в стране электроэнергии (около 44 млрд. кВт·ч), и 10% дизельного топлива. Таким образом, железные дороги генерируют существенный мультипликативный эффект в основных отраслях экономики.

В то же время, высокая степень государственного регулирования железнодорожного транспорта способствует повышению рентабельности в других отраслях, при этом темпы развития железнодорожной отрасли сдерживаются. Это связано с тем, что динамика грузовых железнодорожных тарифов отстает от роста цен в промышленности в целом и от динамики цен в отраслях, продукцию которых потребляет железнодорожный транспорт (топливная промышленность, черная металлургия, электроэнергетика). В период 1991–2010 гг. железнодорожные тарифы были проиндексированы (повышены) в 92 раза при росте цен в промышленности в 136 раз (рис. 3).

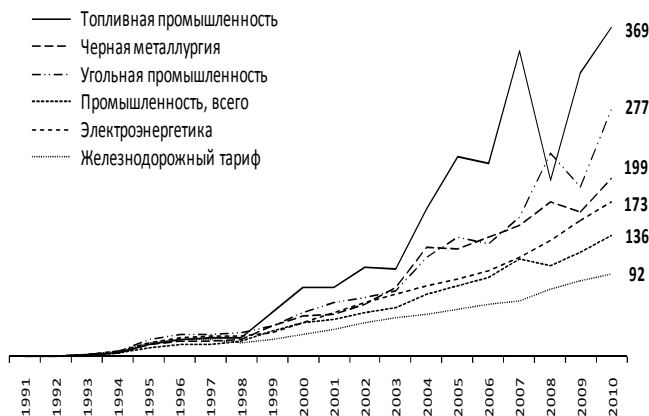


Рис. 3. Динамика индексов цен и тарифов в период 1991–2010 гг., рост к декабрю 1991 г., раз

В черной металлургии цены увеличились в 199 раз, в топливной промышленности – в 369 раз, в угольной промышленности – в 277 раз, в электроэнергетике – в 173 раза [6,7]. Фактически это означает, что железнодорожный транспорт субсидировал указанные отрасли промышленности. В результате рентабельность ОАО «РЖД» оказалась в десятки раз ниже, чем в сырьевых отраслях.

С одной стороны, эта тенденция позитивна для отраслей экономики – основных грузоотправителей, поскольку транспортные издержки для них снижены. По данным ОАО «РЖД», транспортная составляющая в цене товаров, перевозимых железнодорожным транспортом, в период 2003–2009 гг. в среднем снижена с 26,2% до 20%. Отношение расходов на перевозки железнодорожным транспортом к ВВП снижено с 3,6% в 2003 г. до 2,3% в 2009 г. [12].

С другой стороны, железные дороги являются важнейшей инфраструктурной составляющей российской экономики и для эффективного удовлетворения потребностей государства, бизнеса и населения в перевозках темпы их развития должны быть опережающими. Как и в СССР, основной объем грузовой работы железнодорожного транспорта в России в 1991–2010 гг. обеспечивали отрасли промышленного производства. Динамика темпов роста объемов промышленного производства и погрузки на железнодорожном транспорте тесно коррелируют (рис. 4).

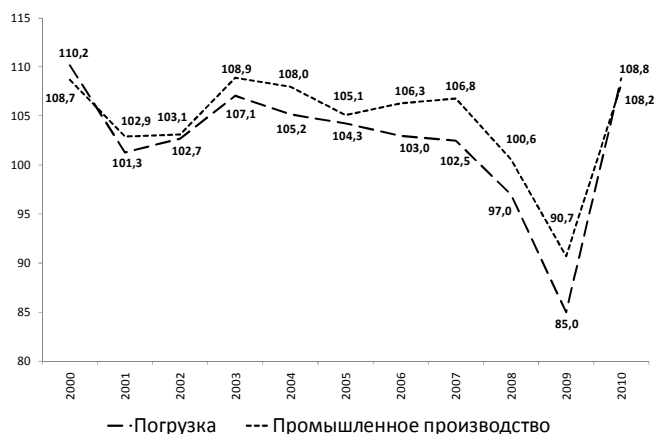


Рис. 4. Динамика объемов промышленного производства и погрузки на железнодорожном транспорте в период 2000–2010 гг. (% к предыдущему году)

При этом производственные показатели железнодорожного транспорта и объемы промышленного производства уровня 1991 г. не достигли. По данным ООН в 2010 г. объем промышленного производства в России составил 74,6% к уровню 1991 г., а общий объем продукции сельского хозяйства – 80,9% [13]. Погрузка и грузооборот железнодорожного транспорта в 2010 г. составили 61,6% и 86,5% к уровню 1991 г. соответственно.

Основную долю (более 80%) в структуре погрузки на железнодорожном транспорте занимают восемь промышленных грузов [7] (табл. 2). Динамика взаимодействия железнодорож-

ного транспорта с грузоотправителями – отраслями промышленного производства, производящими данную товарную продукцию, в период 1991–2010 гг. была различной.

Автором сделана попытка оценить значение для экономики железнодорожного транспорта каждого из восьми основных грузов количественно. Для выявления зависимостей между объемами промышленного производства и погрузкой основных грузов на железнодорожном транспорте большое значение имеет определение коэффициентов эластичности, являющихся важным инструментом экономического анализа.

Таблица 2.
Погрузка на железнодорожном транспорте в 2010 г.
(грузы, занимающие основную долю в структуре погрузки)

Вид груза	Погружено, млн. т	Доля в общей погрузке, %
Нефть и нефтепродукты	252,7	21,0
Каменный уголь	286,3	23,7
Черные металлы	72,7	6,0
Руда железная и марганцевая	101,9	8,5
Химические и минеральные удобрения	45,4	3,8
Строительные грузы	142,5	11,8
Цемент	33,3	2,8
Лесные грузы	41,4	3,4
Другие	229,6	19,0
Всего	1205,8	100,0

Коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов повысится объем погрузки на железнодорожном транспорте товарной продукции при увеличении объема ее производства на 1%.

Пусть зависимость между объемом погрузки и объемом производства описывается функцией

$$z = f(u^{(1)}, u^{(2)}, \dots, u^{(p)}) \quad (1)$$

Коэффициент эластичности $\mathcal{E}_{z/u^{(i)}}$ результирующего показателя Z по объясняющей переменной $u^{(i)}$ формально определяется как логарифмическая производная z по $u^{(i)}$, т. е.

$$\mathcal{E}_{z/u^{(i)}} = \frac{\partial(\ln z)}{\partial(\ln u^{(i)})} = \frac{\partial(\ln f(u^{(1)}, \dots, u^{(p)}))}{\partial(\ln u^{(i)})} \quad (2)$$

Процесс вычисления $\mathcal{E}_{z/u^{(i)}}$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{z/u^{(i)}} &= \frac{\partial(\ln z)}{\partial(\ln u^{(i)})} = \frac{(dz/z)}{(du^{(i)}/u^{(i)})} = \\ &= \lim_{\Delta u^{(i)} \rightarrow 0} \frac{(\Delta z/z) \cdot 100\%}{(\Delta u^{(i)}/u^{(i)}) \cdot 100\%} \end{aligned} \quad (3)$$

демонстрирует, что эластичность $\mathcal{E}_{z/u^{(i)}}$ показателя z по переменной $u^{(i)}$ приблизительно определяет, на сколько процентов изменится значение z при изменении объясняющей переменной на 1%.

Результаты вычисления коэффициентов эластичности по основной номенклатуре грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, приведены в табл. 3.

Расчет коэффициентов эластичности и дальнейший их анализ произведен на основе перечня грузов и сопоставимой продукции по отраслям материального производства с использованием статистических данных Росстата за 1995–2010 гг. (табл. 4).

Таблица 3.
Коэффициенты эластичности связи между погрузкой грузов и производством соответствующей продукции по данным за 1995–2010 гг.

Лесные грузы	1,54
Нефть и нефтепродукты	1,46
Черные металлы	1,13
Руда железная и марганцевая	1,07
Каменный уголь	1,00
Цемент	0,99
Химические и минеральные удобрения	0,72
Строительные грузы	0,29

Таблица 4.
Перечень грузов и сопоставимой продукции, производимой в отраслях экономики

Груз	Продукция	Отрасль	Вид деятельности
Всего погружено и налито	Индекс промышленного производства		
Нефть и нефтепродукты	Первичная переработка нефти	Топливная промышленность	Обрабатывающие производства
Черные металлы	Готовый прокат черных металлов	Рудно-металлургический комплекс	Обрабатывающие производства
Лесные грузы	Вывозка древесины	Лесопромышленный комплекс	Лесозаготовки
Каменный уголь	Уголь	Топливная промышленность	Добыча полезных ископаемых
Руда железная и марганцевая	Железная руда	Рудно-металлургический комплекс	Добыча полезных ископаемых
Химические и минеральные удобрения	Минеральные удобрения	Химическая промышленность	Обрабатывающие производства
Цемент	Цемент	Промышленность строительных материалов	Обрабатывающие производства
Строительные грузы	Материалы строительные нерудные	Промышленность строительных материалов	Добыча полезных ископаемых

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы:

1. Наиболее чутко железнодорожный транспорт реагирует на изменение объемов добычи угля и руды, производства цемента, что обусловлено высоким значением **коэффициента перевозимости** (отношение объема перевозок груза к объему его производства в целом) данной продукции железнодорожным транспортом (на уровне 70–90%). При этом уголь занимает максимальную долю в структуре погрузки грузов (23,7% в 2010 г.). Следует отметить, что уголь занимает большую долю в структуре погрузки и в ряде других стран. Например, в США она составляет около 50%.

2. Наиболее низкая зависимость отмечается между добычей и производством строительной продукции (песок, щебень, цемент и т. д.) и соответствующей погрузкой, что связано с высокой степенью локализации строительства в местах добычи и производства строительной продукции. Кроме этого, данная продукция обладает низкой стоимостью, что делает ее перевозки на дальние расстояния невыгодными. Многие строительные грузы тяготеют к автомобильному транспорту.

3. Максимальные коэффициенты эластичности выявлены между производством нефти, нефтепродуктов, лесной продукции и соответствующей погрузкой, что связано со спецификой конъюнктуры соответствующих рынков. В структуре нефтяных грузов такой тенденции в последние годы способ-

ствует стимулирующая политика: более низкие экспортные пошлины на нефтепродукты по сравнению с экспортными пошлинами на сырую нефть и некоторое повышение глубины ее переработки. При этом коэффициент перевозимости сырой нефти находится на низком уровне – около 8%.

4. По большинству грузов коэффициенты эластичности находятся на высоком уровне, что подтверждает важную роль железнодорожного транспорта для грузоотправителей, отдельных отраслей и экономики страны в целом.

Несмотря на особую значимость железных дорог для промышленности, сельского и лесного хозяйства, во взаимоотношениях железнодорожного транспорта и грузообразующих отраслей сформировался ряд проблем.

Затронутая выше проблема смещения рентабельности за счет развития ОАО «РЖД» в пользу других отраслей ведет к физическому и моральному старению основных фондов и технологий железнодорожного транспорта. По данным ОАО «РЖД», износ основных фондов железнодорожного транспорта составляет свыше 60%, а по тепловозам – более 84%. При этом износ основных фондов по видам деятельности «Добыча полезных ископаемых» и «Обрабатывающие производства», по данным Росстата за 2009 г., значительно ниже – 49,6% и 45,7% соответственно. Износ основных фондов железнодорожного транспорта превышает аналогичный показатель и по промышленности в целом и в 2000-х годах имел тенденцию к увеличению (рис.5) [14].

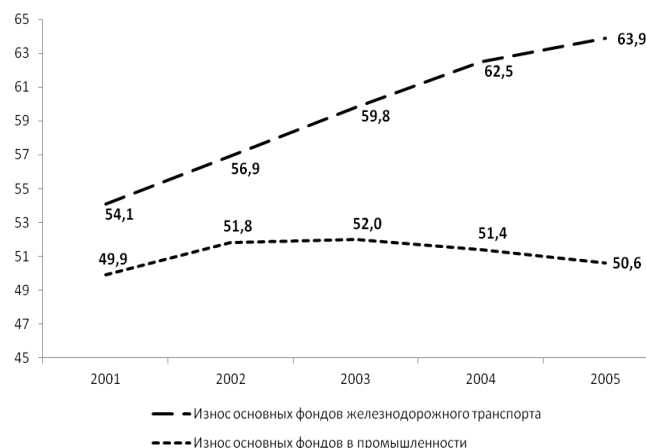


Рис. 5. Износ основных фондов железнодорожного транспорта и промышленности в период 2001 – 2005 гг., % (по данным рейтингового агентства «Эксперт»)

Подобная негативная тенденция сложилась вследствие занижения инвестиционных возможностей железнодорожного транспорта, из-за чего развитие железнодорожной инфраструктуры отстает от динамики растущих потребностей экономики. Объемы инвестиций в железнодорожную инфраструктуру (железнодорожные пути, подходы к морским портам, сортировочные станции и т.д.) недостаточны не только для освоения растущего объема перевозок в перспективе, но и для удовлетворения текущего спроса на грузовые перевозки.

Например, горнодобывающая и металлургическая компания «Мечел» в 2011 г. не могла вывезти 2 млн. т угля и около 140 тыс. т железорудного концентрата на общую сумму около 660 млн. долларов [15]. По данным предприятия, из всего объема поданных заявок на перевозку было удовлетворено около 60%. Другие металлургические, угольные, химические предприятия сталкиваются с аналогичными проблемами. И это происходит при избыточной, по мнению автора, численности парка грузовых вагонов.

При сохранении имеющихся «узких» мест на железнодорожной сети и при отсутствии достаточных средств на развитие новых линий с выходом на Дальний Восток и Северо-Запад в среднесрочной перспективе железнодорожный транспорт не сможет обеспечить вывоз до 70% новой произведенной продукции реального сектора экономики. К 2015 г. объем невывезенных грузов, по оценке ОАО «РЖД», может составить 230 млн. т, в том числе более 30 млн. т угля, почти 30 млн. т нефтяных грузов, 15 млн. т руды, 10 млн. т черных

металлов и 20 млн. т готовой продукции. При этом, по оценке экспертов, с одной невывезенной тонны ВВП РФ недополучит 5,6 тыс. руб. Таким образом, в 2015 г. потери ВВП РФ могут составить около 1,3 трлн. рублей, а с учетом высокого мультипликативного эффекта, который обеспечивает железнодорожный транспорт для смежных отраслей, значительно больше.

Дефицит пропускной способности сети железных дорог усугубляется проблемой высокой доли порожнего пробега (свыше 40%) вследствие децентрализации процесса управления вагонным парком в результате практики полной ликвидации инвентарного вагонного парка, находящегося в ведении ОАО «РЖД». Реализация структурной реформы железнодорожного транспорта, начавшаяся в 2001 г., привела к тому, что в 2011 г. вагонный парк (более 1 млн. единиц) сконцентрирован в частных компаниях и дочерних обществах ОАО «РЖД», логистика которых определяется в первую очередь собственными коммерческими интересами. Потери же российской экономики от этого неуклонно растут.

Главными критериями для грузоотправителей во взаимодействии с железнодорожным транспортом является, во-первых, сама возможность отправить груз в нужное время и в требуемом направлении, а во-вторых, стоимость транспортной услуги. Интерес холдинга «РЖД», в свою очередь, видится в максимально полном и эффективном удовлетворении спроса на транспортную услугу при получении доходов, позволяющих обеспечивать устойчивое воспроизводство основных фондов.

Достижение баланса интересов железнодорожного транспорта и грузовладельцев сложно, но необходимо, в первую очередь для государства: федеральные железные дороги должны работать в интересах не отдельных отраслей и регионов, а эффективно служить транспортными «артериями» экономики страны в целом.

Английский философ и политический деятель Ф. Бэкон (1561–1626) утверждал, что «три вещи делают нацию великой и благоденствующей: плодородная почва, деятельная промышленность и легкость передвижения людей и товаров». Безусловно, данная концепция актуальна и сегодня, особенно в период сложной ситуации в мировой экономике. Администрации многих стран, в том числе США и Китая, разрабатывают масштабные планы по развитию железнодорожной инфраструктуры как фактора устойчивого развития экономики.

Мировой опыт показывает, что поддержка, участие государства в развитии железнодорожной отрасли очень важны. В странах мира в среднем не менее 30 % финансовых поступлений железных дорог составляют средства государства. По данным германского исследовательского агентства SCI Verkehr GmbH, доля государственного финансирования в совокупных доходах железных дорог мира возросла с 25% в 2004 г. до 32% в 2008 г. [16].

Поэтому в России, все еще не вышедшей на траекторию устойчивого социально-экономического развития, в процессах

взаимодействия железных дорог с отраслями экономики, с промышленными предприятиями роль государства должна повышаться. Модернизация экономики страны, качественное изменение ее структуры, формирование новых точек экономического роста будет затруднено без опережающего развития железнодорожного транспорта.

Литература

1. Виргинский В.С. Возникновение железных дорог в России до начала 40-х годов XIX в. – М.: Трансжелдориздат, 1949. С.77
2. Красковский А.Е. Принятие управленческих решений на железнодорожном транспорте: история и современность – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2009. С.29
3. История железнодорожного транспорта России. Т. I: 1836-1917 гг. – СПб., 1994. С.112
4. История железнодорожного транспорта Советского Союза. Т. 3: 1945-1991 гг. – М., 2004. С.612
5. Белов И.В., Персианов В.А. Экономическая теория транспорта в СССР: Исторический опыт, современные проблемы и решения, взгляд в будущее. – М.: Транспорт, 1993. С. 17
6. Интернет портал Федеральной службы государственной статистики РФ www.gks.ru
7. Интернет портал ОАО «РЖД» www.rzd.ru
8. Мачерет Д.А., Чернигина И.А.. Экономические проблемы грузовых железнодорожных перевозок. –М.: МЦФЭР, 2004. С.47
9. Организация перевозок – комплексные решения// Железнодорожный транспорт. 2007. №11.
10. Интернет портал ОАО «Новая перевозочная компания» www.npktrans.ru
11. Стенограмма парламентских слушаний на тему «Итоги проведения третьего этапа реформирования железнодорожного транспорта в 2009 году» от 19 марта 2010 г.
12. Интернет портал информационно-аналитического издания «Столетие» www.stoletie.ru
13. Интернет портал РА «Эксперт» www.raexpert.ru
14. Интернет портал журнала «РЖД-партнер» www.rzd-partner.ru
15. Исследование компании SCI Verkehr GmbH «Worldwide railway funding and investment budgets 2009. Financial resources, investments and economic stimulus packages» Berlin, July 2009

Сведения об авторе

Сулакшин Тимофей Степанович, аспирант Государственного университета управления
Тел.: 499-262-63-77, 916-684-66-76
E-mail: sulakshin@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ШИН НА УПРУГИЕ СИЛЫ ГИБКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЙ КОЛЁСНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ЕЁ ПЕРЕВОЗКЕ НА ОТКРЫТОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Аспирант Гордиенко А. А.

(Уральский государственный университет путей сообщения. УрГУПС)

ANALYSIS OF TYRE DEFORMING EFFECT ON FLEXIBLE FORCES IN FASTENING ELEMENTS OF VEHICLES WHICH TRANSPORT IN OPEN CARS

Post-graduate student Gordienko A. A.

(Urals State University of Railways)

Гибкие элементы креплений, плоская система сил, сдвиг груза по направлению воздействия плоской системы сил, натяжения в элементах креплений, колёсная техника, эквивалентная жёсткость гибких упругих элементов крепления, шины, подставка под ось, коэффициент трения скольжения

Flexible fastening elements, flat force system, cargo displacement towards the action of flat force system, stretches in fastening elements, wheeled vehicles, equivalent rigidity of flexible fastening elements, tyres, stand for wheeled vehicle's axle, coefficient of sliding friction

В статье приведен пример расчёта по обоснованию технологии размещения и крепления колёсной техники (автокрана) на открытом подвижном составе при её перевозке с накаченными и спущенными шинами. Изложены результаты вычислительных экспериментов по определению упругих сил в гибких элементах креплений груза и его сдвига, выполненных с учётом их количества, характера деформации шин колёсной техники (спущенные, накаченные), режима движения поезда при воздействии на груз плоской системы сил. Отмечено, что перевозка колёсной техники со спущенными шинами негативно сказывается на безопасности движения, приводя к возникновению больших сдвигов и разрыву гибких элементов креплений. Особо отмечено, что для того чтобы учесть падение давления в шинах колёсной техники в пути следования, необходимо производить расчёты для случая, когда шины спущены и оси опираются на специальные подставки. Установлено, что при разработке рациональной технологии размещения и крепления колёсной техники на открытом подвижном составе для снижения натяжений в упругих элементах креплений следует увеличивать угол между их проекциями на горизонтальную плоскость и продольной осью.

The article contains example of calculation to validate technology for stowing and securing wheeled vehicles (the crane) on the open rolling stock for transportation with its inflated and deflated tires. The results of computational experiments to determine the elastic forces in flexible elements and lashing his shift, performed with their amounts, the nature of tires deformation of the wheeled vehicles (deflated, inflated), the regime of the train movement when flat force system are acted. It is noted that the transportation of wheeled vehicles with deflated tires impact negatively on traffic safety, leading to large shifts and breaking of flexible fastening elements. Emphasized that it is necessary to make calculations for the case when the tires are deflated and the axes are based on a special stand in order to accommodate the falling of pressure in the tires of wheeled vehicles in transit. It is established that during developing a rational technology for stowing and securing wheeled vehicles on the open rolling stock it should increase the angle between their projections onto the horizontal plane and the longitudinal axis to reduce the tension in flexible elements.

Постановка задачи. В настоящее время существует техническая проблема, связанная с обеспечением надёжного крепления колёсной техники с пневматическими шинами на открытом подвижном составе [1]. Это подтверждают данные анализа работы пунктов коммерческого осмотра (ПКО) станций. Так, например, на ПКО станции Екатеринбург-Сортировочный за предыдущий год было отцеплено 98 вагонов с колёсной техникой. Это второй по частоте род грузов, отцепляемых на ПКО, после лесных грузов (160 вагонов). Основными коммерческими неисправностями при этом являются: ослабление гибких элементов креплений, сдвиг колёсной техники относительно пола платформы. Одной из главных причин этого чаще всего является деформирование шин, которое происходит вследствие снижения давления в них в пути следования, а также при соударениях вагонов.

Общезвестно [2, 3], что на открытом подвижном составе колёсная техника удерживается от сдвигов относительно пола вагона средствами креплений: гибкими упругими (растяжки и обвязки) и упорными (упорные и распорные деревянные бруски) элементами. Причем упорные средства креплений прикрепляют к полу вагона крепежными изделиями (гвоздь) вплотную к колёсам колёсной техники (КТ). При этом ослабление (провисание) гибких упругих элементов креплений и крепление упорных брусков к полу вагона на некотором расстоянии от колёсной техники согласно ТУ не допускается [4].

При перевозке колёсной техники не предусмотренным техническими условиями (далее – НТУ) способом размещения и крепления для предотвращения дополнительных колебаний под её крайние оси обычно устанавливают специальные деревянные подставки, которые крепят к полу вагона крепежными изделиями (гвоздями). Данные подставки служат для предотвращения крена груза (из-за падения давления в колёсах). Эти подставки сколачивают гвоздями из брусков стандартных размеров, в которых делают вырубку для опирания оси по

месту. При перевозке колёсной техники также иногда (при перевозке согласно главе 7 ТУ [5]) используют жёсткие опоры, которые устанавливают под крайние оси и крепят гвоздями к полу вагона. Отличие жёстких опор от подставок состоит в том, что они представляют собой несколько сколоченных брусков небольшой длины, которые устанавливают возле левого и правого колеса одной оси.

Подставки под оси оказывают влияние на колебания груза при спущенных шинах. В математической модели они позволяют учесть характер деформирования шин. Когда шины накачены, кузов колёсной техники по уровню становится немного выше подставки, происходит колебание колёсной техники относительно пола вагона с учётом силы трения скольжения резины по дереву, так как при перевозке колёса затормаживают. Если произойдёт снижение давления воздуха в шинах, то кузов колёсной техники через ось будет полностью опираться на подставку, при этом в математической модели будет учитываться сила трения скольжения оси колёсной техники по подставке. Также примем, что размеры креплений, принятых в расчётах, останутся в двух состояниях одинаковыми, так как величина вертикального смещения кузова при снижении давления воздуха в шинах будет незначительной.

Рассмотрим один из возможных вариантов НТУ технологии размещения и крепления колёсной техники, который показан на рис. 1, где колёсная техника также опирается своими осями на специальные подставки (поз.2).

Учитывая вышеизложенное, проведём анализ влияния деформации шин на сдвиг и на усилия в гибких элементах крепления. На примере технологии крепления, приведённой на рис.1, рассмотрим два состояния колёсной техники при её перевозке: с накаченными колёсами и спущенными колёсами.

а

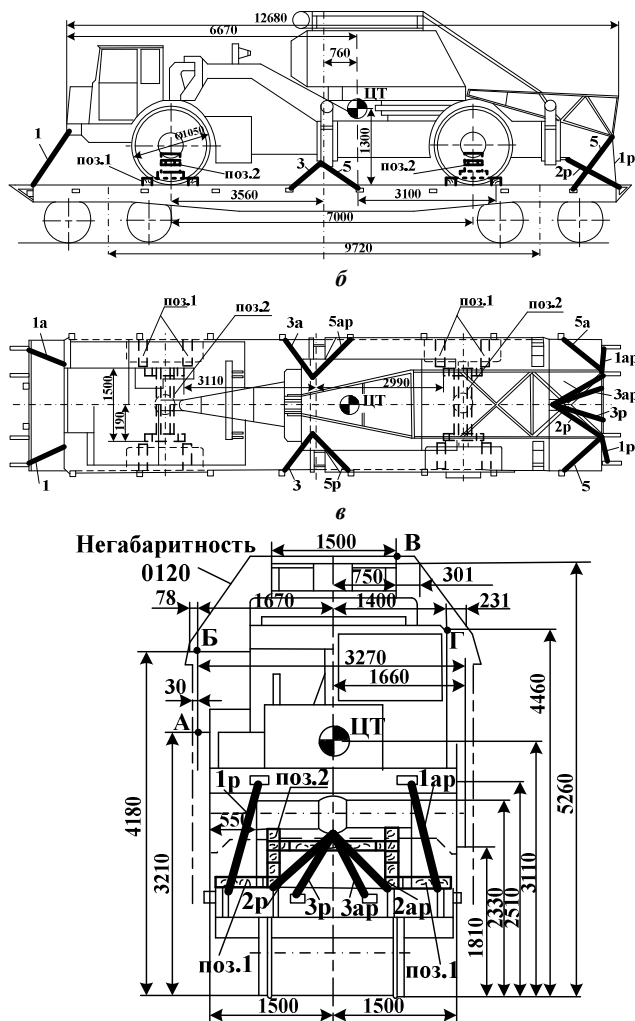


Рис. 1. Технология размещения и крепления колёсной техники (автокрана) на открытом подвижном составе: а - вид спереди, б - вид сверху, в - вид сбоку, 1 - упорные бруски; 2 - специальные деревянные подставки под оси

Принятые допущения. Учитывая, что растяжки и/или обвязки, предназначенные для удержания груза от сдвига, формируются из отожжённой проволоки, которая подвергается предварительному натяжению величиной в пределах от 15 до 25 кН, при воздействии внешних сил они могут испытывать значительные деформации, поэтому моделируются гибкими упругими неупругими связями. Допускаем, что такие связи, согласно аксиоме отвердевания геометрической статики, можно рассматривать как прямолинейные стержни, испытывающие одноосное растяжение. В соответствии с этим коэффициенты жёсткости таких связей можно найти из зависимостей, соответствующих одноосному растяжению прямолинейного стержня [6].

Также будем учитывать, что на груз действует плоская система сил, т. е. на него одновременно воздействуют продольные и вертикальные, поперечные и вертикальные силы.

Вагон движется поступательно со скоростью $\bar{v}_e$ по прямому участку пути с продольным $\bar{a}_x = \bar{a}_{ex}$, поперечным $\bar{a}_y = \bar{a}_{ey}$ и вертикальным $\bar{a}_z = \bar{a}_{ez}$ переносными ускорениями, возникающими в основном от волны неровности пути из-за отклонения норм его содержания.

Гибкие упругие элементы креплений и рама вагона как внешние связи испытывают продольную $\bar{I}_{ex} = \bar{I}_x$, поперечную $\bar{I}_{ey} = \bar{I}_y$ и вертикальную $\bar{I}_{ez} = \bar{I}_z$ переносные силы инерции.

Груз также испытывает силу аэродинамического сопротивления $\bar{F}_{rv}$.

Считаем, что системы сил воспринимаются гибкими упругими элементами креплений, расположенными противоположно действию этих сил, а элементы креплений противоположного направления провисают (т. е. теряют свойства связи).

Методы решения. Воспользуемся принципом освобождения от связей и основным законом динамики относительного переносного движения [2, 3].

Для построения динамической модели груза (объект) в вагоне согласно принципу освобождения от связей [7] от объекта мысленно отбрасывают внешние связи – раму платформы как основную связь и гибкие упругие элементы креплений как дополнительные связи. Влияние отброшенных связей заменяют реакциями $\bar{R}$ (рама платформы) и $\bar{R}_i, \bar{R}_{ai}$ (гибкие упругие элементы креплений одного направления, а другого направления – $\bar{R}_{pi}, \bar{R}_{api}$). Реакцию $\bar{R}$ внешней реальной связи (шероховатая поверхность) разлагают на нормальную $\bar{N}$ и касательную $\bar{F}_\tau$ составляющие, т. е. $\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}_\tau$. Касательную составляющую $\bar{F}_\tau$, направленную по поверхности пола вагона, называют силой трения $\bar{F}_\tau$, определяемой законом Кулона.

К объекту прикладывают активные ($\bar{G}, \bar{I}_{ex}, \bar{I}_{ey}, \bar{I}_{ez}$) и реактивные ($F_{rv}, \bar{N}, \bar{F}_\tau$ и $\bar{R}_i, \bar{R}_{ai}$ или $\bar{R}_{pi}, \bar{R}_{api}$) силы. Активные силы $\bar{G}, \bar{I}_{ex}, \bar{I}_{ey}, \bar{I}_{ez}$ условно (формально) прикладывают к центру масс материальной системы (груза) C , а в действительности их испытывают внешние связи и они направлены от объекта, реактивные силы $F_{rv}, \bar{N}, \bar{F}_\tau$ – к объекту, а реактивные силы гибких упругих элементов креплений одного направления $\bar{R}_i, \bar{R}_{ai}$ ($\bar{R}_{pi}, \bar{R}_{api}$ – другого направления) – от объекта.

Результаты решения. Для примера приведём результаты вычислений в среде MathCAD [8] сдвига груза и упругих сил в гибких элементах креплений груза при значении продольного переносного ускорения $a_{ex} = 1.6g$ с учётом того, что шины накачены (давление в шинах оптимально) и колёсная техника закреплена семью парами растяжек.

Исходные и другие сопутствующие данные приведены ниже. Параметры груза: вес груза $G = 410$ кН; половина высоты груза $H = 1875$ мм; половина ширины груза $B = 1635$ мм; половина длины груза $L = 6340$ мм; коэффициент трения сцепления («резина по дереву») $f = 0,6$; масштаб чертежа $M = 1:50$; половина ширины паза стоечной скобы $B_n = 55$ мм; модуль упругости гибких элементов креплений с учётом скрутки проволоки $E = 1 \cdot 10^7$ кН/м²; диаметр и количество нитей в гибких элементах креплений $d = 6$ мм и $n = 8$ шт.; длина элементов креплений одного направления $l1 = 3,09$ м, $l1a = 3,09$ м, $l2 = 3,09$ м, $l3 = 2,396$ м, $l3a = 2,396$ м, $l5 = 3,351$ м, $l5a = 3,351$ м; длина элементов креплений другого направления $l1p = 2,685$ м, $l1ap = 2,685$ м, $l2p = 2,877$ м, $l2ap = 2,877$ м, $l3p = 2,674$ м, $l3ap = 2,674$ м, $l5p = 2,699$ м, $l5ap = 2,699$ м; начальное натяжение предварительных скруток проволоки креплений $R0 = 17$ кН.

Переносные силы инерции по продольной, поперечной и вертикальной оси, кН, $-I_{ex} = 656$; $I_{ey} = 188,6$; $I_{ez} = 270,6$. Сила аэродинамического сопротивления, кН, $-F_{rv} = 12,776$.

Продольные сдвигающая и удерживающая силы $F_{сд,x} = 410$ и $F_{уд,x} = 214,9$ кН. Продольные силы, воспринимаемые гибкими упругими элементами креплений, $\Delta F_x = 195,05$ кН. Поперечные сдвигающая и удерживающая силы $F_{сд,y} = 117,74$ и $F_{уд,y} = 196,65$ кН. Поперечные силы, воспринимаемые гибкими упругими элементами креплений, $\Delta F_y = -78,9$ кН. Отрицательный знак поперечной силы ΔF_y означает, что сдвигающая сила по величине меньше, чем удерживающая. Сдвиг груза поперёк вагона не происходит.

Эквивалентная жёсткость гибких упругих элементов креплений вдоль вагона $c_{\text{экв},x} = 6.102 \cdot 10^3 \text{ кН/м}$, поперёк вагона – $c_{\text{экв},y} = 4.755 \cdot 10^3 \text{ кН/м}$. Сдвиг груза вдоль вагона $\Delta x = 0.032 \text{ м}$. Сдвиг груза поперёк вагона $\Delta y = -0.017 \text{ м}$. Таким образом, сдвига груза поперёк вагона не произойдёт. Наибольшие упругие силы в гибких упругих элементах креплений груза при воздействии внешних сил вдоль вагона возникают в растяжке $3p R_{\text{пр}3p} = 23,201 \text{ кН}$. Груз от сдвига под действием поперечных сил воспринимается принятым количеством пар креплений, поэтому значения упругих сил в гибких упругих элементах креплений груза имеют отрицательные значения.

Вычислительные эксперименты по определению упругих сил в гибких элементах креплений груза и сдвига груза весом 410 кН были выполнены в среде MathCAD с учётом характера деформации шин колёсной техники (спущенные, накаченные) при одновременном воздействии продольных и вертикальных, поперечных и вертикальных сил как составляющих пространственной системы сил. В экспериментах варьировалось значение продольного переносного ускорения:

$a_{\text{ex}} = 0,7g$ – при служебном торможении подвижного

состава, который движется на спуск; $a_{\text{ex}} = (1,2 \div 2)g$ – при экстренном торможении, торможении вагона с грузом (отцепе) на первой и второй тормозных позициях механизированной горки, оборудованной вагонными замедлителями, или при соударении вагона в подгорочном парке. Также варьировалось количество пар креплений, которыми закреплён груз.

Анализ полученных результатов исследований. Анализируя полученные результаты, можно отметить, что в продольном направлении растяжки нагружены лишь при значении продольного переносного ускорения $a_{\text{ex}} = 1,6g$, что соответствует экстренному торможению поезда, торможению вагона с грузом (отцепе) на первой и второй тормозных позициях механизированной горки, оборудованной вагонными замедлителями, соударению вагона в подгорочном парке. Отрицательные знаки сдвигов груза означают, что груз от сдвига под действием продольных (поперечных) сил, воспринимаемых принятым количеством пар креплений, удерживается упругими силами гибких элементов креплений. В этом случае гибкие элементы креплений не нагружены.

На основании результатов расчётов построены зависимости изменения продольного сдвига груза (рис. 2) и поперечного (рис. 3) при вариации количества гибких элементов креплений колёсной техники для накаченных и для спущенных шин.

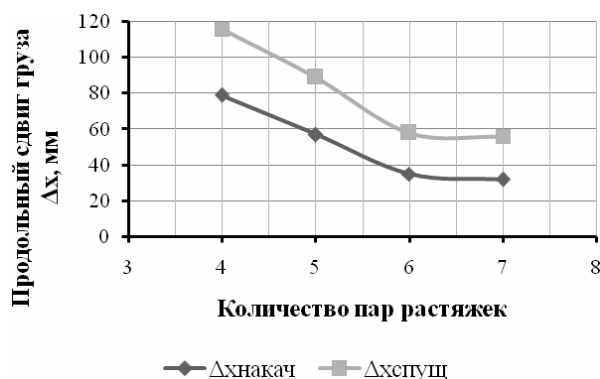


Рис. 2. Графики зависимостей продольного сдвига колёсной техники от количества креплений при её перевозке с накаченными и спущенными шинами

Анализ рис. 2 показывает, что при любом количестве креплений колёсной техники её продольный сдвиг при спущенных шинах, при опирании осей на подставку, будет больше, чем при накаченных. Значение сдвига в обоих случаях будет меньше допустимого (130 мм [2]).

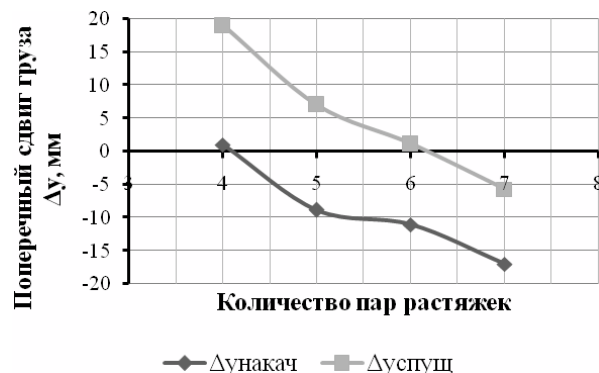


Рис. 3. Графики зависимостей поперечного сдвига колёсной техники от количества креплений при её перевозке с накаченными и спущенными шинами

Анализ графической зависимости, приведённой на рис. 3, показывает, что при любом количестве креплений колёсной техники её поперечный сдвиг при спущенных шинах, будет больше, чем при накаченных. Значение сдвига в обоих случаях будет меньше допустимого (30 мм [2]). Из графика видно, что при перевозке колёсной техники с накаченными шинами поперечный сдвиг становится положительным лишь при креплении данного груза четырьмя парами растяжек, тогда как при перевозке со спущенными шинами сдвиг происходит даже при креплении шестью парами растяжек.

Ниже на графиках приведены зависимости изменения натяжений в креплениях от их количества для двух состояний колёсной техники при перевозке: с накаченными (рис. 4) и спущенными (рис. 5) шинами.

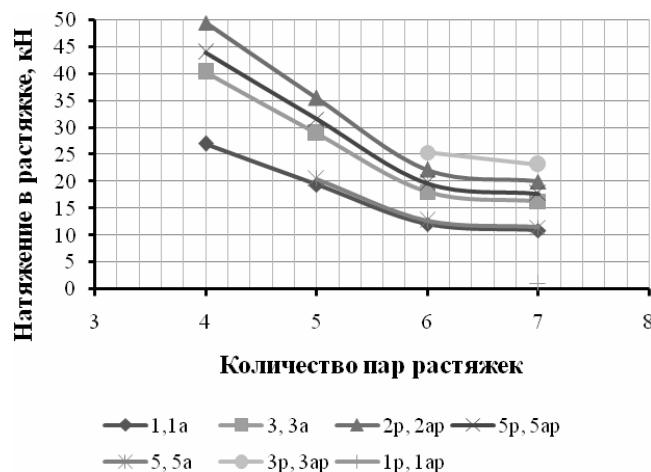


Рис. 4. Графики зависимостей натяжений в растяжках от количества креплений колёсной техники при её перевозке с накаченными шинами

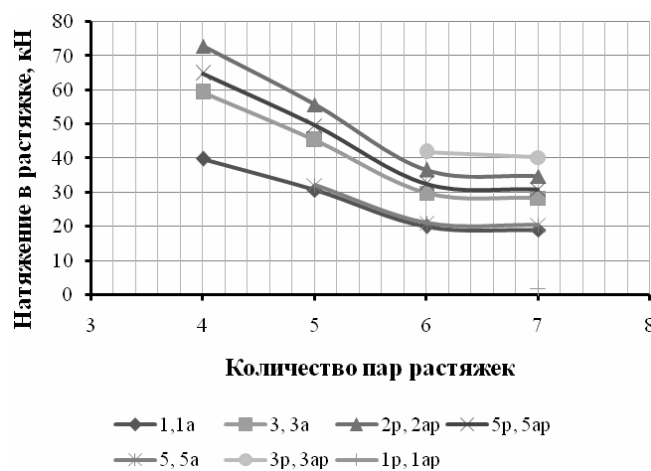


Рис. 5. Графики зависимостей натяжений в растяжках от количества креплений колёсной техники при её перевозке со спущенными шинами

Из графиков видно, что наибольшее усилие при креплении семью и шестью парами растяжек колёсной техники с накаченными и спущенными шинами имеют растяжки $3p$, $3ap$, а при креплении пятью и четырьмя – $2p$, $2ap$. Данные растяжки характеризуются тем, что имеют более пологие углы между продольной осью и их проекциями на горизонтальную плоскость среди остальных растяжек.

Особо отметим, что при накаченных шинах рассмотренную колёсную технику рекомендуем крепить пятью парами растяжек, т. к. натяжение в растяжках не будет превышать допустимого значения (41,8 кН с учётом предварительной скрутки проволоки). При перевозке колёсной техники со спущенными колёсами натяжения в растяжках станут меньше допустимого значения лишь при креплении семью парами растяжек, при меньшем количестве креплений произойдёт разрыв некоторых из них.

ВЫВОДЫ

1. Выполнены расчёты по обоснованию технологии размещения и крепления колёсной техники (автокрана) на открытом подвижном составе при её перевозке с накаченными и спущенными шинами. Построены зависимости сдвигов груза, натяжений в упругих элементах креплений с учётом этих состояний.

2. Вычислительные эксперименты показывают, что при любом количестве креплений колёсной техники её продольный сдвиг при спущенных шинах, при опирании осей на подставку, будет больше, чем при накаченных. Значение сдвига в обоих случаях будет меньше допустимого.

3. Расчётами выявлено, что при любом количестве креплений колёсной техники её поперечный сдвиг при спущенных шинах будет больше, чем при накаченных. Значение сдвига в обоих случаях будет меньше допустимого. При перевозке колёсной техники с накаченными шинами поперечный сдвиг становится положительным лишь при креплении груза четырьмя парами растяжек, тогда как при перевозке со спущенными сдвиг происходит даже при креплении шестью парами растяжек.

4. Вычислительными экспериментами установлено, что наибольшее усилие при креплении семью и шестью парами растяжек колёсной техники с накаченными и спущенными шинами имеют растяжки с более пологими углами между продольной осью и их проекциями на горизонтальную плоскость (например, растяжки с номерами $3p$, $3ap$ и $2p$, $2ap$ среди остальных).

5. Расчёты показывают, что в продольном направлении растяжки нагружены лишь при значении продольного переносного ускорения $a_{ex} = 1,6g$, что соответствует экстремному торможению поезда, торможению вагона с грузом (отцепа) на первой и второй тормозных позициях механизированной горки, оборудованной вагонными замедлителями, соударению вагона в подгорочном парке.

Таким образом, исследования показали, что перевозка колёсной техники со спущенными шинами при опирании её осей на специальные подставки приводит к угрозе безопасности движения, повышая вероятность возникновения коммерческих браков. Для транспортирования колёсной техники с накаченными шинами требуется меньшее количество креплений, что снижает эксплуатационные расходы на материал для их изготовления. Однако для того чтобы учесть деформирование шин колёсной техники в пути следования, рекомендуется

производить расчёты для случая, когда шины спущены и оси опираются на специальные подставки. Также следует отметить, что при разработке технологии размещения и крепления колёсной техники на открытом подвижном составе для снижения натяжений в упругих элементах креплений следует увеличивать угол между их проекциями на вертикальную плоскость и продольной осью.

Новизну (отличительную особенность) исследований представляют разработанная модель открытого подвижного состава с колёсной техникой, в которой учитывается влияние характера деформирования шин (накаченные, спущенные) при её перевозке.

Преимущество (значимость) данной модели – возможность решения технической проблемы расчёта упругих сил в креплениях колёсной техники с учётом состояния её шин и наличия специальных подставок под оси. Результаты исследований могут быть использованы при разработке рациональной схемы погрузки колёсной техники и оценке безопасности её перевозки при воздействии плоской системы сил.

В перспективе полученные результаты исследований окажутся полезными для усовершенствования методики размещения и крепления колёсной техники на открытом подвижном составе.

Литература

1. Гордиенко, А. А. Деформирование шин колёсной техники при её перевозке на открытом подвижном составе / А. А. Гордиенко. // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт – 2011». – Ростов на Дону: РГУПС, 2011. – С. 170 – 173.
2. Туранов, Х. Т. Теоретическая механика в задачах грузовых перевозок: монография / Х. Т. Туранов. – Новосибирск: Наука, 2009. – 396 с.
3. Туранов, Х. Т. Взаимодействие открытого подвижного состава и твёрдотельного груза: Учебное пособие / Х. Т. Туранов. – М: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 374 с.
4. Turanov Kh., Portnova O. Construction dynamical modeling of wheel machinery allocated on a flat-car // Transport Problems International Scientific Journal. Silesian University of Technology. Poland, 2010. V. 5, Issue 2. – p. 71–82.
5. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М.: Юртранс, 2003. – 544 с.
6. Туранов, Х. Т. Математическое моделирование сдвига груза при движении подвижного состава по кривому участку пути с учётом воздействия пространственной системы сил, включая силы инерции Кориолиса / Х. Т. Туранов, Е. Н. Тимухина // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2011. – № 3. – С. 28–32.
7. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. В двух томах / Н. В. Бутенин [и др.] // – СПб.: Издательство «Лань», 1998. – 736 с.
8. Кирьянов, Д. Самоучитель MathCAD 13 / Д. Кирьянов. СПб.: БХБ-Петербург, 2006. – 528 с.

Сведения об авторе

Гордиенко Андрей Александрович, аспирант УрГУПС 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.
Тел. 919-374-84-81 (моб.)
E-mail: gordiii89 @yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАЛОНАГРУЖЕННОЙ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ГРУЗОВОГО ВАГОНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИСТЕМ СИЛ

Доктор техн. наук, профессор **Туранов Х. Т.**
(Уральский государственный университет путей сообщения. УрГУПС)

CONSTRUCTION OF DYNAMIC MODELS OF LOW-LOADED WAGON WHEEL PAIR UNDER THE IMPACT OF SPATIAL FORCE SYSTEM

Doctor Science (Tech.), Professor **Turanov Kh. T.**
(Urals State University of Railways)

Колёсная пара грузового вагона, мало нагруженное колесо, рельсовые нити, пространственная система сил, движение грузового вагона по кривой, динамические модели колёсных пар, реакций рельсовых нитей при вкатывании гребня малонагруженного колеса на головку рельса

Wagon wheel pair, of the crest of low-loaded wheel, track rails, spatial system of forces, movement of wagon on a curve, dynamic models of wheel pairs, track rail reactions during rolling of the crest of low-loaded wheel onto the railhead

В статье выполнен критический анализ известных расчётных моделей устойчивости колёс колёсной пары грузового вагона при воздействии плоской системы сил. При этом обнаружен ряд допущенных при построении динамических моделей неточностей, по причине которых результаты оценки устойчивости колеса на рельсе против вкатывания оказались некорректными. С использованием классических положений теоретической механики из реальной схемы приложения пространственных систем сил на колёсную пару вагона сформированы их динамические модели. Отличительную особенность исследований представляют впервые разработанные динамические модели колёсных пар грузового вагона от воздействия пространственных систем сил при движении по кривой.

The article contains a critical analysis of the known computation models of wheel stability of the wagon wheel under the action of coplanar system of forces. There have been found a number of introduced inaccuracies in construction of dynamic models due to which the results the assessment of wheel stability on the rail against rolling in proved to be inconsistent. By using classical fundamentals of theoretical mechanics from the real system of application spatial system of forces on wagon wheel pair there have been formed their dynamic models. The specific feature of the investigation is the developed for the first time dynamic models of wagon wheel pairs under the action of spatial system of forces movement on a curve.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ

Общезвестно, что устойчивость колёсных пар против схода с рельса (по условию вкатывания) при одноточечных и двухточечных контактах поверхностей катания колёс и рельсовых нитей изучены многими исследователями, однако не было обращено внимание на расчётные модели, соответствующие нагруженным (где не произойдет вкатывание), а не малонагруженным (где не исключается вероятность явного вкатывания) колёсам [1 – 6]. Так, например, в [3] приведены силы, действующие на колесо при двухточечном контакте набегающего колеса с упорной нитью второго колеса с другой рельсовой нитью (рис. 1).

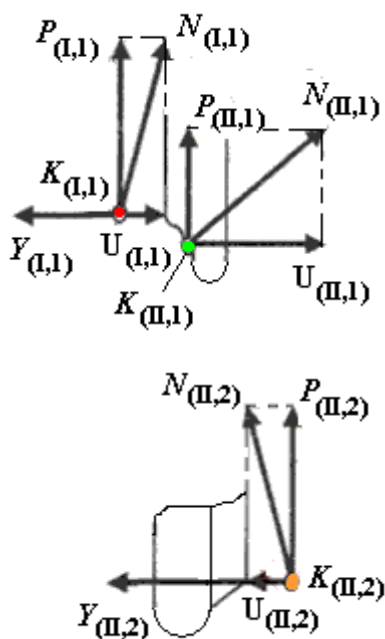


Рис. 1. Реакции связей (рельсовых нитей) на набегающее и другое колесо

На рис. 1 обозначено [3]: $K_{(I,1)}$ и $K_{(II,2)}$ – центры контактов поверхностей катания первого (левого) и второго (правого) колёс и рельсов; $K_{(II,1)}$ – центр контакта поверхности гребня первого (левого) колеса и рельса; $Y_{(I,1)}$ и $Y_{(II,2)}$ – проекции сил трения, возникающие из-за поперечных скольжений левого и правого колёс, на поперечную ось. Остальные обозначения связаны с проекциями нормальных составляющих $N_{(I,1)}$, $N_{(II,1)}$ и $N_{(II,2)}$ реакции связей в точках контакта колёс с рельсовыми нитями на соответствующие оси координат и не требуют разъяснений. Здесь направления сил $Y_{(I,1)}$ и $Y_{(II,2)}$, приняты некорректно, поскольку набегающее колесо в двухточечном контакте полностью прижато к боковой поверхности упорного рельса. Поэтому независимо от того, рассматривается ли случай набегающего или же опускания левого колеса относительно головки упорного рельса, силы $Y_{(I,1)}$ и $Y_{(II,2)}$ с учётом вращения колёсной пары должны быть направлены противоположно скорости движения грузового вагона по продольной оси рельсовых нитей.

Аналогично [3], в [5] в основном смоделированы одно и/или двух контактные задачи, которые возникают при контакте колёс колёсной пары локомотива с рельсовыми нитями без приведения конкретной расчётной модели со всеми действующими на колесо силами. При решении двух контактных задач в [5], по существу, составлены уравнения равновесия реакций двух связей в виде рельса и подпального основания, действующих на колесо, на основе схемы приложения реакций связей, показанной на рис. 2, а, аналогично [3].

На рис. 2 обозначено: γ_1 и β – возможные углы наклонов нормальных составляющих $\bar{N}_1$ и $\bar{N}_0$ реакции внешних связей $\bar{R}_1$ и $\bar{R}_0$ (т. е. в точках контакта наружной упорной нити А) относительно оси Oz; $\bar{F}_{\tau 1}$, $\bar{F}_{\tau 0}$ – касательные составляющие реакции упорной нити, направленные по $\tau - \tau$ (см. рис. 2, а); $\bar{F}_{\tau x 1}$, $\bar{F}_{\tau x 0}$ – касательные составляющие реакции упорной нити, направленные вдоль оси Ox (а не по $\tau - \tau$) (см. рис. 2, б).

Заметим, что силы трения $\bar{F}_{\tau x 1}$ и $\bar{F}_{\tau x 0}$ с учётом вращения колёсной пары должны быть направлены противоположно скорости движения грузового вагона по продольной оси рельсовых нитей (см. рис. 2, б)).

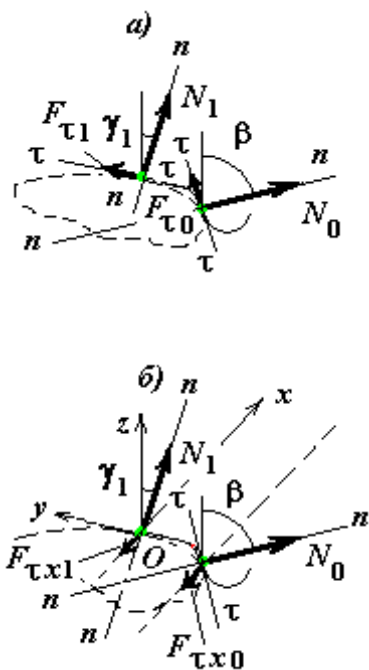


Рис. 2. Реакции связи (упорной нити) на набегающее колесо

Результаты работ [2, 4, 6] опираются на формулу для определения коэффициента устойчивости нагруженного (а не малонагруженного) набегающего колеса против схода с рельса в момент его опускания (а не набегающего) (см. [1]) без её критического анализа. Методы формирования динамических и построения математических моделей на основе реальной схемы приложения плоских систем сил на нагруженную и/или малонагруженную (обезгруженную) колёсную пару грузового вагона с использованием классических положений теоретической механики изложены в [7, 8].

Таким образом, во всех предложенных методах оценки безопасности движения грузовых вагонов не исследованы реакции рельсовых нитей при воздействии на колёсную пару пространственных систем сил (ПСС), позволяющие оценить устойчивость малонагруженной колёсной пары грузового вагона против схода с рельса.

Отметим, что особенности контактного взаимодействия колёс и рельсов с различными профилями изучены на основе метода конечных элементов [9]. Так, например, установлены различные формы контакта колёс с рельсами в зависимости от их различных положений - центральное установление относительно продольной оси рельса (где контакт имеет седлообразную форму) или нецентральное (где контакт имеет форму близкую к эллипсу).

Обобщая результаты известных работ [1 – 9], можно отметить, что до сих пор отсутствуют корректно сформированные динамические модели вкатывания малонагруженной колёсной пары грузового вагона при воздействии ПСС. В соответствии с этим, разработка рекомендации по выбору конкретной динамической модели вкатывания малонагруженного набегающего колеса на головку упорного рельса при воздействии ПСС является актуальной прикладной задачей в отрасли железнодорожного транспорта.

Формулировка задачи. Требуется сформировать динамические модели, позволяющие построить математические модели для определения реакции рельсовых нитей при вкатывании малонагруженного набегающего колеса на головку упорного рельса при воздействии ПСС.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧИ И ПРИНЯТЫЕ ДОПУЩЕНИЯ

Предположим [7], что вертикальные силы $\bar{F}_1$ и $\bar{F}_2$, приложенные к шейкам оси колёсной пары, препятствуют вкатыванию гребня прямолинейной части малонагруженного колеса на головку упорного рельса А под действием рамной силы $\bar{F}_p$ с учётом вращения колёсной пары и воздействия на

неё ПСС. Допускаем, что продольные силы F_x , действующие со стороны автосцепного устройства, в виде составляющих F_3 и F_4 приложены к оси шейки колёсной пары и наклонены относительно касательной к оси пути на угол набегающего α (рис. 3).

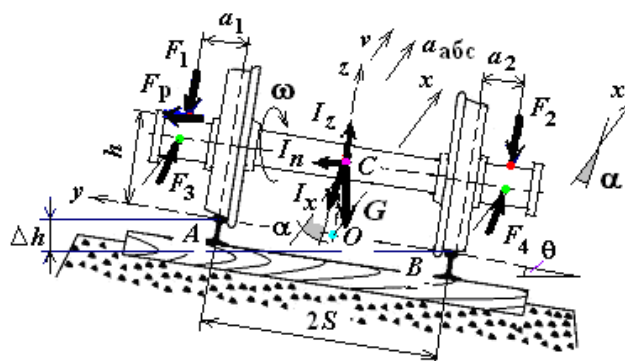


Рис. 3. Схема приложения ПСС на малонагруженную колёсную пару

На рис. 3 обозначено: α – угол набегающего наружного колеса на головку упорного рельса А при движении грузового вагона в основном по кривому участку пути в плоскости Oxy (т.е. угол, который появляется при возможном расположении оси колёсной пары в кривой относительно касательной к оси пути). Синус этого угла определяется как отношение расстояния от контактной точки колеса до центра вращения жёсткой базы тележки x к кривизне рассматриваемой точки кривого участка пути ρ в предположении, что база устанавливается только по хорде и что смещением центра вращения кривой пренебрегается [10].

На рис. 3 также обозначено: G – сила тяжести колёсной пары, кН; F_1 и F_2 – нагрузки от кузова на шейки оси малонагруженной колёсной пары по вертикали, кН; F_p – рамная сила как доля горизонтальной поперечной силы F_y , приходящейся на обезгруженное колесо, кН; h – расстояние от головки рельса до приложения рамной силы, м (обычно принимают 0,54 м, поскольку $h = r_k + r_{ш}$); I_n – нормальная составляющая сила инерции колёсной пары в абсолютном движении, учитывающая её движение с ускорением в поперечном направлении по кривому участку пути, кН [7]; I_x и I_z – силы инерции колёсной пары в абсолютном движении, учитывающие её движение с ускорением вдоль вагона и по вертикали вниз (как неблагоприятный случай для опускания колёса вниз), кН; a_1 – расстояние от центра шейки оси колёсной пары до гребня колеса упорной нити (у четырёхосного грузового вагона принимают 0,264 м) и a_2 – расстояние от центра шейки оси колёсной пары до точки контакта колеса с внутренней рельсовой нитью (принимают 0,168 м); Δh – возвышение наружной рельсовой нити А относительно внутренней В, м; θ – угол, характеризующий возвышение наружной рельсовой нити, рад.; $2S$ – расстояние между точками контакта колёс с рельсами, т.е. расстояние между осями рельсов, м (обычно 1,58 м).

Отметим, что реакции рельсовых нитей на малонагруженную колёсную пару следует определить *постепенно* в соответствии с количеством точечного контакта набегающего колеса с головкой упорного рельса, учитывая, что в процессе движения подвижного состава колёсные пары грузового вагона совершают сложное движение, смещаясь при этом поперёк рельса [11]:

- *одноточечный контакт поверхности катания* набегающего колеса с головкой рельса, когда оси центров дорожек трения колеса и рельса совпадают [11] (*первый этап*);
- *двухточечный контакт набегающего колеса* с упорным рельсом, когда происходят одновременный контакт поверхности катания и наклонной поверхности гребня колеса соответственно с головкой и боковой поверхностью рельса (*второй этап*);
- *одноточечный контакт прямолинейной части гребня* набегающего колеса малонагруженной колёсной пары только с боковой поверхностью упорного рельса [12, 13 – 15] (*третий этап*);
- *одноточечный контакт большого диаметра* набегающего колеса малонагруженной колёсной пары только с головкой

упорного рельса до момента, когда оси центров дорожек трения этого колеса и рельса совпадают, создавая условия для явного схода колёс с рельсовых нитей (*четвёртый этап*).

Допускаем, что первые два этапа контактов колёс с рельсовыми нитями происходят независимо друг от друга в любой момент движения грузового вагона, а третьи и четвёртые этапы – последовательно друг за другом только при возникновении скольжения поверхностей колёс относительно головок как поперёк, так и вдоль рельсовых нитей.

Методы решения. Воспользуемся классическими понятиями и положениями теоретической механики, например, такими, как связи, реакции связи, принцип освобожденности от связей геометрической статики, приведение системы сил к данной точке, момент пары сил [16, 17].

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ [7]

1) Рассмотрим формирование динамической модели вкатывания малонагруженной колёсной пары согласно *первому этапу* на основе классических положений теоретической механики – принципа освобожденности от связей и положения о приведении системы вертикальных сил $\bar{F}_1$ и $\bar{F}_2$ к произвольно выбранным точкам [16].

Будем иметь в виду, что для колёсной пары тележек грузового вагона рельсовые нити A и B являются основными неидеальными и неудерживающими связями, удерживающими её от перемещения в поперечном направлении, т. е. вдоль подрельсового основания (шпал) [18]. Иначе, основное назначение рельсовых нитей A и B как внешних связей – это направление колёс тележек подвижного состава при движении на прямых и в кривых участках пути.

В соответствии со схемой приложения ПСС на малонагруженную колёсную пару грузового вагона (см. рис. 3), аналогично [7], вначале освобождают колёсную пару от рельсовых нитей A и B , заменяя их влияние реакциями пространственно расположенных внешних связей $\bar{R}_1$ и $\bar{R}_2$ (рис. 4).

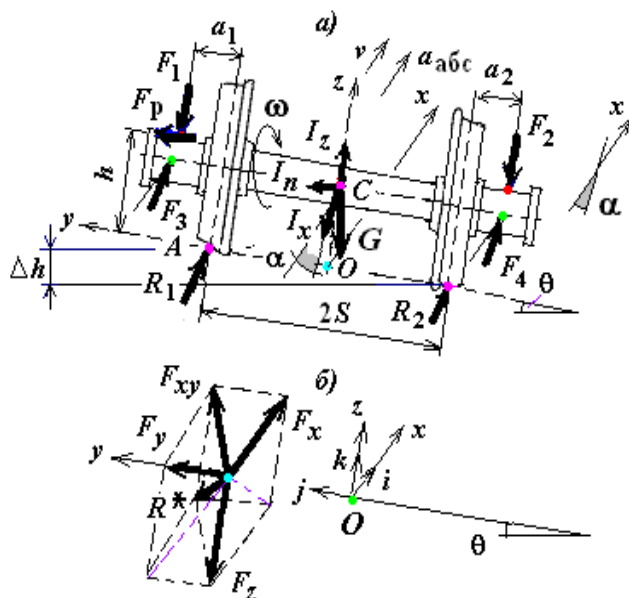


Рис. 4. Промежуточная модель вкатывания при *одноточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары: a – пространственные силы, приложенные к колёсам; b – представление ПСС, приложенных к рельсовым нитям

На рис. 4 обозначено: $\bar{R}_1$ и $\bar{R}_2$ – реакции внешних связей (т. е. наружной A и внутренней B рельсовых нитей относительно оси Oz), направления которых согласно закону механики о равенстве действия и противодействия противоположны направлению пространственно расположенной результирующей силы $\bar{R}^*$, причём $\bar{R}^* = F_x \bar{i} + F_y \bar{j} + F_z \bar{k}$.

Здесь $F_x \in (F_{3x}, F_{4x}, I_x)$, $F_y \in (F_p, G_y, I_{ny})$ и $F_z \in (F_1, F_2, G_z, I_{nz}, I_z)$ – проекции пространственно расположенных сил на координатные оси x, y и z ; $\bar{i}, \bar{j}$ и $\bar{k}$ – орты (рис. 4, б).

Через точки контакта колёс с рельсовыми нитями A и B проводят касательные $\tau - \tau$ и нормали $n - n$. Реакции связей $\bar{R}_1$ и $\bar{R}_2$ раскладывают на нормальные $\bar{N}_1, \bar{N}_2$ и касательные $\bar{F}_{\tau 1}, \bar{F}_{\tau 2}$ составляющие. Показывают оси координат $Oxyz$ (рис. 5, а).

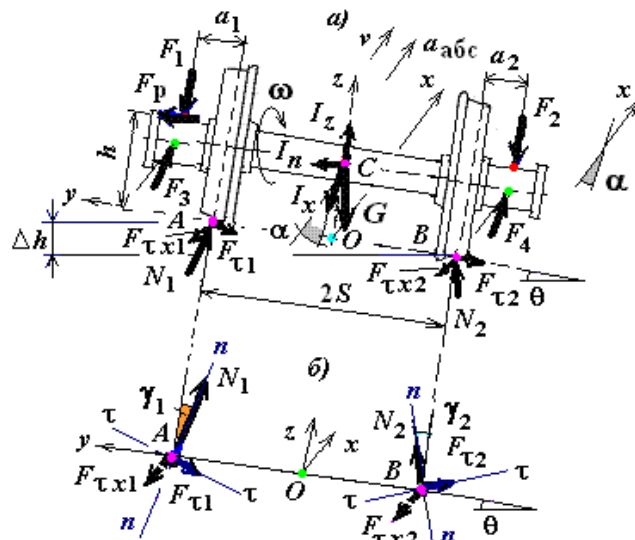


Рис. 5. Динамическая модель вкатывания при *одноточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары: a – пространственные силы, приложенные к колёсам; b – реакции связи, приложенные к колёсам

На рис. 5 обозначено: γ_1 и γ_2 – возможные углы наклонов нормальных составляющих $\bar{N}_1$ и $\bar{N}_2$ реакции внешних связей $\bar{R}_1$ и $\bar{R}_2$ (т. е. наружной A и внутренней B рельсовых нитей) относительно оси Oz (в частном случае могут быть $\gamma_1 = 0$ и $\gamma_2 = 0$); $\bar{F}_{\tau 1}, \bar{F}_{\tau 2}$ – касательные составляющие реакций рельсовых нитей, направленных по $\tau - \tau$.

Учитывают, что касательные составляющие $\bar{F}_{\tau 1}$ и $\bar{F}_{\tau 2}$ реакции связей представляют собой силы трения между контактируемыми поверхностями колёс и рельсовыми нитями, т. е. $\bar{F}_{\tau 1} = \bar{F}_{\tau p1}, \bar{F}_{\tau 2} = \bar{F}_{\tau p2}$, от воздействия ПСС $\bar{F}_x, \bar{F}_y$ и $\bar{F}_z$ (см. рис. 4, б). Силы трения, как силы сопротивления, всегда направлены в сторону, противоположную скорости скольжения точки контакта поверхности катания колеса по головке упорного рельса, так, как показано на рис. 5, б.

Особо подчеркнём, что касательные составляющие $\bar{F}_{\tau x1}$ и $\bar{F}_{\tau x2}$, как силы трения поверхности катания колёс вдоль рельсовых нитей, по существу являются реакциями внешних связей (рельсовых нитей). Они появляются из-за воздействия на шейки оси колёсной пары значительных по величине продольных сил $F_{3x} = F_3 \cos(\alpha)$ и $F_{4x} = F_4 \cos(\alpha)$, приложенных со стороны автосцепного устройства. Иначе, если активные силы $\bar{F}_x \in (\bar{F}_{3x}, \bar{F}_{4x}, \bar{I}_x)$ (см. рис. 4, б), действующие на колёсную пару (точнее на боковые рамы тележки), больше предельной силы трения $F_{\text{пр}} = F_{\text{сц}}^{\text{max}} = f_{\text{сц}} N$, т. е. $\bar{F}_x \geq \bar{F}_{\text{пр}}$, то одновременно с качением возможно также

проскальзывание колёс (здесь $f_{\text{сн}}$ – коэффициент трения скольжения, N – нормальная составляющая реакции внешней

связи) [11, 17 – 19]. При этом отношение $\frac{f_{\text{к}}}{r_{\text{к}}}$ будет больше

коэффициента трения скольжения f ($f < f_{\text{сн}}$), т. е. $f < \frac{f_{\text{к}}}{r_{\text{к}}}$

(здесь $f_{\text{к}}$ – коэффициент трения качения, м; $r_{\text{к}}$ – радиус круга катания колеса, м). В соответствии с этим происходит качение колёс по рельсовым нитям в сочетании с проскальзыванием [19].

Покажем формирование динамической модели колёсной пары грузового вагона при *одноточечном* контакте набегающего колеса с использованием положения геометрической статики о приведении системы сил к данной точке [7, 16], со-

гласно которому силы $\bar{F}_1$ и $\bar{F}_2$ можно перенести к соответствующим точкам оси колёсной пары. При этом консольную часть оси нагружают сосредоточенными изгибающими моментами M_1 и M_2 , приложенными в соответствующих точках оси колёс. В результате получают эквивалентную динамическую модель оси колёсной пары грузового вагона, нагруженной сосредоточенными силами $\bar{F}_1$, $\bar{F}_2$ и изгибающими моментами M_1 и M_2 (рис. 6).

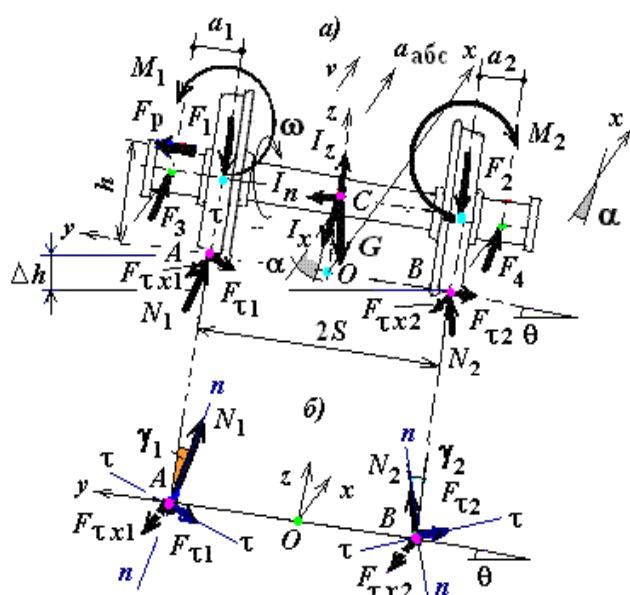


Рис. 6. Эквивалентная динамическая модель вкатывания при *одноточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары: а – пространственные силы, приложенные к колёсам; б – реакции связи, приложенные к колёсам

На рис. 6 обозначено: M_1 и M_2 – сосредоточенные изгибающие моменты сил, приложенные к консольным частям оси колёсной пары, которые появились в результате приведения вертикальных сил F_1 и F_2 к осям колёс.

Так формируют динамическую модель вкатывания малонагруженной колёсной пары при *одноточечном* контакте набегающего колеса с упорным рельсом (см. рис. 5 и/или 6).

2) Рассмотрим формирование динамической модели вкатывания малонагруженной колёсной пары *второго* этапа. При этом учитывают, что гребень набегающего колеса полностью прижат к боковой поверхности упорного рельса и отсутствует какое-либо смещение этого колеса поперёк вагона (на что не обратили внимания в [3, 5, 6]). Следуя рассуждениям *первого* этапа, получают динамическую модель вкатывания колёсной пары при *двухточечном* контакте набегающего колеса с упорным рельсом (рис. 7).

Анализ динамической модели вкатывания колёсной пары при *двухточечном* контакте набегающего колеса с упорным рельсом показывает, что здесь подлежат нахождению нор-

мальные составляющие $\bar{N}_1$ и $\bar{N}_0$ реакции двух контактов

упорной нити и нормальная составляющая $\bar{N}_2$ реакции другой (внутренней) рельсовой нити. Для их определения можно составить только два уравнения равновесия моментов сил относительно точек А и В, а неизвестных – три. Задача определения реакции связей становится статически неопределённой.

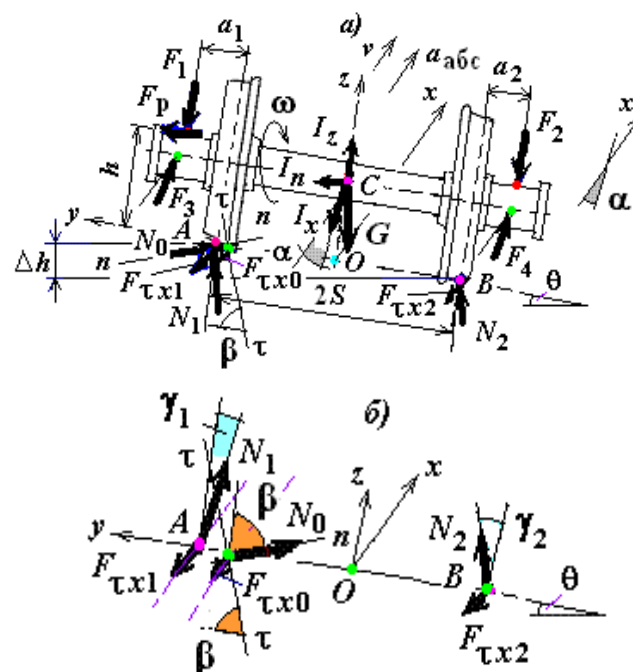


Рис. 7. Динамическая модель вкатывания при *двухточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары: а – пространственные силы, приложенные к колёсам; б – реакции связи, приложенные к колёсам при *двухточечном* контакте набегающего колеса. (На рис. 7 все обозначения те же, что и на рис. 2 – 6)

Кроме того, общеизвестно, что при движении вагона на его колёсные пары со стороны рельсовых нитей действуют силы трения скольжения $\bar{F}_{\text{тх1}}$, $\bar{F}_{\text{тх0}}$ и $\bar{F}_{\text{тх2}}$, т. е. силы взаимодействия контактирующих поверхностей колёсных пар и рельсовых нитей. При этом результирующая $\bar{F}_{\text{тх}}$ касательных составляющих $\bar{F}_{\text{тх1}}$ и $\bar{F}_{\text{тх0}}$ реакции внешних связей как сила трения скольжения колёс вдоль рельсовых нитей, не-

зависимо от того, как распределены силы $\bar{F}_{\text{тх1}}$ и $\bar{F}_{\text{тх0}}$ между поверхностями катания набегающего колеса колёсной пары, будет направлена вдоль оси упорной рельсовой нити А (рис. 7, в). Согласно правилу сложения параллельно расположенных сил [16, 17] модуль результирующей силы $\bar{F}_{\text{тх}}$ равен сумме модулей составляющих сил $\bar{F}_{\text{тх1}}$ и $\bar{F}_{\text{тх0}}$, т. е.

$$|\bar{F}_{\text{тх}}| = |\bar{F}_{\text{тх1}}| + |\bar{F}_{\text{тх0}}|.$$

Исходя из этих соображений, аналогично *одноконтактной* задаче (см. рис. 6), формируем расчётную модель колёсной пары грузового вагона при *двухточечном* контакте набегающего колеса с использованием положения о *приведении системы сил к данной точке* геометрической статики [7, 16] (рис. 8)

Таким образом, формируют расчётную модель колёсной пары вагона для оценки устойчивости колеса на рельсе согласно *второму* этапу (см. рис. 7 и/или 8).

3) Рассмотрим формирование динамической модели вкатывания малонагруженной колёсной пары *третьего* этапа. Имея в виду, что здесь контактирует прямолинейная часть гребня набегающего колеса с боковой поверхностью упорного рель-

са, аналогично рассуждениям *первого* этапа, получают динамические модели колёсной пары *при одноточечном контакте* (рис. 9 и 10).

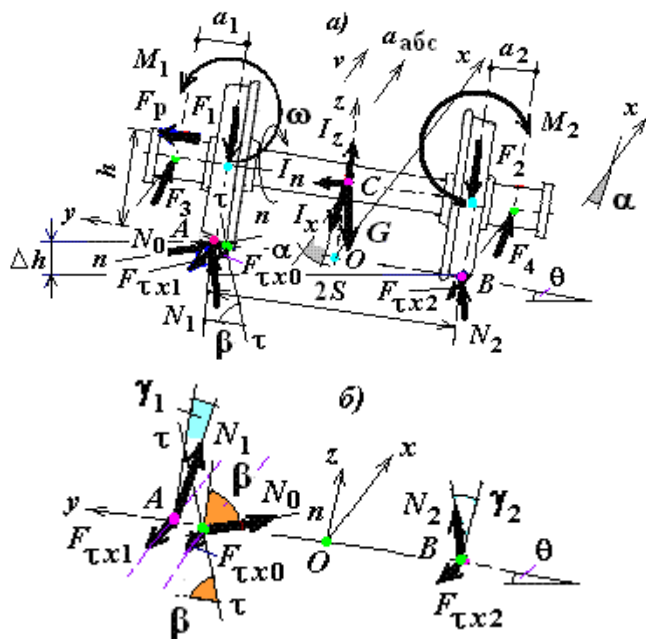


Рис. 8. Эквивалентная динамическая модель вкатывания при *двухточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары: *а* – пространственные силы, приложенные к колёсам; *б* – реакции связи, приложенные к колёсам при *двухточечном* контакте набегающего колеса.

(Обозначения на рис. 8 те же, что и на рис. 2 – 6)

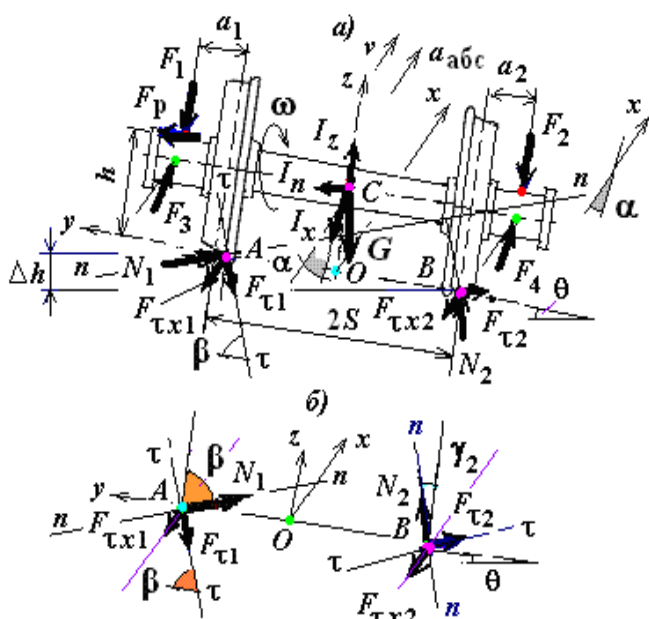


Рис. 9. Динамическая модель вкатывания при *одноточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары.

Данные модели отличаются от известных моделей (см. рис. 5, 6 и/или 6, б) только направлением нормальной составляющей $\bar{N}_1$ реакции связи (упорной нити) $\bar{R}_1$ набегающего колеса на угол β (угол наклона прямолинейной части гребня колеса относительно УГР) (см. рис. 2).

Таким образом, получают динамическую модель колёсной пары вагона для определения устойчивости колеса на рельсе согласно *третьему* этапу (см. рис. 9 и/или 10).

4) Рассмотрим формирование динамической модели вкатывания малонагруженной колёсной пары согласно *четвёртому*

этапу. Имея в виду, что здесь контактируются поверхность большого диаметра гребня набегающего колеса с поверхностью катания упорного рельса, аналогично рассуждениям *первого* этапа, получают динамические модели колёсной пары *при одноточечном контакте* (рис. 11 и 12).

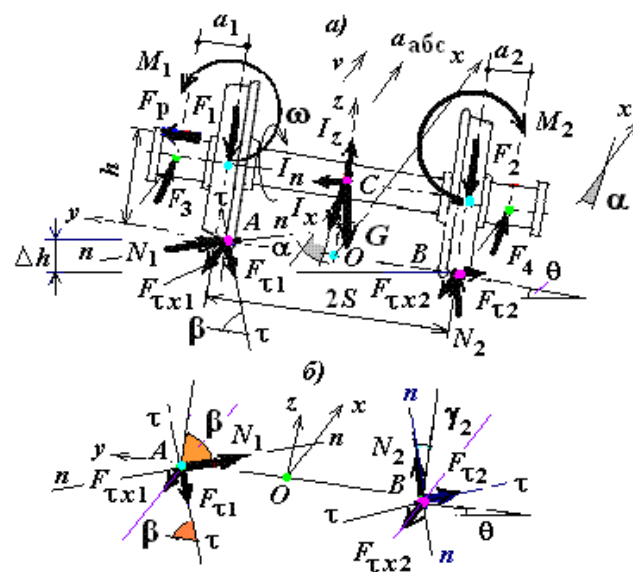


Рис. 10. Эквивалентная динамическая модель вкатывания при *одноточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары.

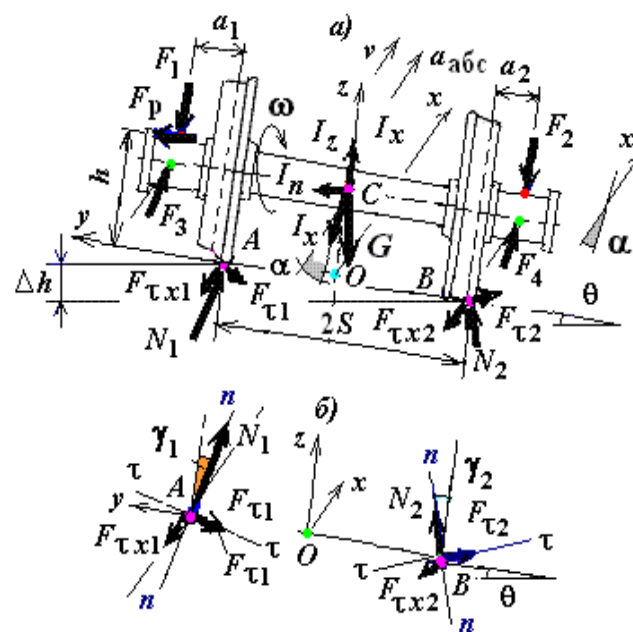


Рис. 11. Динамическая модель вкатывания при *одноточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары.

На рис. 11 и 12 приняты те же обозначения, что и на рис. 2–8.

Данные модели по виду аналогичны известным моделям (см. рис. 5, 6 и/или 6, б).

Таким образом, формируют расчётную модель колёсной пары вагона для оценки устойчивости колеса на рельсе согласно *четвёртому* этапу (см. рис. 11 и/или 12).

Обобщая результаты формирования динамических моделей колёсных пар грузового вагона при *одно-* и *двухточечных* контактах, отметим, что в дальнейшем воспользуемся только эквивалентными динамическими моделями колёсных пар, в основном нагруженных сосредоточенными силами $\bar{F} \in (\bar{F}_1, \dots, \bar{F}_4)$ и изгибающими моментами M_1 и M_2 , представленными на рис. 6, 8, 10 и 12.

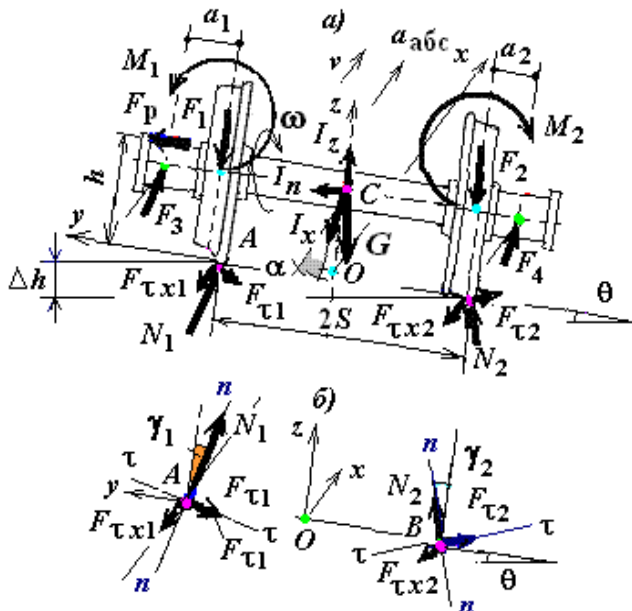


Рис. 12. Эквивалентная динамическая модель вкатывания при *одноточечном* контакте набегающего колеса колёсной пары.

ВЫВОДЫ

1. Анализ известных расчётных схем колёсных пар грузового вагона дал возможность обнаружить ряд допущенных при формировании динамических и построении математических моделей *при одно- и двухточечных контактах* неточностей, по причине которых результаты оценки устойчивости колеса на рельсе против вкатывания при воздействии плоских систем сил оказались некорректными.

2. С использованием классических положений теоретической механики из реальной схемы приложения ПСС на колёсную пару грузового вагона сформированы динамические модели в соответствии с количеством контактов поверхностей набегающего колеса с головкой упорного рельса.

Новизну (отличительная особенность) исследований представляют разработанные динамические модели малонагруженного набегающего колеса колесных пар от воздействия ПСС, позволившие получить конкретные формулы, которые выведены из условия равновесия моментов сил относительно точек контактов колёс с рельсовыми нитями. Полученные результаты исследований являются новой ступенью в разработке данной проблемы.

Преимущество (значимость) данной методики – возможность достоверной оценки устойчивости малонагруженного набегающего колеса от вкатывания на головку упорного рельса с учётом воздействия ПСС.

В перспективе полученные результаты исследований могут быть использованы при оценке устойчивости пути против поперечного сдвига.

Литература

1. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.
2. Хусидов В.В. Метод оценки безопасности движения по запасу устойчивости колеса против схода с рельса / В.В. Хусидов // Труды 3-й науч.-практич. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2002. – С. V – 58.
3. Голубенко А. Л. Исследование подреза гребней колёс рельсовых экипажей // А.Л. Голубенко, В.П. Ткаченко [и др.]

// Вісник Східноукраїнського національного університету. Науковий журнал, № 8 (78). Ч. I. 2004. – С. 8 – 10.

4. Петров А.С. Устойчивость транспортного средства против схода с рельсов / А.С. Петров, О.В. Романенко, В.П. Гундарь // Вісник Східноукраїнського національного університету. Науковий журнал, № 8 (78). Ч. I. 2004. – С. 127 – 132.

5. Pogorelov D. Yu. Simulation of rail vehicle dynamics with universal mechanism software // Rail vehicle dynamics and associated problems: monograph. – Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. p. 13 – 58.

6. Иванов Д.В. Метод оценки безопасности движения по запасу устойчивости колеса против схода с рельса / Д.В. Иванов, А.Г. Петров [и др.] // Труды 11-й науч.-практич. конф. «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2010. – С. XV – 1-5.

7. Туранов Х.Т. Построение динамических моделей устойчивости колеса колёсной пары грузового вагона при вкатывании на головку рельса / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов // Транспорт: Наука, техника и управление. – 2011. – № 7. – С. 8–14.

8. Туранов Х.Т. Математическое моделирование реакции рельсовых нитей при опускании колеса на головку рельса / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов, А.А. Ватонин // Транспорт: наука, техника и управление. – 2011. – № 11. – С. 15–21.

9. Сладковский А. Особенности контактного взаимодействия колёс и рельсов с различными профилями // А. Сладковский // Вісник Східноукраїнського національного університету. Науковий журнал, № 8 (78). Ч. I. 2004. – С. 70 – 77.

10. Бондаренко А.Н. Механико-математическая модель скольжения колёсной пары в кривых участках пути / А.Н. Бондаренко, Н.И. Карпушенко // Вестник СГУПС, Выпуск 4, 2002. – С. 22 – 33.

11. Лужнов Ю.М. Сцепление колёс с рельсами (природа и закономерности) / Ю.М. Лужнов. – М.: Интекст, 2003. 144 с.

12. Туранов Х.Т. Математическое моделирование реакции рельсовых нитей при вкатывании обездвиженного колеса на головку рельса / Х.Т. Туранов, А.Р. Якупов // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 4. – С. 21–26.

13. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган. Под ред. М.Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.

14. Шахуньянц Г.М. Железнодорожный путь: учебник для вузов ж.-д. трансп. / Г.М. Шахуньянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.

15. Расчёты и проектирование железнодорожного пути: учебное пособие для студентов вузов ж. – д. трансп. / В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др. // Под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. – М.: Маршрут, 2003. – 486 с.

16. Бухгольц Н.Н. Основы курс теоретической механики / Н.Н. Бухгольц. – М.: Наука, 1967. Ч. I. – 460 с.

17. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики. Т. II. Динамика / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Наука, 1983. – 640 с.

18. Туранов Х.Т. Теоретическая механика в специальных задачах грузовых перевозок: учебн. пособие / Х.Т. Туранов. – Новосибирск: Наука, 2011. – 448 с.

19. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов / С.М. Тарг. – М.: Высш. шк., 1998. – 416 с.

Сведения об авторе

Туранов Хабибулла Туранович, доктор технических наук, профессор УрГУПС, почётный железнодорожник 620034. г. Екатеринбург. ул. Колмогорова, 66
Тел. + 7 963-035-31-89 (моб.), +7 343-367-44-03 (дом.)
E-mail: turanov@inbox.ru; khturanov@yandex.ru

СНИЖЕНИЕ КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ МАРШРУТНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДОВ

Доктор техн. наук, профессор **Ларин О. Н.**, аспирант **Кажаяев А. А.**
(Южно-Уральский государственный университет)

REDUCING CONFLICTS AT THE STOPPING POINTS OF THE NETWORK OF ROUTES OF CITIES

Doctor of Science (Tech.), Professor **Larin O. N.**, Post-graduate student **Kazhaev A. A.**
(South Ural State University)

Общественный транспорт, дублирующие маршруты, маршрутная сеть, остановочные пункты
Public transport, overlapping routes, route network, stopping places

Статья посвящена оптимизации маршрутных сетей городов с целью снижения конфликтных ситуаций на остановочных пунктах, обусловленных эффектами синхронного движения маршрутного общественного транспорта по участкам маршрутной сети городов. В статье анализируются известные способы и направления решения данной проблемы, приводятся сведения о способах оптимизации маршрутных сетей.

Article is devoted to optimizing the route networks of cities in order to reduce conflicts on the stopping points, due to the effects of simultaneous movement of public transport route for parts of the route network of cities. The paper analyzes the known methods and ways of solving the problem, provide information on how to optimize route networks.

Проблема оптимизации маршрутных сетей с учетом инфраструктурных ограничений недостаточно раскрыта не только в работах отечественных ученых, но и в работах представителей зарубежной школы городского общественного пассажирского транспорта. По данным [3], в зарубежных странах, в том числе странах Европейского союза и США, данные вопросы недостаточно исследованы, так как там основное внимание уделяется выбору способа перемещения населения (личным или общественным транспортом), а число маршрутов, проходящих по одной и той же части улично-дорожной сети, сведено до минимума за счет высокого коэффициента пересадочности.

В связи с увеличением на улицах городов количества автомобильного транспорта, в том числе пассажирского, для решения проблем, связанных с дорожным движением наземного транспорта, в том числе с низкой скоростью перевозок населения общественным пассажирским транспортом, в последнее время часто встречаются публикации о необходимости интенсивного развития объектов транспортной инфраструктуры населенных пунктов. На наш взгляд, не следует упрощать задачу, полагая, что только наличие «хороших» автодорог позволит обеспечить высокий уровень транспортно-обслуживания населения. По мнению американского ученого В. Вучека, даже самые совершенные сети автомобильных дорог не способны кардинально улучшить условия транспортных передвижений населения в современных городах. Наоборот, при совершенствовании условий транспортного обслуживания населения приоритет должен отдаваться организационным и технологическим решениям [1]. Другими словами, компенсировать недостаточный уровень развития улично-дорожной сети возможно путем оптимизации, координации и организации согласованной работы действующих маршрутных сетей муниципальных образований [2].

Задача оптимизации маршрутной сети городов должна формулироваться с учетом ограниченности пропускной способности остановочных пунктов. В идеальном случае отсутствие конфликтных ситуаций наблюдается при условии, что величина совмещенной частоты (интенсивности) движения V_{si} пассажирского транспорта на всех маршрутах, проходящих через остановочный пункт S_i , не превышает его пропускной способности P_{si} :

$$V_{si} \leq P_{si}, \quad S_i \in S (i = 1, \dots, n), \quad (1)$$

где n – количество остановочных пунктов маршрутной сети, $n = 1 \dots N$.

Величина совмещенной частоты движения v_{si} на i -ом остановочном пункте S_i может быть рассчитана по формуле:

$$v_{si} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{t_j(s_i)}, \quad S_i \in S, \\ t_j(s_i) \in I (j = 1, \dots, m),$$

где $t_j(s_i)$ – интервал движения пассажирского транспорта по j -му маршруту, проходящему через остановочный пункт S_i , ч.

Если данное условие выполняется, то конфликтных ситуаций на остановочном пункте не будет. Ситуация, когда значение совмещенной частоты движения V_{si} превышает пропускную способность остановочного пункта P_{si} , свидетельствует о дефиците пропускной способности, величина которой определяется по следующей формуле:

$$\omega_{si} = V_{si} - P_{si}.$$

Показатель дефицита пропускной способности ω_s всех остановочных пунктов выступает в качестве критерия оптимальности параметров маршрутной сети:

$$F(\omega_s) = \sum_{i=1}^n \omega_{si} \rightarrow \min, \quad \omega_{si} \in \Omega. \quad (2)$$

Величина интервалов движения t_j пассажирского транспорта по j -му маршруту определяется с учетом заданного пассажиропотока по маршруту (для расчетов используется значение максимальной мощности пассажиропотока Q_j на участках j -го маршрута), средней вместимости q_k пассажирского транспорта k -го типа (типология производится с учетом структуры парка), коэффициента использования вместимости γ_k , количества транспортных средств (данный параметр отражает качество обслуживания пассажиров, в условиях конкуренции не рекомендуется устанавливать свыше 0,7):

$$t_j = \frac{q_k \gamma_k}{Q_j}.$$

Следовательно, основной экзогенной переменной модели оптимизации параметров маршрутной сети с учетом ограничений пропускной способности остановочных пунктов является вместимость $q_k (k = 1, 2, \dots, g)$ подвижного состава k -го типа. Изменение вместимости для заданного пассажиропотока

ка приводит к изменению количества транспорта X_{kj} на маршруте, интервалов его движения и, как следствие, к изменению частоты движения по маршрутам V_j и совмещенной частоты движения по отдельным остановочным пунктам V_{si} .

Использование при расчетах максимальной мощности пассажиропотока Q_j на участках маршрута представляется более удобным, так как для корректности расчетов с использованием других значений пассажиропотока (например, за рейс, в час-пик, за сутки и др.) последние показатели должны учитывать коэффициент сменяемости пассажиров по маршруту и коэффициенты неравномерности пассажиропотока по участкам маршрутов и направлениям движения.

На практике, как правило, при формировании параметров маршрутной сети городов следует учитывать ограниченные возможности по выбору структуры парка, то есть задавать условия оптимизационной задачи на вычисление оптимального количества пассажирского транспорта определенного типа (вместимости) без учета наличного количества транспортных средств будет некорректно. В этом случае можно получить решение, при котором, например, потребуется полная замена транспортных средств малой вместимости на подвижной состав большой вместимости, что не всегда возможно в условиях ограничений финансовых ресурсов перевозчиков или муниципальных образований.

Поэтому к условиям оптимизационной задачи (2) рекомендуется добавлять ограничения, учитывающие существующую структуру парка транспортных средств:

$$\sum_{j=1}^m x_{kj} \leq X_k, \quad (3)$$

где x_{kj} – количество транспортных средств k -го типа, работающих на j -их маршруте, ед.; X_k – общее количество транспортных средств k -го типа в структуре парка, ед.; k – количество типов транспортных средств, $k = 1 \dots N$.

Кроме того, для маршрутов с небольшими объемами пассажиропотока, чтобы исключить значительные интервалы движения транспорта по маршрутам, которые снижают качество транспортного обслуживания населения (интервалы в небольших городах устанавливаются в 30 и более минут, для крупных городов не рекомендуется превышать 20 минут), могут вводиться дополнительные ограничения по величине интервалов:

$$t_j \leq t_{jo}, \quad (4)$$

либо, в зависимости от конкретных условий:

$$t_j \leq t_o,$$

где t_{jo} и t_o – максимально допустимые интервалы движения маршрутного транспорта на отдельном j -ом маршруте и для всех маршрутов сети соответственно.

Если в задаче учитываются ограничения по структуре парка и допустимым интервалам движения, то решение (2) может быть не оптимальным, а рациональным.

Таким образом, для решения задачи формирования рациональных параметров маршрутной сети, обеспечивающих nivelирование возможных конфликтных ситуаций на остановочных пунктах, следует определить такие интервалы движения пассажирского транспорта на всей совокупности маршрутной сети, при которых совмещенная частота движения на остановочных пунктах v_{si} не будет превышать пропускную способность остановок соответствующих остановок P_{si} , либо это превышение сохранится, что может быть обусловлено существующей структурой парка пассажирского

транспорта X_k или допустимыми интервалами движения маршрутного транспорта t_{jo} , но будет минимальным.

Запишем в общем виде модель формирования оптимальных параметров маршрутной сети с соблюдением ограничений к неотрицательности переменных:

$$u(\omega_s) = \{q_k, t_j, p_i\} \rightarrow Opt \quad (5)$$

при $q_k \in G, \quad q_k \geq 0, \quad q_k \geq 0,$

$$t_j \in I, \quad t_j \geq 0,$$

$$p_i \in P, \quad p_i \geq 0,$$

где $u(\omega_s)$ – вектор оптимальных параметров маршрутной сети, обеспечивающих исключение или максимальное снижение возможных конфликтов на сети за счет минимального значения общего дефицита пропускной способности остановочных пунктов ω_{si} .

Задача оптимизации параметров маршрутной сети формулируется следующим образом: необходимо найти такой вектор u^* из множества параметров маршрутной сети U , чтобы величина общего дефицита пропускной способности

$$\omega_s^* = F(u^*, \Omega(u^*)) \quad \text{была меньше, чем}$$

$$\omega_s = F(u, \Omega(u)) \quad \text{для любого другого } u \in U:$$

$$\omega_s^* = F(u^*, \Omega(u^*)) \rightarrow \min.$$

С учетом (3), (4), (5) запишем математическую модель оптимизации параметров маршрутной сети (2) следующим образом:

$$F(\omega_s) = \sum_{i=1}^n \omega_{si} \rightarrow \min \quad (6)$$

при $q_k \in G, \quad q_k \geq 0, \quad q_k \geq 0, \quad t_j \in I, \quad t_j \geq 0,$

$$p_i \in P, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{j=1}^m x_{kj} \leq X_k, \quad t_j \leq t_{jo}.$$

Задача (6) является типичной задачей линейного программирования и может быть решена известными методами. Для решения формируется база данных о параметрах маршрутной сети, движения транспортных средств по маршрутам, мощности пассажиропотоков, пропускной способности остановочных пунктов.

Приведенные модели (1) и (6) рекомендуются к использованию для выявления конфликтных ситуаций на остановочных пунктах, представляющих собой «узкие места» в маршрутной сети, и формирования рациональных параметров маршрутных сетей, обеспечивающих эффективные и безопасные условия работы маршрутного транспорта и посадки-высадки пассажиров на остановочных пунктах.

Литература

1. Вучек В.Р. Транспорт в городах удобных для жизни / В.Р. Вучек. – М.: Территория будущего, 2011. – 576 с.
2. Ларин О.Н. Особенности управления пассажирскими перевозками в муниципальных образованиях / О.Н. Ларин, В.Н.Смолин // Транспорт Урала. – 2009. – №2 (21). – С. 9–10.
3. Семенова О.С. Математическое моделирование в задачах оптимизации движения городского пассажирского транспорта с учетом наложения маршрутных схем: дис. ... канд. тех. наук / О.С. Семенова. – Новокузнецк, 2009. – 127 с.

Сведения об авторах

Ларин Олег Николаевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76

Кажаев Андрей Александрович, аспирант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76.
Тел. (351) 267-94-16
E-mail: trans@susu.ac.ru

ТРАНСПОРТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛОГИСТИКИ РЕГИОНА

Кандидат техн. наук, доцент **Лебедев Е. А.**
(Кубанский государственный технологический университет)

THE TRANSPORT ENSURING OF THE REGIONAL LOGISTIC

Ph. D. (Tech.), Assistant Professor **Lebedev E. A.**
(Kuban state university of technology)

Логистика, регион, транспорт, обеспечение, управление, структура, система, условие, эффективность

Logistics, region, transport, ensuring, management, strukture, system, condition, effectiveness

В статье приведена схема формирования организационной структуры управления системой транспортного обеспечения логистики региона. Предложено технологическое условие обеспечения эффективности работы автомобильного транспорта в составе грузовых логистических систем.

This article a scheme of forming the organized structure of management of a transport ensuring system of the regional logistics is considered. It is suggested a technological condition of the effective work ensuring for motor- transport in cargo logistics systems.

Транспортное обеспечение логистики региона на рынке транспортных услуг является основной составной частью категории «транспортная логистика», непосредственно связанной с более общей категорией «логистика грузодвижения». Определяя основные элементы логистики грузодвижения, исследователи в этой области [1, с. 107] подчеркивают, что, во-первых, в сфере товарного обращения логистика включает и рассматривает различные стадии и операции товародвижения как единое целое. Составляющие его части связаны друг с другом или взаимосвязаны и требуют системного подхода при управлении. Во-вторых, затраты по этим стадиям и операциям осуществляются и учитываются как взаимосвязанные и взаимозависимые. Поэтому они рассчитываются в совокупности, анализируются комплексно и требуют скоординированного подхода в системе управления. В-третьих, комплексный подход в логистике грузодвижения осуществляется во имя ритмичного, своевременного и качественного обеспечения потребителей грузами и заказчиков услугами с наименьшими затратами как потребителей, так и взаимодействующих с ними других субъектов рынков товаров и услуг.

Ресурсы в логистическом обеспечении являются важной функциональной составляющей, предопределяющей нормальное осуществление процесса транспортного сервиса региона.

Рассматривая сущностную характеристику ресурсов можно заключить, что они по существу являются так называемыми логистическими активностями. Логистические активности, представленные на рис. 1 [2, с. 65], рассматриваются как действия, прикладываемые к материальному потоку для достижения цели системы.

Применительно к процессу транспортного обеспечения логистики региона необходимо решать задачи, которые во многом совпадают с общими задачами логистики:

1) предоставление транспортно-логистических услуг и ресурсов в соответствии с выявленной потребностью и с определенными качественными характеристиками;

2) формирование системы государственной поддержки на всех уровнях системы;

3) повышение конкурентоспособности предложений на основе максимально возможного использования транспортно-логистического сервиса;

4) формирование системы финансовой поддержки и информационного обеспечения независимыми коммерческими структурами;

5) постоянная разработка, внедрение и совершенствование технологий осуществления процесса транспортно - логистического обеспечения;

6) кадровое обеспечение и создание необходимых условий для постоянного роста квалифицированного уровня работников и др.

Обобщение подходов разработки и оценки управленческих структур позволяет предложить схему формирования организационной структуры управления системой транспортного обеспечения логистики региона. В ней можно выделить шесть основных этапов, взаимосвязь между которыми показана на рис. 2:

1. Разработка концепции объекта и системы управления перевозочным комплексом (ПК) в регионе.

2. Анализ, построение дерева целей и структуризация функций существующей системы управления на основе системно-целевого подхода.

3. Разработка дерева целей и функций системы управления перевозочным комплексом с использованием системно-целевого подхода.

4. Оценка и сравнительный анализ целей и функций создаваемой структуры.

5. Формирование вариантов организационной структуры системы управления ПК и расчет их информационно-технологических характеристик.

6. Сравнительный анализ характеристик вариантов и выбор окончательного из них для создаваемой организационной структуры системы ПК.

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ АКТИВНОСТИ			
КОМПЛЕКСНЫЕ			ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ
БАЗИСНЫЕ	КЛЮЧЕВЫЕ	ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ	
Снабжение Производство Сбыт (дистрибуция)	Поддержание стандартов качества Закупки Управление процедурами заказов Транспортировка Запасы Производственные операции Физическое распределение Ценообразование	Складирование Грузопереработка Упаковка Обеспечение запчастями Сервис Сбор отходов Информационная поддержка	Погрузка Разгрузка Затаривание Экспедирование Перевозка Хранение Приемка продукции на склад Отпуск продукции со склада Консолидация Разукрупнение Информация о продукции Расчеты с покупателями Расчеты с поставщиками Страхование Передача прав собственности Таможенное оформление

Рис.1. Классификация логистических активностей

Перечисленные этапы связаны с существовавшей и создаваемой организационными структурами системы управления ПК, которые также связаны друг с другом.

Новая структура вырастает из старой в силу того, что существовавшая система управления уже не в состоянии решать новые задачи, инициированные изменившейся внешней средой. Поэтому на схематичном изображении этапы не следуют строго друг за другом, а информационно и технологически взаимосвязаны.

При выполнении первого этапа на разработку концепции объекта системы управления непосредственное воздействие оказывают окружающая (внешняя) среда прямого и косвенного воздействия: экономика, политика, право, социально-культурные факторы, технология, государственные и региональные органы власти, рынок труда и т.д.

В то же время, разработанный вариант концепции может быть скорректирован после выполнения второго и третьего этапов и после выполнения каждого из них. В свою очередь, формирование дерева целей создаваемой системы невозможно без анализа существовавшей, а анализ последней должен проводиться в одинаковых с новой методологией условиях. В связи с этим этап 2 и этап 3 взаимосвязаны: результаты анализа существовавшей системы позволяют сохранить и полнее использовать часть ее структурных элементов и свойств, изменив при необходимости их содержание.

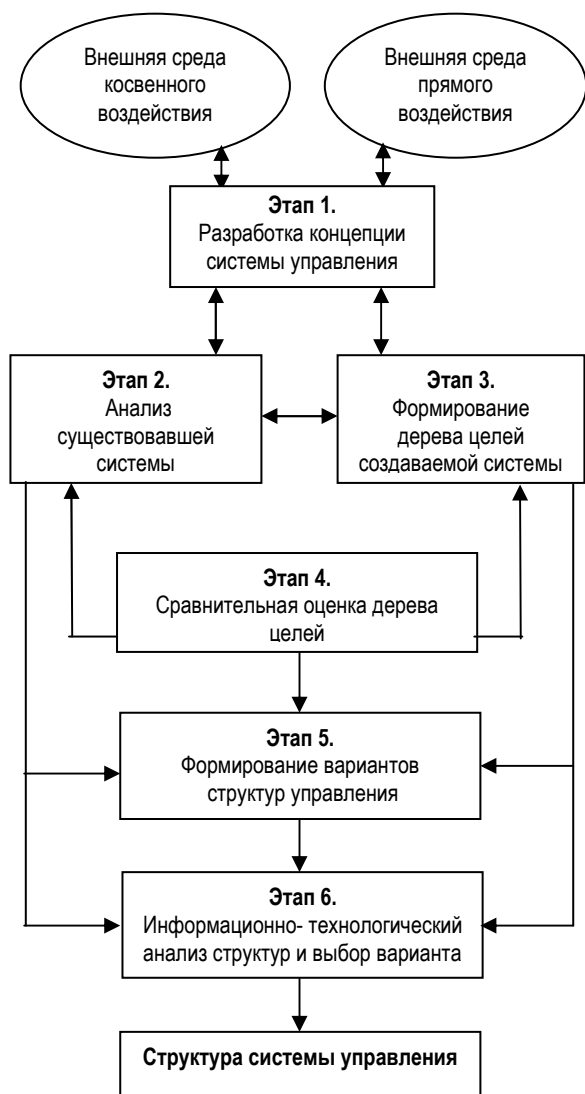


Рис. 2. Схема разработки организационной структуры системы управления ПК

Этап 4 позволяет полнее выявить новые цели и функции, а также модификацию содержания в элементах, сохранившихся для создаваемой системы управления. При этом возможен возврат ко второму и третьему этапам для корректировки их результатов, необходимость которой может появиться в результате сравнительной оценки и анализа структур целей и

функций существовавшей и создаваемой систем управления на четвертом этапе.

Формирование вариантов организационной структуры систем управления на этапе 5 происходит под воздействием результатов выполнения этапа 2, дающего для исследования ранее существовавшей структуры дерево целей и функций, полученное на этапе 3 и являющееся основой для формирования организационной структуры создаваемой системы управления и этапа 4, позволяющее на этапе 5 воспользоваться сохранившимися свое значение элементами существовавшей организационной структуры управления.

На этапе 6 происходит информационно-технологическая и функциональная оценка разработанных вариантов организационных структур системы управления, и на основе принятого критерия по степени «централизации-децентрализации» производится окончательный выбор структуры управления.

При формировании структур управления работой реструктурированных транспортных звеньев в составе грузовых логистических систем региона (ГЛСР) необходимо учитывать, что возникновение потребностей в перевозках грузов как в пределах государства, так и за его пределы (в экспортном направлении) обуславливает появление логистических микросистем. Они обеспечивают движение грузовых потоков, в таком количестве, что их изолированное друг от друга функционирование на едином транспортном пространстве становится невозможным.

Практика показывает, что добиться хотя бы удовлетворительного уровня функционирования одновременно всех перевозочных логистических микросистем, работа которых сопряжена с одновременным использованием одного и того же транспортного узла, не удастся. Сложенное взаимодействие элементов этих микросистем прекращается при превышении суммарного объема грузового потока всех микросистем, использующих грузовой терминал, пропускной способности этого терминала транспортного узла за определенный промежуток времени:

$$Q < \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\tau}, \quad (4.1)$$

где Q – пропускная способность грузового терминала в единицах объема груза;

V_i – объем грузового потока i -той микросистемы;

τ – интервал времени,

тогда как условием эффективного функционирования совокупности микросистем и конкретного грузового терминала будет обеспечение непрерывности движения суммарного грузового потока:

$$Q \geq \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\tau}. \quad (4.2)$$

Поскольку необходимость вмешательства в процесс саморегуляции работы микросистем отсутствует, степень их интеграции в ГЛСР определяется участниками подсистемы самостоятельно в соответствии с их потребностями в объемах грузооборота и его дифференцированности по времени.

Организация структуры управления ГЛСР позволит осуществлять координацию работы участников перевозочного процесса на более высоком региональном уровне (макроуровне) и дифференцировать объемы грузопотоков и транспортные потоки во времени с учетом пропускной способности используемых транспортных магистралей.

Литература

1. Апатцев В.И., Левин С.Б., Николашин В.М. и др. Логистические транспортно-грузовые системы: Учебник под общ. ред. В.М. Николашина. - М.: Изд-кий центр «Академия», 2003. - 304 с.
2. Сергеев В.И. Методологические принципы формирования региональных транспортных логистических систем // Логистика и бизнес. - М.: Брандес, 1997. - 470с.

Сведения об авторе

Лебедев Евгений Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Организация перевозок и дорожного движения» Кубанского государственного технологического университета
350072, Краснодар, ул. Московская, 2
Тел.: (861)275-86-19 (сл.), 8-918-491-18-75 (моб.)

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ СОЗДАНИИ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННЫХ АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Доктор техн. наук, профессор **Макарова И. В.**,
кандидат техн. наук, доцент **Хабибуллин Р. Г.**,
ассистент **Мухаметдинова Л. М.**, соискатель **Шакирова Д. Ю.**
(Камская государственная инженерно-экономическая академия)

ESTIMATION OF RISKS AT CREATION OF THE AUTOSERVICE ENTERPRISES FOCUSED ON THE CLIENT

Doctor of Sciences (Tech.), Professor **Makarova I. V.**,
Ph. D. (Tech.), Associate Professor **Khabibullin R. G.**,
Assistant **Moukhametdinova L. M.**, competitor **Shakirova D. Y.**
(Kama State Academy of Engineering and Economic)

Риск, фирменный сервис, дилерско-сервисная сеть, клиентоориентированное предприятие, управление рисками.

Risk, firm automobile service, dealer-service network, enterprise focused on the client, management of risks.

В статье анализируются методы оценки рисков сервисных предприятий при создании клиентоориентированной системы фирменного сервиса, которая должна обеспечить принятие научно-обоснованных решений и свести к минимуму риски всех категорий.

In article are analyzed methods of an estimation of risks of the service enterprises at creation of system of firm service focused on the client which should provide acceptance of the scientifically-proved decisions and to reduce to a minimum risks of all categories.

Автомобильная отрасль в настоящее время является одной из самых динамично развивающихся отраслей Российской экономики. Задача повышения конкурентоспособности, экспортного потенциала и качества продукции автомобильной промышленности отмечена как одна из основных задач Стратегии развития автомобильной промышленности РФ до 2020г. [1]. Конкуренция, в условиях которой действуют современные предприятия, диктует потребность в повышении эффективности каждого аспекта их деятельности. Конкурентоспособность предприятия оценивается потребителем с точки зрения положения предприятия на рынке.

Производство, эксплуатация, сервисное сопровождение и утилизация высокотехнологичной и наукоемкой продукции с длительным жизненным циклом, к числу которой относится автомобиль, является результатом совместной работы трех систем (производственной системы, системы распределения и обеспечения, системы фирменного сервиса), успешность функционирования которых зависит в значительной степени от эффективного механизма взаимодействия между ними.

Если первые две системы функционируют относительно стабильно, поскольку предприятия в первую очередь пытаются внедрять методики по сокращению производственных издержек и оптимизации поставок, то резервы повышения конкурентоспособности, связанные с этапами эксплуатации и сервисного сопровождения, остаются практически неиспользуемыми. Поэтому одним из путей повышения конкурентоспособности продукции является развитие фирменной дилерско-сервисной сети (ДСС) и оптимизация управления ею.

Автосервис можно рассматривать в широком смысле как инфраструктуру автомобильного транспорта, в узком - как систему поддержания и восстановления работоспособности автомобиля на протяжении жизненного цикла и как элемент расширенного продукта - средство обеспечения конкурентоспособности автомобилей при их продаже производителями.

До 60-х годов XX столетия инвестировалась только техническая составляющая автосервиса. С возникновением концепции расширенного продукта большая доля инвестиций стала направляться в развитие инфраструктуры для клиентов. Концепция «заботы об автомобиле» предполагает инвестиции в стоянки для автомобилей клиентов, совмещенные с СТО.

В основе развития автосервиса в Западной Европе лежит концепция расширенного продукта, которая привела к созданию дилерских сетей фирм - производителей автомобилей [2].

Создание клиентоориентированной и эффективной системы фирменного сервиса, обеспечивающей доведение сервисных услуг до потребителя и организацию послепродажного обслуживания в течение всего периода эксплуатации автомобиля, является главным направлением комплексной системной стратегии крупных автомобилестроительных корпораций. Конкурентное преимущество при этом достигается за счет

поддержания требуемого уровня обслуживания потребителей при одновременном снижении затрат на его обеспечение [3].

В условиях роста конкуренции развитие системы фирменного сервиса является для автомобилестроительных предприятий важнейшим фактором продвижения продукции как на отечественном, так и на зарубежном рынках. Поскольку система сервиса в организационном плане представляет собой ДСС, состоящую из множества дилерско-сервисных центров (ДСЦ), функционирующих в разных условиях и отличающихся по целому ряду параметров, принятие обоснованных и рациональных управленческих решений невозможно на основе обычной интуиции, опыта, здравого смысла руководителя. Анализ причинно-следственных связей между субъектами сети усложняется наличием значительного числа факторов, многие из которых являются стохастическими и плохо формализуемыми, что во многих случаях не позволяет оптимизировать структуру и повысить эффективность функционирования системы традиционными методами.

Стратегия развития ДСС связана с оценкой рисков, которая должна обеспечить принятие научно обоснованных решений и свести к минимуму риски всех категорий. Для этих целей необходима всесторонняя оценка, для чего может использоваться система сбалансированных показателей (ССП – Balanced Scorecard), разработанная Дэвидом Нортоном и Робертом Капланом на основе исследований американских компаний, с использованием разработанной в 30-х годах во Франции концепции *tableau de bord* [4].

Balanced Scorecard разработана на основе четырехслойного графа, где каждому его слою соответствует своя перспектива: финансовых ожиданий; роста; процессов; клиента. При этом каждой перспективе ССП соответствует свой набор ключевых показателей эффективности (KPI - Key Performance Indicators). Все наборы KPI, объединенные в причинно-следственную сеть, и образуют счетную карту ССП (рис.1.). Основным принцип ССП, который во многом стал причиной высокой эффективности этой технологии управления – управлять можно только тем, что можно измерить [5]. Таким образом, при построении стратегии достижения цели разрабатывают такую систему показателей, которые поддаются измерению и на основании которых лица, принимающие решения (ЛПР), могут выбрать последовательность необходимых для достижения успеха действий, а также оценить правильность решений, принимаемых в данный момент. Именно модель ССП акцентирует свое внимание на качественных показателях эффективности. Говоря о рисках предприятия в рамках модели Нортона-Каплана, можно выделить следующий ряд угроз: ресурс-угрозы, процесс-угрозы и результат-угрозы [6]. Такая схема получается путем модернизации модели Нортона-Каплана и сопоставления ее с моделью SCORE [4] Роберта Дилтса [7], описывающего компанию по временной шкале перехода от

имеющегося состояния к желаемому. При модернизации получается цепочка переходов вида: стратегические ресурсы → бизнес процессы → отношения с партнерами → финансовые последствия.

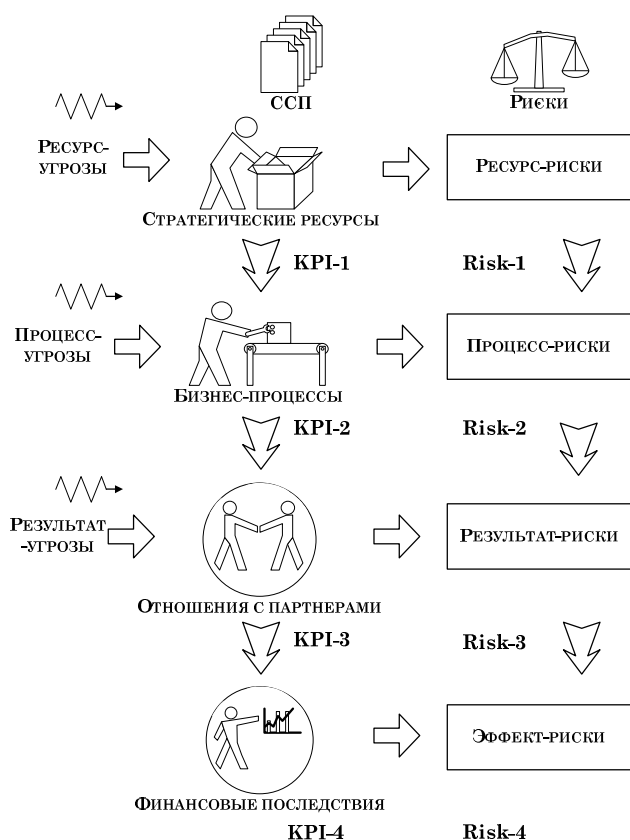


Рис. 1. Соответствие счетной карты ССП и параметров риск-карты

В терминах модели SCORE отношения с партнерами рассматриваются как результат, стратегические ресурсы (в том числе финансовые) – это ресурс, бизнес-процессы являются эффективной деловой игрой, трансформирующей ресурсы в результаты, а финансовые последствия характеризуют полученные эффекты. В ходе разработки стратегии компании в рамках модели ССП определяется система взаимосвязанных нормативов для KPI. Если KPI выходит за пределы норматива, это свидетельствует о недостижении соответствующей цели в рамках ССП. Системе взаимосвязанных нормативов KPI ставится в соответствие система рисков, причем каждый KPI имеет свой риск, т.е. при возникновении определенного события соответствующий KPI может выйти за свое нормативное значение KPIн.

Анализ рисков – анализ вероятности того, что определенные нежелательные события произойдут и отрицательно повлияют на достижение целей. Анализ рисков включает оценку рисков и методы снижения рисков или уменьшения связанных с ним неблагоприятных последствий [8].

В концептуальной интегрированной модели, разработанной COSO (Комитетом спонсорских организаций Комиссии Тредвея) наиболее детально и комплексно отражены философия и концептуальные основы управления рисками, рассматривая его как многонаправленный циклический процесс, в котором все компоненты могут воздействовать друг на друга. Взаимосвязь между целями организации, компонентами процесса управления рисками и подразделениями организации представлена трехмерной матрицей, имеющей форму куба (рис.2) [9].

Под профилактикой имеются в виду некие затраты для устранения, снижения вероятности или снижения ущерба нештатной ситуации. Мониторинг означает разработку системы показателей, определяющих возникновение той или иной проблемы, и механизмов их отслеживания. Своевременное распознавание проблемы нередко позволяет минимизировать потери или свести их к нулю.



Рис. 2. Взаимосвязь между целями организации и компонентами процесса управления рисками

Угруппированная схема выбора последовательности действий по управлению рисками может быть представлена тремя основными этапами: анализ рисков; принятие решений; контроль результатов (рис.3). Снижение потерь, вызванных нештатной ситуацией возможно за счет: профилактики (предотвращения), мониторинга (своевременного распознавания ситуации) и управления критической ситуацией (правильными действиями в случае ее возникновения).

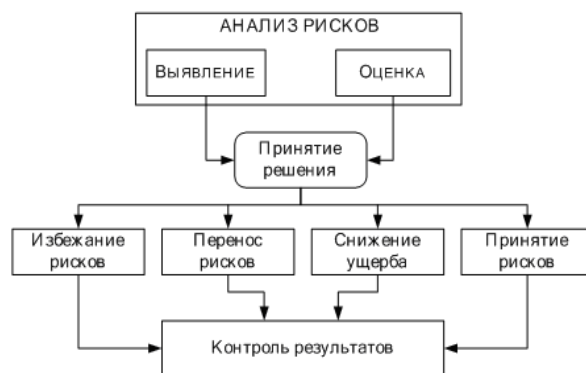


Рис. 3. Схема выбора подхода к управлению рисками

Управление критической ситуацией означает документирование и регламентирование действий в случае возникновения непредвиденной ситуации. Четкое понимание действий менеджером позволяет многократно снизить отрицательный эффект. Предварительное документирование действий позволяет скорректировать расчетный эффект ущерба и, как следствие, снизить суммы резервов. Помимо этого частью работ по данному направлению может быть создание механизмов смягчения критической ситуации. Например, наличие информации о квалифицированных соискателях определенной должности будет очень кстати при неожиданном увольнении ключевого работника.

Система управления рисками должна обеспечить реализацию трех основных целей: идентификация рисков, измерение рисков, оптимизация рисков (рис. 4).

Идентификация рисков связана с созданием системы показателей и мониторинга, позволяющих оценить ситуацию на основе анализа статистической информации. Механизм обратной связи, реализованный в такой системе, позволит оценить вероятность потерь на каждом этапе и скорректировать действия в зависимости от изменившихся внешних условий.

Для ДСЦ, оказывающих услуги по продаже, техническому обслуживанию автомобилей риск, связанный с процессом оказания услуг по ТО и ТР, – это величина, характеризующая вероятность или объем возможных потерь инвестиций, вложенных в создание, оснащение и содержание дополнительных постов при недозагрузке производственных мощностей или

упущенной выгоды от потери клиентов при недостаточных производственных возможностях.

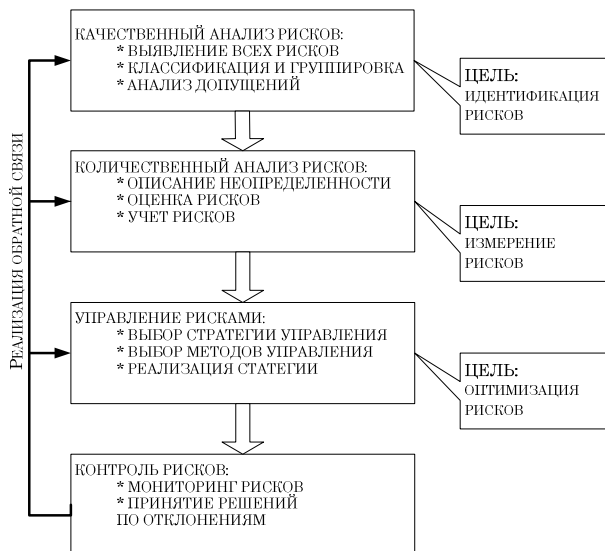


Рис. 4. Схема последовательности действий по управлению рисками

Упущенная выгода предприятия от потери клиентов равна произведению их числа и средней стоимости одного ТО и ТР:

$$Z_{заезд} = П \times C_{ТО,ТР}, \quad (1)$$

где $П$ – число потерянных клиентов;

$C_{ТО,ТР}$ – средняя стоимость одного ТО и Р.

Выбирая сервисное предприятие, клиент оценивает риски от неполученного обслуживания. Риск клиента, использующего автомобиль для коммерческой эксплуатации, будет выражаться в упущенной выгоде при простое автомобиля в очереди на обслуживание. Такой риск определяется как произведение времени простоя в очереди и стоимости простоя автомобиля, который, в свою очередь складывается из упущенной выгоды за время его возможной эксплуатации и зарплаты водителя:

$$Z_{оч} = t_{оч} \cdot (C_{пр} + C_{ув}), \quad (2)$$

где $t_{оч}$ – время ожидания автомобиля в очереди на обслуживание;

$C_{пр}$ – средняя норма стоимости простоя автомобиля (учитывается только заработная плата водителя);

$C_{ув}$ – упущенная выгода клиента.

При стратегическом планировании действий по повышению эффективности ДСС необходимо найти баланс между риском предприятия и риском клиента.

Оценка риска ДСС связана с анализом экономической ситуации в регионе. Учет риска, вызванного сокращением продаж автомобилей, заключается в составлении пессимистичного и оптимистичного сценариев развития рынка продаж автомобилей и прогноза вероятности каждого из них. Процесс управления рисками начинается с выявления опасных факторов, то есть факторов, которые могут быть причиной негативных событий. Компания может устранить не все опасные факторы, однако они должны быть выявлены и, по возможности, нейтрализованы [10]. При оценке риска сокращения продаж автомобилей среди внутренних и внешних рисков наиболее значимыми будут:

- укрепление российского рубля по отношению к доллару, результат – снижение цен на импортированные грузовые автомобили, снижение конкурентоспособности отечественных автомобилей, падение продаж;
- вступление России во Всемирную торговую организацию, вызывающее тем самым обострение конкуренции и снижение продаж автомобилей;
- рост цен на металл и комплектующие, результат – удорожание автомобилей, снижение спроса на автомобили;
- активизация продвижения производителями и дилерами иностранных грузовых автомобилей на российском рынке (развитие лизинга, создание новых и увеличение мощностей существующих сборочных производств, стремительное развитие сервисной сети, увеличение количества бюджетных моделей, активизация продвижения импортных шасси на заводы спецтехники). Результат – сокращение общей доли отечественных автомобилей на российском рынке, обострение конкуренции в сегменте самосвалов и спецтехники;

• невыполнение заказа-поставки по автомобилям, результат – несоответствие рыночных ожиданий и имеющейся в наличии номенклатуры автомобилей, упущенная возможность реализации отечественных автомобилей в ситуации растущего спроса на рынке, снижение продаж;

• трудности с обеспечением гарантийного обслуживания новых автомобилей, результат – медленное внедрение на рынок, низкие продажи, длительная окупаемость, плохая репутация автомобиля-новинки;

• затягивание и перенос сроков выполнения НИОКР и выдачи документации на технологическую подготовку производства. Задержка вывода новых моделей на рынок, потеря доли рынка.

Для снижения влияния риска необходимо выполнение комплекса мероприятий, направленных на устранение причин или последствий его возникновения. Особое внимание необходимо уделить оптимизации системы планирования и обеспечения производства, стратегии развития ДСС и продвижения на рынок новой продукции.

Литература

1. «Основные положения стратегии развития автомобильной промышленности РФ до 2020г.». Министерство промышленности и торговли РФ. М.: 2010. - 76 С. URL: <http://www.minprom.gov.ru/press/release/showNewsIssue?url=activity/auto/news/189> Дата обращения – 11.03.2010
2. Автосервис. Инфраструктура автомобильного транспорта. URL: <http://ecouniver.com/3619-avtoservis-infrastruktura-avtomobilnogo-transporta.html>
3. Миротин, Л.Б. Логистика: обслуживание потребителей / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев. – М.: ИНФРА-М, 2002. С. 190.
4. Aguilar F. Scanning the Business Environment. New York, Macmillan, 2006.
5. Недосекин, А.О. Стратегический подход к управлению рисками Корпорации / А.О.Недосекин, К.Е.Павлов, З.И.Абдулаева // Стратегический менеджмент, №4, 2008.
6. Абдулаева, З.И. Анализ рисков предприятия на основе методов нечеткой логики / З.И.Абдулаева, А.О.Недосекин. URL: <http://www.kpilib.ru/article.php?page=57>
7. Дилтс Р. Моделирование с помощью НЛП. - СПб, Издательский дом «Питер», 2000.
8. Чернова, Г.В. Управление рисками / Г.В. Чернова, А.А. Кудрявцев. – М.: Проспект, 2007. – 160 с.
9. Управление рисками организаций. Интегрированная модель. / URL: www.ibs.ru/download/events/101109/Praktika_Upravleniya_Riskami.pdf
10. Куликова, Е.Е. Управление рисками. Инновационный аспект. – Бератор-Паблишинг, 2008. – 112 с.

Сведения об авторах

Макарова Ирина Викторовна – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Сервис транспортных систем», директор автомеханического колледжа автомеханического факультета ГОУ ВПО «Камская государственная инженерно-экономическая академия», пр. Мира, 68/19, г. Набережные Челны, 423810, Россия.

Тел. +7 927 245 714, (8552) 5906871 E-mail: kamIVM@mail.ru.

Хабибуллин Рифат Габдулхакович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Сервис транспортных систем», декан автомеханического факультета ГОУ ВПО «Камская государственная инженерно-экономическая академия», пр. Мира, 68/19, г. Набережные Челны, 423810, Россия.

Тел.: +7 927 244 8429. E-mail: hrg_kampi@mail.ru

Мухаметдинова Лариса Мухаметзакиевна, ассистент кафедры «Сервис транспортных систем» ГОУ ВПО «Камская государственная инженерно-экономическая академия», пр. Мира, 68/19, г. Набережные Челны, 423810, Россия.

Тел. 89274529179. E-mail: muhametdinova@mail.ru

Шакирова Джамиля Юнусовна, соискатель кафедры «Сервис транспортных систем» ГОУ ВПО «Камская государственная инженерно-экономическая академия», пр. Мира, 68/19, г. Набережные Челны, 423810, Россия.

Тел. 89268215368. E-mail: dhak@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

Кандидат техн. наук, доцент **Гасанов Г.М.**
(Махачкалинский филиал МАДИ)

DEVELOPMENT PROSPECT OF TRANSPORT SYSTEM IN DAGESTAN REPUBLIC

Ph. D. (Tech.), Associate Professor **Gasanov G. M.**
(Makhachkala Branch of MADI)

Транспортная система, автомобильные дороги, социально-экономическое развитие, инвестиции, перспективы развития

Transport system, highways, social and economic development, investments, development prospects

В условиях Дагестана в силу административно-территориального деления и ряда рельефно-географических особенностей, уровень развития автодорог является одним из главных факторов, определяющих социально-экономическое развитие и политическую стабильность в республике. В статье рассматриваются перспективы развития транспортной системы Республики Дагестан

In the conditions of Dagestan owing to administrative-territorial division and of some is relief-geographical features, the level of development of highways is one of the primary factors defining social and economic development and political stability in republic. In article prospects of development of transport system of republic Dagestan are considered.

Анализ развития транспортной системы Республики Дагестан в контексте основных индикаторов социально-экономического развития республики (табл. 1) показывает, что торгово-транспортно-логистический комплекс (ТТЛК) занимает ведущее место [1]. Так, по добавленной стоимости к 2025 году вклад ТТЛК в ВРП будет достигать почти 40% при среднегодовой численности занятых в нем 276,6 тыс. чел. Следует отметить, что налоговые отчисления ТТЛК в бюджеты всех уровней достигнут 39,7 млрд. руб. По этому показателю отрасль значительно опережает все остальные наиболее значимые отрасли народного хозяйства республики (табл. 1).

Однако доля увеличения инвестиций в основной капитал ТТЛК планируется довести лишь до 3%. В то же время, в строительный и социально-инвестиционный комплекс прирост составит свыше сорока и двадцати процентов соответственно.

Столь непропорциональное распределение инвестиционных средств отрицательно скажется на развитии транспорта и, следовательно, в целом на выполнение программы социально-экономического развития республики.

Автомобильный транспорт обеспечивает львиную долю перевозок в Дагестане. В республике период 2000-2010 гг. характеризовался значительным ростом автомобилизации. Если в 2000 г. на 1 км автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием приходилось 25 автомобилей, то в 2010 г. – 35 автомобилей (в среднем по России – 45) [2].

В условиях Дагестана в силу административно-территориального деления и ряда рельефно-географических особенностей уровень развития автодорог является одним из главных факторов, определяющих социально-экономическое развитие и политическую стабильность в республике. На начало 2010 года автомобильными дорогами в республике занято 23,4 тыс. га земельной площади. Протяженность всех автомобильных дорог составила 11,9 тыс. км, из них с твердым покрытием 9,3 тыс. км.

Из общей протяженности автомобильные дороги с твердым покрытием составили 9301,4 км. В том числе, 22% – дороги республиканского значения, 6,5% – внутрихозяйственного, 6,9% – федерального, 53,2% – местного значения и 11,4% – ведомственные дороги. Всего количество сельских населенных пунктов, имеющих автотранспортную связь с сетью дорог общего пользования, составляет 1611 единиц, из них имеющих связь по дорогам с твердым покрытием – 83,1%. Всего протяженность дорог с твердым покрытием, имеющих подъезды к сельским населенным пунктам, составляет 7505,8 км, из них дороги общего пользования составляют 6908,8 км, в том числе обеспечивающих связь сельских населенных пунктов с дорогами общего пользования – 615 км.

Из общей протяженности обслуживаемой территориальной сети дорог 7437 км лишь 2355 км, или 31% имеют ас-

фальтобетонное покрытие. По этому показателю Дагестан занимает последнее место в Южно-Федеральном округе и одно из последних мест в Российской Федерации. Очень низка в общей структуре дорог доля дорог высокой категории – лишь 0,5% (это 74-е место, занимаемое республикой по Российской Федерации, а более 80% составляют дороги низших технических категорий).

Многие участки дорог республиканского значения, проходящие в горной части республики, по техническим параметрам и транспортно-эксплуатационным показателям не соответствуют современным требованиям по обеспечению безопасности движения и требуют реконструкции. Еще 12 районных центров горных районов не соединены с опорной сетью дорогами с асфальтобетонным покрытием.

Значительно хуже обстоит дело с местными дорогами. Лишь 16% из них по протяженности имеют асфальтобетонное покрытие. Более 70% по протяженности местных дорог по своим параметрам не соответствуют нормативам самой низкой V технической категории. К ряду населенных пунктов в высокогорных районах вообще нет дорог, а имеются лишь вьючные тропы.

Задачи, стоящие перед дорожной отраслью, были определены Программой совершенствования и развития автомобильных дорог Республики Дагестан на период 2001-2010 годы «Дороги Дагестана XXI Века» [3], предусматривающей постепенное выравнивание уровня развития дорожной сети с приближением ее до среднего российского показателя. Для успешной реализации этих задач намечалось ежегодное доведение объемов работ по строительству и реконструкции дорог в пределах 150-160 км и ремонту дорог от 260 до 300 км. Однако в связи с экономическими трудностями, обусловленными мировым финансовым кризисом, эти показатели достигнуты не были. Резко снились объемы ремонтных работ.

Стратегическим направлением государственной экономической политики должно стать развитие автодорожной инфраструктуры темпами, соответствующими росту интенсивности движения и нагрузок на автомобильные дороги [4]. При этом проблему строительства, реконструкции и эксплуатации автомобильных дорог необходимо рассматривать как составную часть комплексного развития республики в целом и ее отдельных регионов. Одна из важнейших задач – уменьшение негативных эффектов автомобилизации. Повышение безопасности дорожного движения должно рассматриваться как один из приоритетов государственной социально-экономической политики, при реализации которой вся деятельность федеральных и региональных органов управления должна быть скоординирована в рамках общенациональной программы, поддерживаемой на самом высоком государственном уровне и широко пропагандируемой.

Таблица 1.
Основные индикаторы социально-экономического развития Республики Дагестан (в ценах 2008 г.)

Показатель	2008 г.	2012 г.	2015 г.	2020 г.	2025 г.
Добавленная стоимость (ВРП), млрд. руб.	211,3	258,3–275,9	337,8–411,8	519,8–751,5	692,4–1059,9
<i>Торгово-транспортно-логистический комплекс</i>	60,6	77,5–87,2	101,3–136,4	175,0–286,8	239,8–413,3
Промышленный комплекс	3,8	6,6–7,1	16,8–26,8	46,4–89,7	54,7–108,3
Агропромышленный комплекс	34,5	42,2–44,9	54,3–64,6	68,6–93,1	84,8–125,1
Топливо-энергетический комплекс	7,8	7,8	9,3–9,5	11,9–13,2	14,6–18,3
Строительный комплекс	51,5	62,8–64,8	81,9–89,4	108,1–124,8	132,3–158,3
Социально-инновационный комплекс	38,9	47,2–48,9	56,1–63,9	82,1–107,6	122,1–174,0
Туристско-рекреационный комплекс	14,0	14,2–15,0	17,9–21,4	27,8–37,3	44,2–62,6
Среднегодовая численность занятых в экономике, относимых к экономическим комплексам, тыс. чел.	938,3	949,3–987,7	1046,4–1065,7	1112,8–1173,5	1116,3–1266,4
<i>Торгово-транспортно-логистический комплекс</i>	195,9	197,7–204,8	200,8–223,4	201,1–230,2	201,5–276,6
Промышленный комплекс	41,4	45,9–49,5	69,1–94,4	113,1–121,1	116,8–117,2
Агропромышленный комплекс	270,9	271,4–287,1	274,2–295,7	273,8–300,3	272,5–300,9
Топливо-энергетический комплекс	10,0	10,0	10,3–11,2	9,6–10,9	9,2–10,1
Строительный комплекс	98,8	98,5–104,2	121,5–132,2	119,1–133,3	134,9–149,3
Социально-инновационный комплекс	269,5	274,7–279,4	288,3–294,6	303,2–308,9	307,2–322,8
Туристско-рекреационный комплекс	51,8	51,1–52,6	56,2–57,8	72,3–74,5	73,8–90,5
Налоговые отчисления в бюджеты всех уровней, млрд. руб.	16,3	17,7–19,3	32,2–41,3	56,6–84,9	81,5–129,1
<i>Торгово-транспортно-логистический комплекс</i>	2,2	2,9–3,4	6,0–8,5	13,7–23,1	22,1–39,7
Промышленный комплекс	0,5	0,9	2,4–3,7	7,6–15,1	9,6–19,6
Агропромышленный комплекс	2,2	3,6–4,3	7,1–10,2	9,2–14,6	10,9–18,3
Топливо-энергетический комплекс	2,4	2,4	2,8	3,5–3,8	4,1–5,1
Строительный комплекс	1,5	2,0–2,2	6,1–7,2	9,3–11,1	12,9–15,7
Социально-инновационный комплекс	4,4	5,1–5,2	6,0–6,7	8,7–10,8	12,6–17,3
Туристско-рекреационный комплекс	0,1	0,3–0,4	1,1–1,3	3,3–4,4	7,4–10,5
Прочие налоговые доходы	3,0	0,4–0,5	0,8–1,0	1,3–2,0	1,9–3,0
Инвестиции в основной капитал, млрд. руб.	86,9	70,7–127,2	59,2–108,4	61,3–97,9	52,1–83,8
<i>Торгово-транспортно-логистический комплекс</i>	30,2	19,6–32,1	18,5–41,2	9,4–15,7	1,8–3,5
Промышленный комплекс	2,1	6,1–11,2	4,5–8,9	2,0–3,9	0,1–0,2
Агропромышленный комплекс	6,6	8,4–12,5	6,5–11,1	5,4–9,7	6,2–11,8
Топливо-энергетический комплекс	3,0	4,0–7,5	2,4–3,5	8,4–12,8	1,6–1,7
Строительный комплекс	28,9	22,8–31,4	15,5–24,1	18,9–30,8	21,3–34,7
Социально-инновационный комплекс	10,8	6,8–11,6	7,2–12,9	11,4–16,5	14,2–22,1
Туристско-рекреационный комплекс	5,3	3,1–20,9	4,6–6,8	5,8–8,6	6,8–10,0
Население, млн. чел.	2,7	2,8	2,9	3,0	3,0

Таблица 2.
Динамика ремонтных работ на дорогах общего пользования, км

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2010
Всего дорог отремонтировано	243,5	175,6	413,1	356,2	189,25	217,65	18,24	42,3
В том числе с твёрдым покрытием	40,4	58	160,5	161,5	99	121,6	8,24	14,2

Для сравнения опасности деятельности человека при выполнении работ в различных отраслях в табл. 3 и табл. 4 представлены сравнительные данные по вероятности летального исхода [5].

Таблица 3.
Сравнительные данные по вероятности летального исхода [5]

Отрасль народного хозяйства	Чел.ч на 1 млн. занятых в отрасли
Горные работы	3
Транспорт	3
Строительство	2
Добыча нерудных полезных ископаемых	1
Эксплуатация газопроводного оборудования и гидротехнических сооружений	0,6
Металлургическая промышленность	0,6
Деревообделочные работы	0,6
Пищевая промышленность	0,6
Целлюлозно-бумажная промышленность и печать	0,5
Электротехника, точная механика и оптика	0,4
Химия	0,4
Торговля, финансы, страхование, коммунальные услуги	0,4
Текстильная и кожевенно-обувная промышленность	0,3
Здравоохранение	0,2

Таблица 4.
Данные опасности деятельности человека при выполнении работ в различных отраслях

Вид деятельности	Чел.ч на 1 млн. занятых в отрасли
Профессиональная деятельность	3 ÷ 0,2
Участие в движении транспорта	10 ÷ 5
Занятие домашним хозяйством и свободное время	0,5
Тяжелые заболевания	3 ÷ 0,01

Как видно из приведенных данных, транспорт и участие в движении транспорта является наиболее опасным видом деятельности человека.

В области совершенствования грузовых перевозок на автомобильном транспорте должна быть предусмотрена разработка и реализация комплекса мер по дальнейшему расширению рынка автотранспортных услуг, обеспечению ускорения товародвижения и сокращению автотранспортных издержек.

Необходима научная поддержка автотранспортного бизнеса. В предстоящий период необходимо предусмотреть увеличение научных разработок в автотранспортной отрасли путем расширения объема выполняемых исследований по наиболее актуальным направлениям и проблемам автомобильного транспорта. Необходимо увеличение затрат на содержание автомобильных дорог для постоянного поддержания их в нормативном состоянии, увеличения объемов и темпов строительства новых дорог пропорционально вкладу в решение задач программы социально-экономического развития Республики Дагестан.

Литература

1. Стратегия социально-экономического развития Республики Дагестан до 2025 года.
2. Сборник статистических данных развития Республики Дагестан. Махачкала. 2010.
3. Программа совершенствования и развития автомобильных дорог Республики Дагестан на период 2001-2010 годы «Дороги Дагестана XXI Века»
4. Сильянов В.В., Домке Э.С. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. М.: Академия, 2008.
5. Мушик Э, Мюллер П. Методы принятия технических решений. М.: Издательство Мир. 1990.

Сведения об авторе

Гасанов Гасан Магомедович, к.т. н., доцент; Махачкалинский филиал Московского автодорожного института (МАДИ) 367026 Махачкала, просп. имама Шамиля, д. 1, Тел.: 8-872-251-67-39 (сл.), 8-903-482-62-50 (моб.) E-mail: mfmadi@mail.ru , gasanmadi@yandex.ru

ИНВЕСТИЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Кандидат техн. наук **Раткин Л. С.**
(Научно-производственное предприятие "АРГМ")

INVESTMENT ASPECTS OF PROJECTING OF SOFTWARE COMPLEXES FOR AUTOMATED ANALYSIS OF ROAD AND TRANSPORT INCIDENTS AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS

Ph. D. (Tech.) **Rathkeen L.S.**
(Scientific-production enterprise "ARGM")

Капиталовложения, инвестор, проектирование, программные комплексы, автоматизированный анализ, дорожно-транспортное происшествие (ДТП), региональные информационные системы

Investments, investor, projecting, software complexes, automated analyses, road & transport incidents (RTI), regional information systems

В статье рассматриваются инвестиционные аспекты проектирования региональных информационных систем и программных комплексов для автоматизированного анализа дорожно-транспортных происшествий.

In the article are discussed the investment aspects of projecting of regional information systems and software complexes for automated analysis of road & transport incidents.

Череда техногенных катастроф, происшедших в России в 2010–2011 гг, сфокусировала внимание экспертного сообщества на необходимости поиска оптимальных методов решения научной проблемы по обеспечению безопасности объектов жилищно-коммунальной и транспортной сферы. Практика создания специализированных программных комплексов и информационных систем свидетельствует, что минимизация рисков и снижение степени угроз может, в т.ч., достигаться за счет синергетического эффекта от объединения передовых разработок, каждая из которых должна обладать потенциалом роста, обеспечиваемым соответствующей научной школой, и стабильным финансированием по инвестиционным и бюджетным программам.

Одним из примеров разработки распределенных программных комплексов для мониторинга транспортных средств (ТС) являются информационные системы диспетчеризации и мониторинга ТС различного назначения регионального уровня (для субъекта федерации). При их использовании достигается значительный экономический эффект от оказания услуг диспетчеризации и мониторинга при формировании единой политики в сфере и выработке стратегии развития отрасли для централизованного управления и контроля ТС организаций и предприятий, интегрированных в транспортно-логистический комплекс региона с различной организаций и ведомственной подчиненностью. Системы данного класса обеспечивают стабильный рост финансово-экономических показателей региональных инвестиционных проектов по применению ТС для безопасной перевозки пассажиров и грузов.

Современная региональная информационная система имеет многоуровневую иерархическую структуру, позволяющую проводить детализацию на уровне персональных информационных средств, к числу которых, в частности, относятся информационные табло и тревожные кнопки на остановках и в общественных ТС, SMS-сервисы и WAP/WEB-доступ. Системы данного класса имеют возможность оперативно обрабатывать данные больших информационных массивов и генерировать перечень агрегированных показателей, характеризующих состояние на предприятиях и в организациях, в т.ч., например, через устанавливаемые на ТС диспетчерские центры мониторинга и абонентские терминалы. Процедуры сбора, хранения, архивирования и актуализации данных в Едином диспетчерском центре мониторинга оперативной ситуации в регионе производится регулярно на уровне органа исполнительной власти (например регионального министерства). Среди пользователей системы можно отметить пассажирские автотранспортные предприятия, службы спасения, торгово-промышленные компании, МВД, службы ЖКХ, таксопарки, медицинские учреждения, строительные фирмы, органы исполнительной власти муниципальных образований и субъекта федерации, службы пожарной охраны, доставки грузов и инкассации.

Стандартная комплектация системы позволяет подключить в единый контур обслуживания до 3 тысяч коммерческих ТС и до 2 тысяч муниципальных ТС. Это распределение не является обязательным, но отражает среднестатистические показатели по финансированию работ технического обслуживания региональных комплексов. В соответствии с условиями договоров между поставщиками и потребителями услуг коммерческий транспорт интегрирован в систему. По индивидуальным бизнес-планам рассчитываются капиталовложения по каждой группе ТС, принадлежащих одному предприятию.

Обобщенную информацию о мега-проекте по инвестированию в коммерческий ТС индивидуальных предпринимателей и частных фирм, являющихся пользователями системы, может дать сводная отчетная ведомость поэтапной реализации инвестиционной программы с агрегированными показателями по бизнес-планам всех обслуживаемых предприятий. С разной степенью периодичности из средств регионального бюджета производится расчет за услуги по подключению муниципального ТС. Вследствие этого возможны проблемы, связанные с порядком и очередностью следования выплат при встраивании в сеть нового ТС.

Деятельность региональных информационных систем, обеспечивающих функционирование ТС субъектов федерации, регламентируется мощной нормативно-правовой базой. Между тем, до сих пор отдельные положения в законодательстве имеют не обязательный, а рекомендательный характер. Необязательность исполнения отраслевого законодательства также влияет на рост затрат по созданию и поддержанию в работоспособном состоянии основных блоков и компонентов системы. Например, стоимость обслуживания одного ТС в месяц составляет от 50 до 100 рублей, обслуживание трафика из расчета на одно ТС – от 100 до 150 рублей. Очевидно, что предприятия среднего и крупного бизнеса могут быть преимущественными пользователями системы.

Согласно различным инвестиционным проектам стоимость услуг по разработке специализированных систем в данной сфере может варьироваться от 1 до 2 млн. долларов США. Из них затраты на настройку и монтаж оборудования составляют менее 10%, на подготовку Центра обработки мониторинговой информации и Единого диспетчерского центра – не более 20%, остальной объем проектных средств приходится на периферийное и абонентское обслуживание – свыше 70%.

Основные пути реализации инвестиционных проектов в данной сфере в условиях наблюдаемой стабилизации экономической ситуации в России и при отсутствии оправившихся после мирового финансового кризиса и готовых осуществлять масштабные капиталовложения стратегических инвесторов следующие.

Первый путь заключается в привлечении к разработке в качестве государственных гарантий средств муниципального или регионального бюджета. Применяемая в ряде случаев для

стимулирования инвестиций в инфраструктурные региональные проекты упрощенная система налогообложения может привлечь дополнительный капитал для создания единых диспетчерских центров и центров обработки мониторинговой информации, а также текущих эксплуатационных затрат.

Второй путь состоит в возможности получения капиталовложений из средств федерального бюджета. В случае соответствия методов, целей, названий и задач бизнес-плана основным положениям федеральных целевых программ (например, «Электронная Россия»), возможно выделение части засменных средств, в т.ч., на разработку и апробацию типовых программно-технологических решений.

Наконец, **третий путь** (и не последний!) пролегает через государственно-частное партнерство, приобретение неисключительной лицензии и покупку, в т.ч. частями, программного обеспечения и дорогостоящего абонентского оборудования для оснащения коммерческих перевозчиков. Важно отметить: права лицензиара и лицензиата, стоимость лицензий и порядок финансирования должны быть детально описаны в бизнес-планах. В технико-экономическом обосновании проектов необходимо указать возможные источники капиталовложений с приложением перечня инвесторов и деловых партнеров, с которыми проводились предварительные переговоры и подписывались, как минимум, соглашения о намерениях сотрудничества по проекту.

Внедрение региональной информационной системы способно дать мультипликативный эффект, в котором можно выделить пять ключевых показателей. Несомненно, для инвесторов важна *коммерческая* составляющая проекта, а именно: какой доход от эксплуатации системы может быть получен, и какова схема распределения прибыли при долевом участии в инвестиционном проекте как обычных граждан, в т.ч. обладающих статусом индивидуального предпринимателя, так и частных организаций и предприятий. Для региональных органов власти первоочередным при принятии положительного решения о финансировании проекта является наличие *социального* эффекта – неуклонного роста качества транспортного обслуживания населения, разгрузки транспортных сетей, увеличения степени трудовой занятости населения, повышения безопасности грузопассажирских перевозок и снижения социальной напряженности. Федеральные органы власти, софинансируя проект и оценивая принятые региональными/муниципальными властями решения, в первую очередь могут обратить внимание на их *экономическую* эффективность: сокращение текущих издержек по основным затратным статьям, степень эксплуатации ТС региона и снижение бюджетных расходов на финансирование дотационных предприятий. Нельзя не учитывать эффект от обеспечения *безопасности*, предполагающий создание программных комплексов и информационных систем и формирование централизованных узлов и сетей связи для оптимизации работы и управления региональных ТС. Наконец, по достоинству может быть оценен топ-менеджментом ведущих отраслевых предприятий, стратегическими инвесторами и представителями органов законодательной и исполнительной власти *организационный* эффект – сам факт создания единой системы управления региональным транспортным комплексом с координацией деятельности подведомственных служб, организаций и предприятий.

Поскольку экономический эффект от внедрения инновационных и инвестиционных проектов для инвесторов имеет важное, а порой и решающее значение, следует отметить, что он стимулирует повышение эффективности организации труда. Вместо привлечения дополнительных сотрудников происходит перераспределение функций и полномочий между штатными сотрудниками, «перезагрузка» и разгрузка которых повысит оперативность подготавливаемых данных на фоне значительного повышения качества их работы. Также благоприятно разрешается одна из самых сложных проблем предприятий транспортной сферы – учет горюче-смазочных материалов (ГСМ): ожидаемое сокращение расходов на ГСМ, согласно экспертным оценкам, может составлять до 15% от уровня, соответствующего началу реализации на предприятии инвестиционного проекта. Внедрение проекта способно также увеличить выручку от 50 до 90%, сократить пробег ТС до 10% и снизить транспортные простои до 20%.

Уже внедрены на транспортных объектах российской столицы отдельные изделия, предлагаемые к серийному производству в рамках ряда инвестиционных и инновационных проектов. Важным компонентом системы является оперативная двусторонняя голосовая связь дежурного и вызывающего абонента – работы по оснащению оборудованием типа «кнопка Info» и «кнопка SOS» свыше двух лет проводятся на станциях московского метрополитена для повышения качества транспортного обслуживания населения. Перспективой реализации проектов является создание сети оперативных пунктов связи: на предприятиях, на станциях электропоездов и остановках автобусов и троллейбусов, опасных переездах и перекрестках.

Помимо оборудования классов «Info» и «SOS», организации могут устанавливать программные комплексы для непрерывного автоматического мониторинга местоположения и состояния ТС, учитывающих режимы их использования и нормы труда. Двухуровневая надстройка («уровень предприятия» и «уровень персональной информации») позволяет третьему уровню «системы органов исполнительной власти» формировать единое информационное поле данных о траектории перемещения и местоположении каждого элемента системы и осуществлять оперативное реагирование на критические ситуации с гибким применением сил и средств. Эти возможности, в свою очередь, обеспечивают главное свойство системы: *создание сети центров сбора мониторинговой информации – ситуационных центров, функционирующих в режиме непрерывной обработки информации о развитии чрезвычайных ситуаций*. Сбалансированность информационных потоков обеспечивается высокоскоростными телекоммуникационными каналами связи, позволяя перемещать Центр оперативного управления страной, федеральным округом и регионом практически в любой узел сети за счет привлечения технологий распределенных вычислений.

Вышеуказанные эффекты от реализации отраслевых инвестиционных проектов достигаются в шесть этапов. Первый этап заключается в формулировании технико-экономического обоснования и технического задания проекта с уточнением перечня основных и дополнительных проектных параметров и согласовании диапазона их значений с привязкой к каждому из предприятий, автоматизация которых планируется. На втором этапе наибольшее внимание уделяется конструированию и опытной эксплуатации пилотного участка Единого диспетчерского центра системы, на третьем – пилотному проектированию сети на базе нескольких предприятий. Четвертый этап вводится для доработки элементов системы с учетом двух предшествующих этапов, пятый посвящен внедрению оборудования системы на муниципальных предприятиях и организациях. Завершающий шестой этап используется для развертывания на базе сконструированной сети системы базового набора коммерческих услуг для граждан и частных предприятий. Таким образом, успешно реализованы региональные проекты по созданию ряда информационных систем в Московской области, систем мониторинга и диспетчеризации автотранспорта и мониторинга транспортных средств, а также региональных информационных систем транспортного комплекса субъектов федерации.

Конструирование средств автоматизированного разбора ДТП на основе инерциально-спутниковых измерителей параметров движения ТС также возможно на программной платформе системы. Измеритель является аналогом устанавливаемых в странах ЕС «черных ящиков» для автомобилей, поскольку он предназначен для регистрации параметров движения наземного ТС без подключения к системам автомобиля. Автономность устройства обусловлена применением системы специализированных датчиков и модулей т.н. «собственной памяти». Изделия подключаются к источнику постоянного тока и устанавливаются в любом месте автомобиля. Непрерывная запись с частотой обновления данных до 10 Гц производится в течение 48-50 часов. При заполнении накопителя запись по циклу производится на первые секторы памяти, тем самым обеспечивая сохранность данных о последних часах работы. По завершении работы карта памяти извлекается из накопителя для перемещения информации на ПЭВМ. Специальное программное обеспечение позволяет проанализировать данные и получить траекторию перемещения ТС. Базовыми компонентами комплексов являются малогабаритные

интегрированные системы: антенны приемников устанавливаются на крыше ТС и подключаются кабелем к гнезду на ударопрочном корпусе. Программно-аппаратные комплексы позволяют идентифицировать каждое ТС, регистрировать его параметры в цифровом накопителе данных, анализировать движение, рассчитывать его параметры, сохранять данные на ПЭВМ. Комплексы способны сигнализировать о превышении эксплуатационных ограничений, фиксировать данные о скорости, траектории движения, моменте заноса, силе и направлении возможного удара при ДТП. Программное обеспечение интерполирует данные в случае кратковременного пропадания сигналов, восстанавливает параметры движения под мостами, в районах высотной застройки, под путепроводами и в тоннелях, синхронизируя по времени действия участников ДТП. Предусмотрены режимы определения идентификации характера движения по библиотеке типов движений и моментов опрокидывания. Оснащение программными комплексами участников ДТП позволяет однозначно установить картину происшествия и проанализировать в интерактивном режиме на ПЭВМ возможные варианты разрешения аварийной ситуации. Подключенные к комплексу цифровые системы передачи данных (например радиомодемы) передают сигналы о превышении критических значений параметров движения, резком торможении и заносе, скорости и столкновении (с характеристиками удара по скорости и направлению), а также об опасном стиле вождения автомобиля. Программно-аппаратные комплексы позволяют проанализировать динамику движения участников ДТП в реальном времени в цифровом плане с любой точки наблюдения или в трехмерной модели, распечатывать графики параметров движения участников ДТП, восстанавливать схему аварии и место ДТП с раскладкой местоположения участников ДТП до и после моментов столкновения и реконструировать на карте траектории движения участников ДТП.

В завершение отметим, что одним из многочисленных примеров реализации инвестиционных проектов в данной сфере является разработка автоматизированных систем для взимания платежей на платных магистралях. Системы позволяют рассчитывать стоимость в зависимости от времени суток, загруженности магистрали, наличия препятствий, затрудняющих движение по магистрали (ДТП, пробки и т.д.), фиксировать этапы проезда и определять оптимальные параметры движения (скорость и время перемещения по магистрали). Считывание информации о проезжающих зону оплаты автомобилях возможно различными способами, но после их идентификации информация может быть записана на внешний носитель. Таким образом, возможно создание баз данных о перемещениях через участок (группу участков) платной магистрали автомобилей с указанием периодичности перемещений, скорости и частоты, что может использоваться для формирования системы бонусов клиентам, регулярно пользующимся услугами фирм, поддерживающих платный участок трассы в надлежащем состоянии.

ВЫВОДЫ

1. Использование региональных информационно-аналитических систем и программно-информационных комплексов автоматизированного анализа ДТП рядовыми пользователями предполагает ужесточение требований по разработке средств защиты персональных данных [1], в т.ч., методами компьютерной стеганографии [2], что предполагает гармонизацию российского и зарубежного стандартов информационной безопасности.
2. Существенная доработка нормативно-правовой базы необходима для ужесточения степени ответственности за чрезвычайные ситуации на транспорте и в сфере ЖКХ. Устранение противоречий в законодательстве и правовых пробелов, касающихся распределения степени ответственности руководителей предприятий, будет способствовать повышению качества работы транспортных предприятий и организаций ЖКХ.
3. Внедрение систем учета проезда по платным магистралям в России целесообразно только после проведения работ по капитальному строительству и реконструкции существующих автомобильных трасс. Необходимо законодательно установить меру ответственности и систему штрафов для владельцев автомагистралей в случае ненадлежащего или некачественного предоставления услуг автовладельцам.
4. Мультипликативный эффект от внедрения информационных систем позволяет рассчитывать на формирование долгосрочных региональных программ привлечения инвесторов, предполагающих создание структурированного спроса на рынке инвесторов с пакетированием предложений со стороны потенциальных заказчиков.

Литература

1. Котенко И.В., Саенко И.Б., Юсупов Р.М. Научный анализ и поддержка политик безопасности в киберпространстве // Вестник Российской академии наук, 2011, том 81, № 9.— С. 844–845.
2. Раткин Л.С. Патент на изобретение № 2322693.

Сведения об авторе

Раткин Леонид Сергеевич, к.т.н., начальник отдела научных разработок научно-производственного предприятия «АРГМ», действительный член Европейской академии естественных наук и Международной академии информатизации, член-корр. Российской академии естественных наук, офицер запаса (ВУС 121301)

127006, г. Москва, ул. Долгоруковская, 5.
Тел. 8-915-450-77-67 (моб.), (499) 251-85-32 (сл.)
E-mail: rathkeen@bk.ru

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА С ЭЛЕКТРОВОЗОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА И ДИСКРЕТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ СИЛОЙ ТЯГИ

Аспирант Алпатов А. И.

(Московский государственный университет путей сообщения. МИИТ).

AUTOMATIC MANAGEMENT OF SPEED OF FREIGHT TRAIN WITH DC ELECTRIC LOCOMOTIVE AND DISCRETE MANAGEMENT OF PULLING FORCE

Post-graduate student Alpatov A. I.

(Moscow State University of Railway Engineering)

Электроподвижной состав, электровоз, управление скоростью движения, система автоматического управления, алгоритм управления

Composition of electro, locomotive, speed control, cruise control, control algorithm

Рассматривается система автоматического управления скоростью движения грузового поезда с электровозом постоянного тока и дискретным управлением силой тяги. Закон управления дополнен коррекцией управляющего воздействия в зависимости от значений установившихся скоростей движения на ходовых позициях управления электровоза. Исследование работы системы и оценка эффективности предложенного алгоритма, выполненная на математической модели системы совместно с дискретной многомассовой моделью поезда показывает значительное снижение числа переключений позиций управления электровозом, а также снижение суммы накопленных усталостных повреждений автосцепок поезда.

Consider a system of automatic management of speed freight train with DC electric locomotive and discrete management of pulling force. Law management is supplemented with correction of control action depending on values of running speeds at main positions of management DC electric locomotive. Researching of the system and evaluating the effectiveness of the proposed algorithm, were performed on a mathematical model of the system together with multimass discrete model of trains, shows a significant decrease in the number of switching positions management of DC electric locomotive reduction in the amount of accumulated fatigue damage couplers of train.

Одним из способов повышения безопасности движения поездов и повышения экономической эффективности железнодорожного транспорта является применение систем автоведения поездов (САВП). Результат достигается вследствие улучшения использования пропускной способности железных дорог за счет более точного соблюдения графика движения поездов, реализации траекторий движения поездов, обеспечивающих минимум затрат топливно-энергетических ресурсов на тягу при заданном времени хода, уменьшения вероятности опасного сближения поездов при следовании в попутном направлении, а также снижения утомляемости машиниста в результате освобождения его от выполнения ряда операций по управлению поездом.

Опыт разработки и эксплуатации систем автоведения показал перспективность применения многоконтурных систем, у которых внешний контур регулирования времени хода осуществляет выбор режимов движения, обеспечивающих минимальный расход электроэнергии при заданном времени хода. Система автоматического управления (САУ) скоростью, являющаяся внутренним контуром, реализует заданные регулятором времени хода режимы движения, для чего осуществляет управление тяговым электроприводом локомотива [1].

Существует значительное количество работ, посвященных разработке САУ скоростью грузовых и пассажирских электровозов с дискретным управлением тягой [2, 3, 4, 5]. Тем не менее, вопрос создания САУ скоростью для подобных электровозов является проработанным не до конца, т.к. в существующих системах формирование управляющего воздействия осуществляется без учета особенностей поезда как объекта управления, что способствует возникновению динамических реакций в поезде при переходных режимах движения.

В этой связи предлагается САУ скоростью грузового электровоза с дискретным управлением тягой, функциональная схема которой приведена на рис. 1.

В данной системе реализован закон управления, использующий в своей основе релейный импульсный закон управления первого порядка с коррекцией по ускорению, положительно зарекомендовавший себя при использовании на пассажирских электровозах с дискретным управлением тягой [5]:

$$N_{\text{ход}}(t) = N_{\text{ход}}(t-T) + \Delta N_{\text{ход}}(t), \quad (1)$$

$$\Delta N_{\text{ход}}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } (\Delta v > \Delta) \wedge (N_{\text{ход}}(t-T) < N_{\text{max}}) \wedge \\ & \wedge (I < I_{\text{max}}) \wedge (F < F_{\text{max}}) \\ 0, & \text{если } (|\Delta v| \leq \Delta) \\ -1, & \text{если } (\Delta v < -\Delta) \wedge (N_{\text{ход}}(t-T) > 0) \end{cases},$$

где $N_{\text{ход}}(t)$ – номер ходовой позиции электровоза в момент времени t ;

$\Delta N_{\text{ход}}(t)$ – приращение номера ходовой позиции электровоза;

T – период (такт) работы импульсного элемента регулятора;

N_{max} – номер максимальной ходовой позиции электровоза;

I и I_{max} – фактический и максимально допустимый ток тягового двигателя электровоза;

F и F_{max} – фактическая и максимально допустимая по условиям сцепления сила тяги локомотива;

$\Delta v = v_{\text{зад}} - (v^* + Ka^*)$ – величина рассогласования по скорости, скорректированная по ускорению;

$v_{\text{зад}}$ – заданный уровень скорости;

v^* и a^* – полученные в трактах измерения значения скорости и ускорения движения электровоза;

K – коэффициент коррекции по ускорению.

Существенным фактором, который необходимо учитывать при выборе структуры и параметров САУ скоростью электровозов с дискретным управлением тягой, является ограничение на количество переключений коммутационной аппаратуры, т.к. значительное их число приводит к быстрому износу электроаппаратов и выходу их из строя [6].

Для этого следует использовать возможность достижения заданного значения скорости движения, используя различные варианты управления тяговым приводом, например, регулирование напряжения или магнитного потока [7]. Особенно важным это является при разработке САУ скоростью восьмиосных электровозов, что вызвано неравномерностью расположения их тяговых характеристик при различных напряжениях на тяговых двигателях.

С этой целью при работе САУ скоростью в блоке ПУЗ циклически вычисляется вектор $V_{\text{уст}}$, компонентами которого $v_{\text{уст}}(N_{\text{ход}})$ являются значения установившихся скоростей движения поезда по данному участку пути на всех возможных ходовых позициях управления. В качестве допустимых для выбора ходовых позиций в УУ применяются те, для которых выполняется соотношение:

$$0,8V_{\text{зад}} < v_{\text{уст}}(N_{\text{ход}}) < 1,2V_{\text{зад}}, \quad (2)$$

где $v_{\text{уст}}(N_{\text{ход}})$ – величина установившейся скорости движения на позиции $N_{\text{ход}}$.

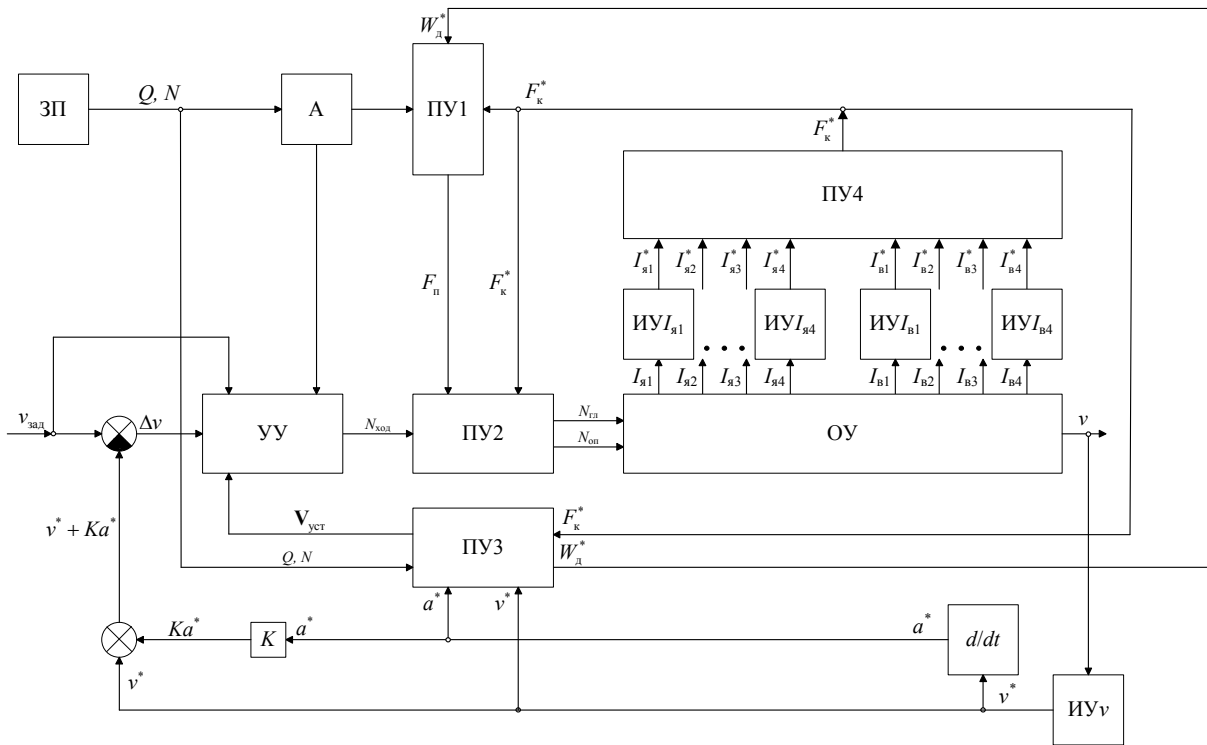


Рис.1. Функциональная схема САУ скоростью движения

Таким образом, с учетом того, что в предлагаемой системе проверка условий на ограничение максимального тока электровоза ($I < I_{\max}$) и максимальной силы тяги электровоза ($F < F_{\max}$) вынесена в блок ПУ2, работа устройства управления, реализующего закон (1), а также упомянутую коррекцию, определяется следующим выражением:

$$N_{\text{ход}}(t) = N_{\text{ход}}(t - T) + \Delta N_{\text{ход}}(t), \quad (3)$$

$$\Delta N_{\text{ход}}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } (\Delta v > \Delta) \wedge \\ & \wedge (v_{\text{уст}}(N_{\text{ход}}(t - T) + 1) < 1, 2v_{\text{зад}}) \wedge \\ & \wedge (N_{\text{ход}}(t - T) < N_{\max}) \\ 0, & \text{если } (|\Delta v| \leq \Delta) \\ -1, & \text{если } (\Delta v < \Delta) \wedge \\ & \wedge (v_{\text{уст}}(N_{\text{ход}}(t - T) - 1) > 0, 8v_{\text{зад}}) \wedge \\ & \wedge (N_{\text{ход}}(t - T) > 0) \end{cases},$$

где $v_{\text{уст}}(N_{\text{ход}})$ – рассчитанная величина установившейся скорости движения на позиции $N_{\text{ход}}$.

Рассмотрим работу САУ скоростью более подробно. Величина заданной скорости движения $v_{\text{зад}}$ поступает с выхода системы верхнего уровня на вход блока УУ.

Блок ПУ2 предназначен для обеспечения необходимой последовательности переключений в силовой цепи электровоза, чем достигается требуемый режим работы электрооборудования. Необходимое время задержки между переключениями определяется на основе сопоставления величины оценочного значения касательной силы тяги электровоза F_k^* и величины F_p , формируемой блоком ПУ1. Также блок ПУ2 обеспечивает защиту тяговых двигателей от перегрузок путем формирования сигнала на уменьшение номера позиции при достижении током тяговых двигателей максимально допустимого значения $I_{\max}$, например из-за снижения скорости поезда при движении на подъем (на схеме линии связи от блоков измерения тока якоря ИУ $I_{я}$ до ПУ2 не показаны).

Блок ПУ1 служит для задания темпа разгона поезда путём формирования сигнала, задающего величину касательной силы тяги электровоза F_p , определяющую моменты переключения между позициями управления. Переключение на следующую позицию осуществляется при снижении величины оценки касательной силы тяги электровоза F_k^* до порогового значения F_p , определяемого системой управления.

Величина F_k^* вычисляется в соответствии со следующим выражением [7]:

$$F_k^* = 2c_f \cdot \sum_{i=1}^4 I_{яi}^* \cdot \Phi(I_{вi}^*), \quad (4)$$

где F_k^* – значение оценки касательной силы тяги электровоза, Н;

$$C_f = \frac{\mu \eta p N}{\pi D_0 a} \quad \text{– конструктивная постоянная колесно-моторно-го блока электровоза;}$$

$I_{яi}^*$ и $I_{вi}^*$ – значения токов обмоток якоря и возбуждения i -ой пары тяговых двигателей;

$\Phi(I_{вi}^*)$ – магнитный поток обмотки возбуждения i -ой пары тяговых двигателей, вычисляемый в зависимости от тока обмотки возбуждения тягового двигателя $I_{вi}^*$.

Для повышения качества управления в системе предусмотрено обеспечение разгона в два этапа с задержкой между ними [8]. На первом этапе, соответствующем троганию поезда с места и началу разгона (а также повторному включению тяги после выбега), величина F_p определяется в соответствии с временной характеристикой инерционного звена первого порядка:

$$F_p(t) = F_{\text{тр}} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right], \quad (5)$$

где $F_{\text{тр}}$ – значение силы тяги при трогании поезда, определяемое в зависимости от параметров состава, кН;

τ_1 – значение постоянной времени звена, с.

По прошествии времени задержки $t_{\text{тр}}$ сигнал F_p увеличивается по линейному закону до наибольшего значения, реализуемого при разгоне F_p :

$$F_p(t) = \begin{cases} F_p(t_{\text{тр}}) + a(t - t_{\text{тр}}), & \text{если } F_p(t) < F_p \\ F_p, & \text{если } F_p(t) \geq F_p \end{cases}, \quad (6)$$

где F_p – наибольшее значение силы тяги при разгоне поезда, определяемое в зависимости от параметров состава, кН;

a – параметр, характеризующий скорость нарастания сигнала F_p , кН/с.

Время задержки $t_{\text{тр}}$ между ступенями разгона определяется по следующей формуле [9]:

$$t_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{(2 \cdot (N-1) \cdot \Delta_{0i})}{a_{\text{тр}}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^N \left(\left(\frac{F_{\text{тр}}}{N-1} \right) / k_{\text{нi}} \right) \cdot i}{a_{\text{тр}}}}, \quad (7)$$

где N – количество вагонов в поезде;

$\Delta_{0i}, k_{\text{нi}}$ – значения средней величины зазора в автосцепке и средней жёсткости ветви нагружения характеристики поглощающего аппарата автосцепки соответственно [10, 11];

$F_{\text{тр}}$ – сила тяги при трогании.

Величина ускорения $a_{\text{тр}}$ определяется следующим образом [9]:

$$a_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{тр}} - W_{0\text{тр}}}{m}, \quad (8)$$

где $W_{0\text{тр}}$ – величина основного сопротивления движения при трогании поезда с места, определяемая в соответствии с методикой, описанной в [12];

m – масса поезда.

Для исключения резкого возрастания тока и силы тяги при наборе позиций после продолжительного движения на автоматической характеристике при реализуемой силе тяги меньше чем $F_{\text{р}}$, величина $F_{\text{п}}$ уменьшается до текущего значения $F_{\text{к}}^*$ по экспоненциальному закону с постоянной времени τ_2 .

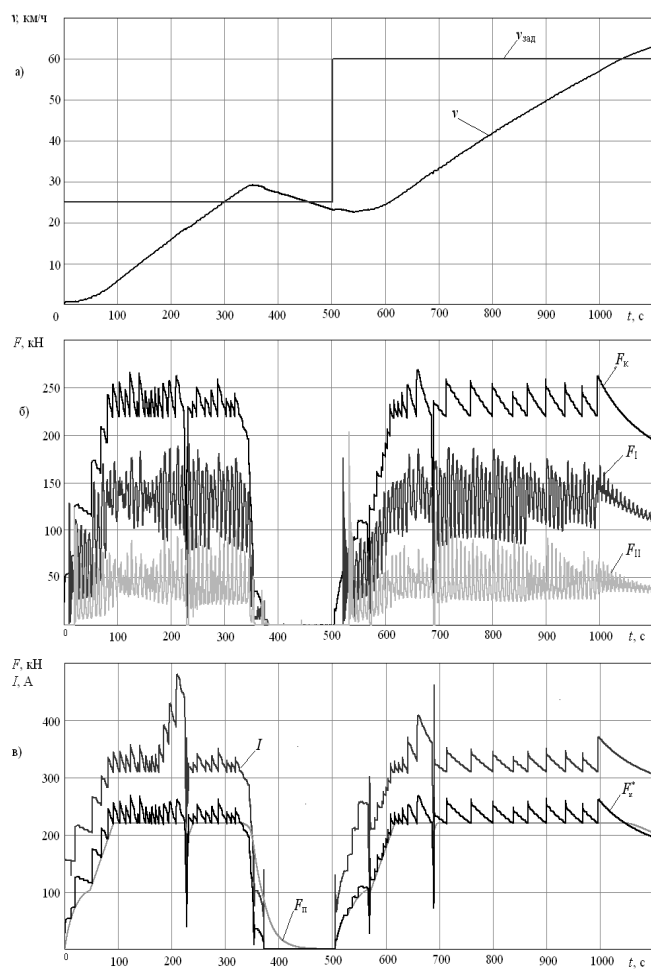


Рис.2. САУ скорости с регулятором, реализующим закон управления (1):

v – скорость движения поезда; $v_{\text{зад}}$ – заданная скорость;
 $F_{\text{к}}$ – сила тяги электровоза; $F_{\text{п}}, F_{\text{п}}$ – величины продольных сил между 40–41 и между 80–81 вагонами соответственно;
 I – ток тяговых двигателей электровоза;
 $F_{\text{к}}^*$ – оценочное значение силы тяги электровоза;
 $F_{\text{п}}$ – величина, формируемая блоком ПУ1

Исследование работы САУ скоростью с предложенной структурой было выполнено методом имитационного моделирования. При выполнении расчетов была использована дис-

кретная многомассовая модель поезда массой 6184 т, состоящего из 100 вагонов по 60 т и электровоза ВЛ10. На рис. 2 и рис. 3 приведены графики зависимостей от времени скорости движения поезда v , заданной скорости $v_{\text{зад}}$, силы тяги электровоза $F_{\text{к}}$, величин продольных сил между 40–41 ($F_{\text{п}}$) вагонами и между 80–81 вагонами ($F_{\text{п}}$), а также тока тяговых двигателей электровоза I , оценочного значения его силы тяги $F_{\text{к}}^*$ и величины $F_{\text{п}}$, формируемой блоком ПУ1. При этом на рис. 2 приведены результаты моделирования САУ скоростью, реализующей закон управления (1) – вариант 1, а на рис. 3 – реализующей закон управления (3) – вариант 2.

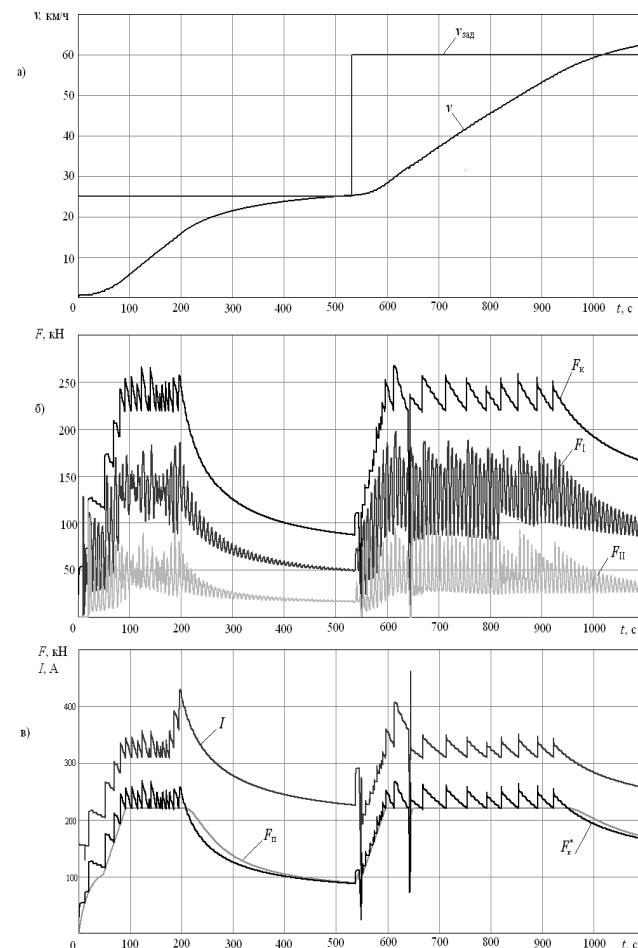


Рис. 3. САУ скорости с регулятором, реализующим закон управления (3); обозначения аналогичны рис. 2

Рассматривается режим трогания с места и разгона поезда до величины $v_{\text{зад}} = 25$ км/ч с последующей стабилизацией и повторным разгоном до 60 км/ч. При обоих вариантах регулятора первоначально разгон осуществлялся на последовательном (С) соединении тяговых двигателей. Далее, в варианте 1, для достижения заданной скорости был выполнен кратковременный переход на последовательно-параллельное (СП) соединение тяговых двигателей электровоза, что привело к более быстрому её достижению, чем при варианте 2, однако затем последовало отключение тяговых двигателей электровоза и переход на выбор в результате превышения величины фактической скорости заданного значения. Во втором случае достижение заданной скорости происходит при последовательном соединении тяговых двигателей с применением третьей ступени ослабления возбуждения ОВЗ, как видно, в данном случае отключения тяги не происходит.

Анализ результатов расчета показал, что при первом варианте за время движения происходит восемь изменений соединения тяговых двигателей, а при втором варианте – только три, что способствует значительному снижению износа коммутационной аппаратуры. Величина суммы накопленных усталостных повреждений автосцепок поезда, позволяющая учесть качество переходных процессов в поезде [13], снизилась со

значения $2,25 \cdot 10^{-8}$ при первом варианте до $1,14 \cdot 10^{-8}$ при втором, т. е. почти в два раза. Максимальная величина продольной динамической силы в автосцепках, также используемая для оценки качества управления скоростью движения грузового поезда [13], практически не изменилась и составила 262 кН в первом и 267 кН во втором случае. Величина среднеквадратического отклонения фактической скорости от заданной [2] уменьшилась с 19,5 км/ч при первом варианте до 15,4 км/ч при втором варианте.

Как видно из результатов, использование предлагаемой САУ скоростью движения грузового поезда, способствует существенному повышению качества управления за счет снижения числа переключений в силовой цепи и снижает величину суммы накопленных усталостных повреждений в автосцепках, повышая безопасность движения поездов из-за снижения вероятности их разрыва.

Литература

1. Баранов Л. А., Головичер Я. М., Ерофеев Е. В., Максимов В. М. Микропроцессорные системы автоведения подвижного состава. Под ред. Л. А. Баранова. М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Аснис И. А. Система автоматического управления на базе микроЭВМ для пассажирских поездов с электрической тягой. Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: МИИТ, 1987. – 236 с.
3. Пясик М. С. Энергооптимальная система автоведения электропоездов, адаптированная к условиям движения. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. ВНИИЖТ, Москва, 2003. – 22 с.
4. Савоськин А. Н., Антонюк М. С. Регулятор скорости для электровоза ЧС2К с индивидуальными электропневматическими контакторами. ЭЭТ: Электрон. и электрооборуд. трансп., 2006 - № 6 - С. 19-21.
5. Баранов Л. А., Головичер Я. М., Аснис И. А. Исследование регулятора скорости для пассажирских поездов с электрической тягой. // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – №3. – С. 24 – 27.
6. Головичер Я. М. Исследование процесса автоматического управления скоростью поезда. – Тр. МИИТ, 1980 – вып. 661 – С. 60–71.
7. Осипов С. И., Осипов С. С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д тр-та – М.: УМК МПС России, 2000 – 592 с.
8. Баранов Л. А., Савоськин А. Н., Пудовиков О. Е. Новая структура системы автоматического управления скоростью движения грузового электровоза // Электроника и электрооборудование транспорта, 2010 – №2-3 – С. 6–10.
9. Пудовиков О. Е. Параметрический синтез системы автоматического управления скоростью движения грузового поезда. // Транспорт: Наука, техника, управления, 2010 – №4 – С. 22–27.
10. Блохин Е. П., Манашкин Л. А. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания). М.: Транспорт, 1982 – 222 с.
11. Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер и др. Расчёты и испытания тяжёловесных поездов.; Под ред. Е. П. Блохина. – М.: Транспорт, 1986 – 263 с.
12. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985 - 287 с.
13. Баранов Л. А., Савоськин А. Н., Пудовиков О. Е. Критерии качества регулирования скорости. // Мир транспорта, 2009 - №4 - С. 50–56.

Сведения об авторе

Алпатов Алексей Игоревич, аспирант кафедры "Электрическая тяга" Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)
127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9
Тел.: 8-499-742-40-38 (дом.), 8-916-356-87-12 (моб.)

РИСКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Доктор техн. наук, профессор **Покровский А. К.**,
аспирант **Башмаков И. А.**, аспирант **Комаров А. А.**

(Московский автомобильно-дорожный институт. Государственный технический университет – МАДИ ГТУ)

RISKS OF PRODUCTIONS

Doctor of Science (Tech.), Professor **Pokrovsky A. K.**,
Post-graduate student **Bashmakov I. A.**, Post-graduate student **Komarov A. A.**
(Moscow auto-road state technical university)

Транспорт, риск, вероятность, ущерб, расчет, система

Transport, risk, probability, damage, calculation, system

В статье рассказывается о рисках производственных процессов. Приводятся примеры расчета уровня риска и оценки его величины в транспортных системах.

In article it is told about risks of productions. Calculations of a risk level and an estimation of its size in transport systems are made.

Отличительной особенностью функционирования любых хозяйствующих (системных) образований в условиях рыночной экономики является большая неопределенность внешней среды, обуславливающая высокий уровень энтропии предпринимательской деятельности, что, соответственно, требует использования самых разнообразных способов минимизации предпринимательских рисков. И здесь никакая гениальность, никакие способности [3] не могут уничтожить риск. Существуют лишь способы смягчить его последствия. Кроме того, необходимо учитывать, что попытки избежать риски в предпринимательской деятельности – это стагнация бизнеса.

Расчет рисков – один из элементов социально-экономической системы, без которого создается ситуация следования за рисками, а не сведения их к минимуму. Оценка соответствия риска его минимуму есть демонстрация соблюдения определенных требований, относящихся к продукту, услуге, процессу, системе, лицу.

К основным этапам реализации работы по комплексному представлению о совокупности рисков, т.е. портфеле рисков, относятся: установление контекста; выявление области рисков; составление профилей рисков; установление индикаторов рисков; обработка рисков; составление паспортов рисков на основе стандартов; мониторинг и обзор; коммуникация.

Рассмотрение рисков в совокупности позволяет эффективно организовать информационные потоки, позволяющие комплексно решать проблемы; обеспечить безопасность принимаемых решений (включая отсутствие утечек информации, своевременность принятия решений, преодоление административных барьеров и т.д.); обеспечить всесторонний учет ограничений (ресурсных и временных) для принятия решений.

С помощью установления контекста предприятие формирует цели; определяет внешние и внутренние параметры, принимаемые в расчет при управлении рисками; устанавливает область и критерии рисков.

Выявление области рисков предусматривает формирование отдельных сгруппированных объектов анализа рисков.

Установление индикаторов риска предполагает установление критериев с заданными параметрами, отклонение от которых или соответствие которым позволяет осуществлять выбор объекта контроля.

Составление профилей рисков представляет собой совокупность сведений об областях рисков, индикаторах рисков, а также указания о применении необходимых мер по минимизации рисков.

Обработка рисков включает в себя циклический процесс, предусматривающий оценку результатов обработки рисков, принятие решения о приемлемости остаточного уровня рисков, оценку эффективности этой работы.

Рассмотрим некоторые виды рисков.

Коммерческий риск – это риск, возникающий в процессе реализации товаров и услуг, производственных или закупленных предприятием. Причинами коммерческого риска являются: снижение объема реализации вследствие изменения конъюнктуры или других обстоятельств, повышение закупочной цены товаров (услуг), потери товаров в процессе обращения, повышения издержек обращения и др.

Так, расчет коммерческого индекса риска на транспорте [2], связанного с вариациями тарифной политики на грузовые перевозки по основным видам транспорта, проведем по соотношению:

$$P_m = 1 - P_{m1} : P_{m0},$$

где: P_m – индекс коммерческого риска в динамике тарифной политики; P_{m0} , P_{m1} – индексы тарифов на грузовые перевозки основными видами транспорта соответственно в базовом и оцениваемом периодах.

Оценку коммерческого риска по объему перевозок производством по следующему соотношению:

$$P_{on} = 1 - [\alpha_1(Q_{ep1} : Q_{ep0}) + \alpha_2(Q_{nacc1} : Q_{nacc0})],$$

где: P_{on} – индекс коммерческого риска по объему перевозок; Q_{ep0} и Q_{ep1} – грузооборот соответственно в базовом и оцениваемом периодах; Q_{nacc0} и Q_{nacc1} – пассажирооборот в базовом и оцениваемом периодах; α_1 , α_2 – весовые коэффициенты, характеризующие значимость грузовых и пассажирских перевозок.

Обобщенный индекс коммерческого риска определяется по формуле:

$$P_{\Sigma} = 0,5 \cdot (P_m + P_{on}),$$

где: P_{Σ} – комплексный показатель, характеризующий уровень коммерческих рисков в транспортной системе.

В связи с изложенным могут быть рекомендованы следующие интервальные значения P_{Σ} :

- при $P_{\Sigma} > 0,4$ – уровень коммерческих рисков на предприятии следует рассматривать как критический, способный полностью парализовать в нем перевозочные процессы;
- при $0,2 < P_{\Sigma} < 0,4$ – уровень коммерческих рисков следует считать угрожающим для экономической самостоятельности предприятия;
- при $0,1 < P_{\Sigma} < 0,2$ – уровень коммерческих рисков считать нормальным;
- при $P_{\Sigma} < 0,1$ – уровень коммерческих рисков можно считать предельно малым, соответствующим относительно стабильному состоянию экономики предприятия.

Финансовый риск связан с возможностью невыполнения предприятием своих финансовых обязательств. При этом под финансовым состоянием следует понимать способность предприятия финансировать свою деятельность. И здесь коэффициент финансового риска равен отношению заемного капитала к собственному.

К финансовым рискам относится и кредитный риск для предприятия, заключающийся в возможном отказе коммерческого банка предоставить или продлить кредит. К факторам, его определяющим, относятся: срок займа, процентная ставка, порядок погашения, двусторонний или синдицированный (групповой) кредит, обеспечение кредита и гарантии, условия кредитного соглашения, валюта предоставленного кредита, надежность коммерческого банка. Процентный риск возникает из-за колебания процентных ставок по заемному капиталу.

Указанные колебания вызываются темпами роста инфляции, спросом и предложением на финансовых рынках, интервенциями центрального банка (операций на открытом рынке), циклами деловой активности. Валютные риски представляют собой опасность валютных потерь, связанных с изменением курса одной валюты по отношению к другой при проведении внешнеэкономических кредитных и других валютных операций. Экономический риск относится к будущим контрактным сделкам. Бывает прямой, т.е. уменьшение прибыли по будущим операциям, который после заключения сделки трансформируется в операционный, а также косвенный, т.е. потеря определенной части ценовой конкурентоспособности в сравнении с иностранными производителями. Опирается этот риск на следующие моменты: возможность возникновения убытка; неопределенность, непредсказуемость, случайность этой возможности; нежелательность возникновения убытка; денежное измерение убытка. Риск упущенной выгоды – это риск наступления косвенного (побочного) финансового ущерба (неполученная прибыль) в результате неосуществления какого-либо мероприятия (например страхования) или остановки хозяйственной деятельности.

Техногенные и экологические риски обусловлены высокой степенью физического износа технических средств, человеческим фактором, природными явлениями, а также вандалистскими и террористическими действиями. Устранение их последствий требует серьезных дополнительных капиталовложений и приводит к отвлечению средств с других объектов транспортной системы. К числу основных подобных рисков относятся: сбои в организации движения вследствие аварий на промышленных объектах, связанных с обеспечением работы транспорта; сбои в организации движения транспортных средств вследствие техногенных аварий на смежных видах транспорта, акваториях морских портов, на основных автодорогах и в непосредственной близости от железных дорог; временная приостановка работы транспорта вследствие возникновения пожаров и стихийных бедствий; снижение экономической безопасности транспорта вследствие возникновения техногенных аварий на объектах транспорта. В числе последствий таких происшествий можно ожидать снижение инвестиционной привлекательности и рейтинга доверия к транспортной отрасли со стороны кредитных организаций и международных финансовых институтов. Справедливо отметить, что и в транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030г. (распоряжение Правительства РФ от 22.11.08 г. № 1734-р. – 131с.) говорится об экологической безопасности: «...для снижения вредного воздействия АТ на окружающую среду необходимо: обеспечить увеличение применения более экономичных автомобилей с более низким расходом моторного топлива; обеспечить экологическую безопасность АТ путем повышения технического уровня транспортных средств, впервые регистрируемых автомобилей по экологическим показателям, ограничения выбросов климатических газов и утилизации транспортных средств предыдущих поколений в течение переходного периода; перевести 50% автомобильных парков крупных городов на альтернативные виды топлива».

Для оценки величины риска необходим согласованный анализ двух характеристик – частоты возникновения риска (редкий, средний, частый) и размера ущерба (малый, средний, высокий, катастрофический). Частота возникновения риска и размер (тяжесть) ущерба являются величинами зависимыми. Использование для оценки распределения ущерба от вероятности его возникновения теории вероятностей для описания случайных величин позволяет определить характеристики положения, т.е. показатели, вокруг которых колеблются возможные ущербы (математическое ожидание, медиана, мода и т.п.), и характеристики рассеяния, т.е. величины, определяющие степень разброса возможных убытков (дисперсия, стандартное отклонение, коэффициент вариации и т.д.).

Дисперсия характеризует степень колеблемости изучаемого показателя по отношению к его средней величине и представляет собой сумму квадратов отклонений случайной величины от ее среднего значения, взвешенных на соответствующие вероятности:

$$D(E) = \sum_{k=1}^n P_k (X_k - M)^2$$

Размерность дисперсии равна квадрату единицы измерения случайной величины.

Чем меньше диапазон вероятностного распределения возможного ущерба по отношению к его средней величине, тем ниже риск, связанный с одной из конкретных операций.

Стандартное отклонение случайной величины от ее математического ожидания составляет:

$$\sigma(E) = \sqrt{\sum_{k=1}^n P_k (X_k - M)^2}$$

Стандартное отклонение является именованной величиной и указывается в тех же единицах, в каких измеряется варьирующий признак.

Дисперсия и стандартное отклонение являются мерами абсолютной колеблемости.

Для оценки риска, приходящегося на единицу возможных убытков, используют коэффициент вариации:

$$C \cdot V = \frac{\sigma(E)}{M(E)}$$

Чем больше коэффициент, тем сильнее колеблемость.

Принята следующая качественная оценка [4] различных значений коэффициента вариации: до 10% - слабая колеблемость; 10-25% - умеренная; свыше 25% - высокая.

Риск аварии, например, на автомобильном транспорте определяется как математическое ожидание возможного ущерба от аварии:

$$R = \rho_{\text{оф}} \cdot C$$

где: $\rho_{\text{оф}}$ – вероятность проявления потенциально опасных факторов, следствием которых может быть авария; C – ожидаемый ущерб от действия рассматриваемых опасных факторов в случае возникновения аварии.

Вероятность $\rho_{\text{оф}}$ является при этом функцией от надежности различных групп оборудования, эффективности функционирования персонала, условий, способствующих развитию аварий, и вычисляется с использованием моделей надежности и безопасности.

При выполнении ключевых показателей деятельности (эффективности – KPI) существуют стандартные отклонения. Для их расчета применительно к одному отклонению используют следующий алгоритм:

1. Определение безусловной вероятности наступления j -го рискованного события по результатам ретроспективного анализа (p_j).
2. Расчет среднего значения коэффициента выполнения целевых значений KPI по кварталам, где не наблюдались рискованное события (K_{KPIcp}).
3. Экспертная идентификация влияния рискованных событий ($P_j > 0$) на результативность выполнения целевых значений KPI с помощью матрицы « KPI – риски» («+» – влияет, «–» – не влияет).
4. Определение интегральной вероятности наступления комплекса рисков за i -ый квартал (P_i):

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^J W_j \times p_j}{J}$$

где: P_i – интегральная вероятность комплекса рискованных событий за i -ый квартал; $i = 1, \dots, n$ – кварталы, в которые зарегистрированы рискованные события ($n \leq 20$, если рассматриваемый период 5 лет); W_j – вес j -го рискованного события в комбинации рисков, например, транспортного бизнеса (по системе весов Фишберна), $j = 1, \dots, J$.

Производственный риск связан с невыполнением предприятием своих планов и обязательств по производству продукции, товаров, услуг, других видов производственной деятельности в результате неблагоприятного воздействия, например, внешней среды, а также неадекватного использования новой техники и технологий, основных и оборотных средств, сырья, рабочего времени. При осуществлении производственной деятельности можно выделить следующие риски: организационные, т.е. риски, связанные с ошибками во внутренней организации работы предприятия; рыночные, т.е. риски, связанные с нестабильностью экономической конъюнктуры (изменение цены товара, снижение спроса, потеря ликвидности и пр.); кредитные, т.е. риск того, что контрагент не выполнит свои обязательства в полной мере в срок; юридические, т.е. риски

из-за недоучета законодательства или его изменения в период сделки, из-за некорректно составленной документации и пр.; технико-производственные риски, включающие в себя экологические, риск возникновения аварий, поломок, пожаров, недостаточно качественного строительства и пр.

Среди наиболее важных причин возникновения производственного риска можно отметить: снижение предполагаемых объемов производства, рост материальных и/или других затрат, уплата повышенных отчислений и налогов, низкая дисциплина поставок, гибель или повреждение оборудования и др.

К основным факторам риска на автомобильном транспорте относятся: грузы, пешеходы и пассажиры, объекты инфраструктуры, подвижной состав, обслуживающий персонал, общественное поведение.

Литература

1. Покровский А.К. Концепция инженерной логистики в транспортных системах: монография. – М.: Известия, 2011. – 185 с.

2. Козаренко Е., Титов Б. Логистика коммерческих рисков в транспортной системе // Прикладная логистика, 2008, №5 – с. 24-25.
3. Хьелл Л., Зиглер Д. Теории личности. – СПб: Питер, 2002. – с. 77.
4. Коршунова Л.Н., Проданова Н.А. Оценка и анализ рисков. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – с. 95.

Сведения об авторах

Покровский Анатолий Константинович, д. т. н., профессор кафедры «Менеджмент» МАДИ ГТУ, академик РАЕН
125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64

Тел. (8) 499-155-01-80 (сл.)

E-mail: myrsov@mail.ru

Башмаков Игорь Александрович, аспирант, кафедра «Менеджмент» МАДИ ГТУ

Тел. 8-906-788-60-90 (моб.)

Комаров Аркадий Алексеевич, аспирант, кафедра «Менеджмент» МАДИ ГТУ

Тел. 8-962-919-63-18 (моб.)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА АВИАПЕРЕВОЗОК В РОССИИ

Дугин Г. С.
(ВИНИТИ РАН)

CONDITION AND DEVELOPMENT PERSPECTIVE OF AVIA TRANSPORTATION MARKET IN THE RUSSIA

Dugin G. S.
(VINITI RAS)

Российские авиакомпании, парк воздушных судов, обновление, аэропортовые узлы, региональные перевозки, перспективы
Russian aviacompanies, fleet of airplanes, update, major airport sites, regional transportation, prospects

Рассмотрена и проанализирована тематика докладов, прочитанных на 9-ом отраслевом форуме «Крылья России», среди которых наибольший интерес представляли такие, как возможности обновления парка воздушных судов в российских авиакомпаниях, создание крупных аэропортовых узлов, перспективы развития региональных авиаперевозок, обеспечение безопасности полетов.

Reviewed and analysed the themes of the lectures on the ninth industry forum "Wings of Russia" including the greatest interest, such as ability to update the airplane fleet of Russian airlines, creating major airport sites, prospects for air transportation and ensuring security flight.

11–12 октября 2011 г. в Москве уже в девятый раз состоялся крупнейший отраслевой форум «Крылья России», подтвердив статус крупнейшего события в авиационном транспорте страны. В его работе приняли участие более 370 участников из 20 стран, среди них – руководители и представители авиакомпаний, аэропортов, предприятий самолето- и двигателестроительной отраслей, сервисных компаний.

Пути дальнейшего развития воздушного транспорта России, программа торговли квотами на выбросы в Европе (ETS), обновление парка воздушных судов российских авиакомпаний, перспективы консолидации аэропортов и создания крупных аэропортовых узлов в России, перспективы развития региональных авиаперевозок в России, система управления безопасностью полетов — эти и другие темы были представлены в докладах экспертов международного уровня, руководителей авиапредприятий и компаний. Проведенные в рамках форума круглые столы по различным направлениям предоставили участникам дискуссий возможность высказать свое мнение о ситуации в гражданской авиации России и поделиться своими взглядами на перспективы дальнейшего развития рынка авиаперевозок.

Из-за участвовавших случаев серьезных летных происшествий в российской гражданской авиации, получивших широкий общественный резонанс, ранее намечавшаяся программа форума была пересмотрена. Выступления и дискуссии развернулись в рамках главных тем: обновление парка воздушных судов на рынке воздушного транспорта России, развитие аэропортовой инфраструктуры, региональные перевозки и управление безопасностью полетов.

Можно констатировать, что воздушный транспорт России несколько оправился после спада 2008-2009 гг. и вступил в фазу роста. (за 2010 год было перевезено почти 57 млн пасс., прирост составил 26%, пассажирооборот вырос на 30,8% и достиг 147 млрд. пассажиро-км). В текущем году результаты почти схожи. Так, по итогам 8 месяцев перевезено 42,6 млн пасс., что на 12% выше показателей соответствующего периода прошлого года. Пассажирооборот вырос на 13% и достиг почти 110 млрд пассажиро-км. Наблюдаемый рост имеет не вполне здоровые причины. Во время кризиса 2008-2009 гг. подавляющее большинство российских авиакомпаний вместо ограничения провозных емкостей, как это делали во всем мире, занимались борьбой за сохранение и увеличение доли рынка. Это достигалось путем снижения тарифов. Но после завершения острой фазы экономического кризиса и соответствующего увеличения платежеспособного спроса населения при оставшихся пониженных тарифах пассажироперевозки возросли.

При всем этом следует отметить снижение коммерческой эффективности воздушных перевозок. Так, за 8 месяцев текущего года показатель занятости пассажирских кресел снизился на 1,5 процентных пункта по сравнению с январем-августом 2010 г. (до 77,4%), показатель коммерческой загрузки составил 65,1%, что ниже прошлогоднего показателя за соответствующий период на 1,9%. На рынке сложился избыток

провозных емкостей, что ухудшает финансовое состояние перевозчиков. При этом на рынке топливообеспечения почти не осталось конкуренции, и вертикально-интегрированные нефтяные компании могут окончательно поделить услуги топливозаправки в регионах, что приведет к росту цен на топливо. Ситуация с аэронавигационными услугами и аэропортами тоже характеризуется рядом проблем. Климат в России малокомфортный, но едва ли этим можно оправдать то обстоятельство, что взлетно-посадочные полосы и терминалы у нас получаются самыми дорогими в мире. Также существующая система ставок и сборов абсолютно не стимулирует аэропорты заниматься снижением издержек.

В настоящее время на воздушном транспорте страны в ход идет весь арсенал средств конкурентной борьбы. В качестве примера можно указать на факт наличия так называемой "чартерной войны", когда в борьбе за туристического пассажира были применены различные ограничения по доступу перевозчиков на и без того зарегулированный рынок международных перевозок.

Большинство авиаперевозчиков придерживаются так называемой смешанной бизнес-модели, обслуживая сразу все сегменты рынка: регулярные, чартерные, региональные, магистральные, фидерные и сетевые перевозки. Более или менее доходными в пассажирских перевозках можно назвать только три вида деятельности. Это - регулярные международные перевозки, чартерные (туристические) международные перевозки, полеты в Москву на внутренних линиях. При такой структуре рынка и почти всеобщей распространенности смешанной бизнес-модели остается единственный фактор рыночной конкуренции - цена билета. Существует мнение, что рынок спокоен к саморегулированию, а решение проблем с пассажирами обанкротившихся авиакомпаний лежит в области законодательства о банкротстве, которое должно предусматривать процедуру защиты авиаперевозчиков от кредиторов.

Специалисты объясняют избыточную конкуренцию чрезмерным количеством авиакомпаний. Имеются два пути для решения этой проблемы: 1) стимулирование развития рынка и создание системы преференций, позволяющей авиакомпаниям модифицировать свои бизнес-модели и диверсифицировать деятельность с выгодой для себя в различные рыночные ниши, уходя от прямой ценовой конкуренции каждого с каждым; 2) торможение развития рынка в его нынешнем виде путем сокращения нерыночными методами "избыточных" авиакомпаний (в основном небольших). К сожалению, судя по всему, был выбран второй вариант решения.

Линия на снижение количества средних и небольших авиакомпаний объясняется рядом соображений. Сначала главным аргументом была финансовая неустойчивость подобных перевозчиков, и хорошим примером может служить недавнее банкротство авиакомпании "Континент". Заслуживает анализа также сегодняшняя ситуация с компанией "Авианова", результатом которого должен стать ответ на вопрос о принципиальной реализуемости лоукост-модели в условиях нынешнего российского рынка. Недавняя серия авиационных катаст-

роф сделала тему еще более актуальной. Появились заявления об ускоренном выводе из эксплуатации ряда устаревших типов самолетов и о необходимости радикального сокращения количества небольших авиакомпаний, так как они не способны обеспечить должный уровень безопасности полетов.

В стране был разработан проект изменений в "Положение о лицензировании перевозок воздушным транспортом пассажиров", в котором вводится требование о наличии в авиакомпании не менее 10 воздушных судов вместимостью свыше 55 кресел для регулярных перевозок и не менее пяти - для чартерных. Нужно сказать, что это требование не очень сильно затрагивает первые авиакомпании в рейтинге перевозчиков, которые, как известно, выполняют 97% перевозок пассажиров. В "группе риска" оказывается всего 5 перевозчиков по регулярным направлениям и 3 - по чартерным, хотя они, в принципе, имеют возможности нарастить парк до требуемого уровня. Но предложение поднять через год нижнюю планку пассажироместности для регулярных перевозок до 20 самолетов должно существенно снизить эффективность работы большого числа авиакомпаний.

Все сказанное указывает на то, что российский рынок авиаперевозок стоит на пороге радикальных перемен, так как намечаемый комплекс мер приведет к тому, что большинство региональных авиакомпаний будут лишены основных источников дохода: московского и туристических чартерных направлений. При этом молчаливо предполагается, что перераспределение пассажиропотоков пойдет в пользу крупнейших перевозчиков, и в первую очередь - "Аэрофлота". Подобный подход, безусловно, позволит решить несколько относительно краткосрочных задач, связанных с расширением "Аэрофлота" в соответствии с принятой стратегией развития компании и загрузкой ряда аэропортов с целью обеспечения в них пассажиропотока. Но даже тот ряд десятков авиакомпаний, которые пока предполагается сохранить (они перевозят более 80% пассажиров), едва ли окажется в выигрыше. При таком раскладе им придется взять на себя перевозки оставшихся 20% пассажиров и осваивать совершенно не знакомые им бизнес-модели и типы воздушных судов. Одним из последствий этого станет снижение транспортной доступности для части населения и дальнейшую деградацию аэропортовой сети. Кроме того, отсутствие транспортной доступности не позволит развивать новые центры экономического роста.

Вопросы перспективы развития воздушного транспорта в мире рассмотрел в своем выступлении исполнительный вице-президент компании Airbus по Европе, Азии и Тихоокеанскому региону **Кристофер Бакли**, который отметил, что мировой рынок авиатранспортных перевозок переживает период подъема, удваиваясь с 1980 г. каждые 15 лет. Так, пассажирооборот удвоился с 1995 по 2010 гг. примерно с трех до шести триллионов пасс.-км, следующее удвоение произойдет соответственно с 2010 по 2025 гг. Для удовлетворения растущих потребностей рынка понадобятся на период с 2011 по 2030 гг. десятки тысяч новых самолетов. При этом, так как к 2030 г. прогнозируется трехкратное увеличение количества россиян, пользующихся воздушным транспортом, то потребность России оценивается почти в 1006 новых воздушных судов общей стоимостью 95,2 млрд. долл. (если сейчас средний статистический россиянин совершает 0,4 полета в год, а к 2030 г. он будет летать 1 раз в год). Из общего числа новых самолетов 840 придется на узкофюзеляжные самолеты, 145-на широкофюзеляжные с двумя проходами между рядами кресел и 22 - на крупнофюзеляжные самолеты повышенной пассажироместности.

Тенденции развития рынка авиаперевозок в Европе и России несколько различаются. Для Европы характерно создание альянсов и консолидация перевозчиков в трех больших группах авиакомпаний, многоходовая структура, прибыльность на дальнемагистральных перевозках, трудности с получением прибыли на полетах внутри Европы и дальнейшее развитие и укрепление «лоу-костеров», т.е. малобюджетных авиакомпаний. В России, напротив, среди пяти ведущих авиакомпаний сближения не наблюдается, сеть воздушных трасс замыкается на Москве, характерны проблемы с рентабельностью на многих внутренних авиалиниях, низкобюджетные перевозки «лоу-костерами» развиваются очень медленно, но в то же время признается важность участия в альянсах авиакомпаний.

Для России характерны хорошие показатели работы туроператоров, работающих в стабильном режиме по договорам с авиакомпаниями и эти тенденции в Европе и России сходны.

Зам. генерального директора ГосНИИ ГА **Олег Страдомский**, указал на факт высоких темпов развития воздушного транспорта России, который позволило ему обогнать по пассажирообороту в 2010 году даже железнодорожный транспорт, традиционно доминирующий по этому показателю. Так, за период с 2000 по 2010 гг., пассажирооборот на воздушном транспорте вырос вдвое - с 80 до 160 млрд. пасс.-км. Но при этом продолжалось сокращение сети аэропортов с 500 в 2000 г. до 330 в 2010 г. и числа авиакомпаний. Продолжилась концентрация перевозок в руках небольшой группы перевозчиков. Финансовый оборот всех эксплуатантов коммерческой гражданской авиации в 2010 г. составил 16 млрд. долл., из которых 11 млрд. долл. пришлось на 17 крупнейших из них. Выход из кризиса 2008-2009 гг. сопровождался уменьшением доли убыточных авиакомпаний с 35% в 2009 г. до 22% в 2010 г. Средние за 5 лет темпы роста пассажирооборота российской гражданской авиации с 2000 по 2010 гг. в 2-3 раза превышают темпы роста пассажирооборота в мировом масштабе (за период с 2006 по 2010 гг. они составили в России около 12%, а в мире - только 4%). Продолжится рост объема пассажирских перевозок и в долгосрочной перспективе, который в России увеличится с 160 млрд. пасс.-км в 2010 г. до 500-700 пасс.-км в 2030 г.

Сейчас в эксплуатируемом коммерческом парке России насчитывается 625 магистральных самолетов, из которых 195 - это самолеты отечественного производства, число поставок которых год от года сокращается, приближаясь к нулю. В авиапарк входят 377 региональных самолетов, из которых 292 - отечественного производства. Наиболее популярные модели западного производства - CRJ-100/200 (43 ед.), Боинг 737-800 (40 ед.), Боинг 757-200 (33 ед.), Боинг 767-300 (30 ед.). Рост числа самолетов зарубежного производства сопровождается увеличением их доли в пассажирообороте российского воздушного транспорта с 12% в 2004 г. до 80% в 2010 г. Соответственно падала доля самолетов российского производства. Из самолетов российского производства больше всего самолетов Ту-134 (86 ед.), Ан-24 (102 ед.), Ту-154М (66 ед.), Як-42 (63 ед.).

В парк грузовой авиации входят 128 самолетов, все отечественного производства, из которых в парке больше всего Ан-26 (22 ед.), Ил-76ТД (24), Ил-76МД (18 ед.) и Ан-124-100 (13 ед.).

На первый план на рынке авиаперевозок выдвигается требование повышения эффективности эксплуатации самолетного парка. Растет эффективность энергопотребления российских авиакомпаний. Суммарный расход топлива российской гражданской авиации за последние два года, несмотря на рост объема перевозок с 14,7 млрд. т-км в 2008 г. до 18 млрд. т-км в 2010 г. за счет внедрения новой авиатехники, снизился с 6,9 млн. т в 2008 г. до 6,4 млн. т в 2010 г. Если удельный расход топлива в 2008 г. составлял 471 г/т-км, то в 2010 г. он снизился до 359 г/т-км.

Устранение воздушных судов отечественного производства из парка авиакомпаний объясняется прежде всего их низкой топливной эффективностью. Удельный расход топлива российских самолетов вдвое, в иногда и втрое больше, чем у самолетов западного производства той же пассажироместности. Например, Ан-74 потребляет 1500 граммов на перевозку одной тонны на 1 км, а канадский CRJ-100 - 500 граммов при одинаковой вместимости 50 пассажиров. У Ту-154М удельный расход топлива 700 г/т-км, а у А320 - около 300 г/т-км при той же вместимости. Российские самолеты старого типа (Ту-134, Як-42, Ил-62М, Ил-86) характеризуются наихудшей топливной экономичностью, но и самолеты нового поколения, такие как Ту-204, Ан-148 и Ил-96-300, по этому показателю отстают от своих западных аналогов.

Для соответствия потребностям рынка авиаперевозок производная способность российского авиапарка с 2010 по 2030 г. должна увеличиться почти в 4 раза. Обновление будет идти за счет новых воздушных судов, т.к. устаревшие типы самолетов будут списываться и к 2030 г. в эксплуатации их практически не останется. В ближней перспективе с 2011 по 2020 гг. число магистральных самолетов должно увеличиться с 713 до 845

ед., в том числе вместимостью свыше 350 мест возрастет с 26 до 63 ед., в классе 280-350 мест – с 72 до 96 ед., в классе 170-220 мест – с 152 до 167 ед., в классе 140-170 мест – со 154 до 174 ед., в классе 85-110 мест – с 188 до 208 ед. Парк региональных самолетов с 2011 по 2020 гг. увеличится с 319 до 845 ед. Численность всего пассажирского авиапарка России вырастет за период с 2011 по 2020 гг. с 1032 до 1205 самолетов.

Пока не совсем ясно, что может поставить на авиарынок отечественный авиапром. Из широкофюзеляжных магистральных самолетов промышленность предлагает Ил-96-300, но он не пользуется большим спросом. Из узкофюзеляжных самолетов большой вместимости заканчиваются испытания Ту-204СМ. Наиболее амбициозным проектом является семейство самолетов т МС-21, включающее варианты на 150, 180 и 210 пассажиров. За счет прогрессивных инноваций МС-21 может даже превзойти современные самолеты семейств А320 и Боинг 737NG. Работы по проекту ведутся успешно. На 2014 год запланирован первый испытательный полет 180-местного МС-21, а полномасштабная эксплуатация базовой модели должна начаться в 2016 году. Затем предполагается выпуск 150- и 210- местных воздушных судов. Уже подписаны контракты на поставку 128 самолетов МС-21. В целом по бизнес-плану планируется поставить на рынок около 1200 самолетов.

Что касается узкофюзеляжных самолетов малой вместимости, намечены поставки и развитие SSJ-100, вопрос с Ту-334 не решен, возможно производство вариантов самолета Ан-148. В классе турбовинтовых региональных самолетов большой пассажироместимости разработаны и сертифицированы самолеты Ан-140 и Ил-114, но вопросы продолжения их производства в России не решены. В классе малой вместимости работы по проекту С-80 и производство Ан-38 фактически остановлены. В классе многоцелевых самолетов для местных воздушных линий фактически свернуто производство 10 - 19-местных самолетов Ан-3Т и М-101Т.

В конце 2009 года начались поставки новых региональных самолетов Ан-148 (Ан-148-100А, -100В, -100Е) российского производства, обеспечивающих перевозку 80 пассажиров (дальность полетов до 4500 км). Самолет разработан с учетом российских условий эксплуатации и характеризуется меньшими требованиями к качеству покрытий ВПП. По транспортным возможностям и уровню технического совершенства он сопоставим с зарубежными аналогами (CRJ -700/705, ERJ-170/175). Недавно получивший сертификат типа AP МАК самолет SSJ-100 в 2011 году начал эксплуатироваться в авиакомпаниях

Армavia и Аэрофлот. По своим летно-техническим данным и системе технического обслуживания он конкурентоспособен с современными зарубежными аналогами.

Большое значение также имеет вопрос удовлетворения потребностей рынка в отношении увеличения темпов пополнения летного состава авиакомпаний. Выпуск пилотов учебными заведениями Минтранса РФ составит в 2011 году- 410 человек, в 2012 году – 660 человек, с 2013 по 2019 гг. – по 700 человек ежегодно. При этом вакансии для поступления пилотов по альтернативным каналам составят в среднем около 400 в год.

Таким образом, за прошедшие 10 лет в парк российских авиакомпаний поставлено 740 новых и подержанных пассажирских самолетов.

В заключение следует сказать, что располагаемая провозная способность действующего авиапарка к 2020 году сократится вдвое, хотя потребная провозная способность должна возрасти на 90%. Все это определяет потребность авиакомпаний в 700-850 магистральных и 300–350 региональных самолетов до 2020 года. Несмотря на это, авиарынок нашей страны в прошедшем десятилетии был одним из самых динамично развивающихся сегментов мирового рынка и должен остаться таким в долгосрочной перспективе.

Литература

1. Материалы IX отраслевого форума «Крылья России», окт.2011 г.
2. ShowObserver-MAKS 2011. с.55
3. Зверева П. Пассажиры станут больше. //Airtravel Observer, spring, 2010, с.4-6
4. Пядушкин М. На перепутье. //Авиатранспортное обозрение, 2011, № 120, с.26-28
5. Future Traveller Tribes-2020/Доклад для авиатранспортной отрасли. Подготовлен Henley Centre Headlight Vision совместно с компанией Amadeus, 2011, с.36

Сведения об авторе

Дугин Георгий Сергеевич, зам. зав. Отделом научной информации по проблемам транспорта ВИНТИ РАН, зам. генерального директора ЗАО «ИПТИЛ»
125190, Москва, ул. Усиевича, д. 20
Тел. 8(499) 155-43-22
E-mail: tran@viniti.ru

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ THE INFORMATION FOR AUTHORS

Редакция просит авторов при оформлении рукописей руководствоваться следующими правилами.

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к проблематике 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 (сотрудники редакции, члены редколлегии и редсовета, а также рецензенты данной работы) принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи.

4. Рукопись должна содержать постановку задачи, исследование, библиографические ссылки, выводы, в ней также должно быть отражено место полученных результатов среди научных публикаций по данной проблематике.

5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом не более одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, считая 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 указано 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 на английском языке – фамилия автора (авторов) с указанием учёной степени (например, Doctor of Science (Tech.), Ph. D.(Econ.)), звания (например, Professor, Assist. Professor), места работы или учёбы;
- ключевые слова на русском языке, под ними – ключевые слова (не менее пяти) на английском языке, курсивом;
- аннотация (краткий реферат) не более 10 строк на русском языке, под ней – аннотация на английском языке, курсивом;
- текст статьи, напечатанный шрифтом Times New Roman, кегль 12 или 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.** Рисунки с подрисовочными подписями должны быть также представлены на отдельных листах. Рукопись не должна содержать более 10 рисунков и 5 таблиц;
- литература (библиография) – не менее пяти источников на русском языке;
- сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), ученая степень, звание, должность, место работы и(или) учебы (полностью), адрес учреждения (с почтовым индексом), контактные телефоны (в том числе мобильный), e-mail;
- статья должна быть подписана авторами с указанием даты ее отправки.

7. **Рукопись должна быть представлена также на электронном носителе** (в программе Microsoft Word, шрифт Times New Roman, кегль 12 или 14, междустрочный интервал 1,5, расположение в одну колонку). Текст и каждый рисунок должны быть представлены отдельными файлами: текст статьи – в формате DOC или RTF (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. **К рукописи прилагается** экспертное заключение о возможности публикации статьи в открытой печати (с печатью).

9. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение шрифтов кегля менее 8 п. Таблицы, рисунки и формулы являются частью текста и должны допускать электронное редактирование.

10. Ссылки на литературу даются в порядке упоминания; в тексте номер ссылки ставится в квадратные скобки. Список использованных источников приводится в конце рукописи в соответствии с принятыми стандартами библиографического описания. Библиографические описания в списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. В качестве примера приводим три наиболее распространенных описания – статьи, книги и электронного ресурса удаленного доступа:

Шрейдер Ю. А. Алгебра классификации // НТИ. Сер. 2. – 1994. – № 11. – С. 1-4.

Куницын В. Е., Терещенко Е. Д., Андреева Е. С. Радиотомография ионосферы. – М.: Физматлит, 2007. – С. 250-282.

Статистические показатели российского книгоиздания в 2006 г.: цифры и рейтинги [Электрон. ресурс]. – 2006. – URL: http://bookchamber.ru/statt_2006.htm (дата обращения: 12.03.2010).

11. Рукописи, полученные редакцией, подвергаются обязательному анонимному рецензированию. Рецензия направляется автору(ам) для ознакомления. Решение о принятии к публикации или отклонении рукописи принимается редколлекцией после рецензирования. Принятые к публикации рукописи проходят научное и литературное редактирование.

12. Редакция направляет авторам рукописей, требующих доработки, письмо с текстом рецензии. Доработанная рукопись должна быть представлена в редакцию в течение одного месяца с приложенным к ней письмом от авторов, содержащим ответы на все замечания рецензента и указывающим на все изменения, сделанные в рукописи.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, редакцией не рассматриваются.

По вопросам публикации статей обращаться по телефонам: (499) 152-56-11, 152-56-33, 155-44-26, а также по E-mail: tran@viniti.ru; logistic@viniti.ru; volkova-viniti@yandex.ru

БАЗА ДАННЫХ ВИНИТИ

ВИНИТИ РАН – один из крупнейших генераторов базы данных по естественным, точным и техническим наукам. Ежегодно с 1981 г. документальная База данных пополняется на ~1 млн. документов по всем разделам РЖ. На основе Базы данных (БД) ВИНТИ предлагает следующие виды продуктов и услуг:

- Диалоговый поиск в БД по сети Internet (WWW-сервер - <http://www.viniti.ru>);
- Политематические или проблемно-ориентированные БД по всем разделам естественных, технических и точных наук на CD-ROM в информационно-поисковой системе "Сокол";
- Любые фрагменты БД ВИНТИ в различных коммуникативных форматах;
- Тематический поиск в БД ВИНТИ по разовым и постоянным запросам силами специалистов ВИНТИ по заказам пользователей.

База данных ВИНТИ в сети ИНТЕРНЕТ

Сервер ВИНТИ обеспечивает доступ к документальной Базе данных ВИНТИ, дает возможность поиска информации в текущих и ретроспективных массивах документов. Web-страницы ВИНТИ организованы в соответствии с мировыми стандартами и содержат полную информацию о ВИНТИ, его информационных продуктах, видах информационных услуг.

База данных на CD-ROM

Предоставляются любые политематические или проблемно-ориентированные фрагменты БД ВИНТИ в поисковой системе "Сокол", обеспечивающей:

- Быстрый поиск "сразу" и "езде" Поиск можно вести в годовом или ретроспективном массиве (за несколько лет сразу) в одном или нескольких тематических фрагментах – "езде".
- Поиск по словам и любым словосочетаниям из заглавия, реферата или из ключевых слов.
- Использование года, языка, рубрик, шифров отдельных выпусков БД для уточнения поиска.
- Поиск по словарю, выполняющему функции многоаспектного указателя, в том числе авторского, предметного, источников, индексов МПК, номеров патентов, депонированных рукописей и т. д.
- Запоминание запросов и редактирование их.
- Вывод результатов поиска на экран, в файл и на печать.

Подробная информация – по адресу:

125190, Россия, Москва, ул. Усиевича, 20, АБнД ВИНТИ

Телефоны: 8 (499) 155-45-01, 155-45-02.

Факс: 8 (499) 943-00-60.

E-mail: csbd@viniti.ru