Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Российская академия наук
Российский фонд фундаментальных исследований
ОАО «Российские железные дороги»
АО «Вертолеты России»
Российский национальный комитет по трибологии
Межведомственный научный совет по трибологии при РАН
Ростовский государственный университет путей сообщения
РРОО «Ассоциация выпускников РГУПС»
ОО «Российская академия транспорта»

Международная научная конференция «Механика и трибология транспортных систем» (МехТрибоТранс−2016)

Сборник докладов
Том 1

8-10 ноября 2016 г.
Г. Ростов-на-Дону

УДК 621.891: 531

Механика и трибология транспортных систем: сборник докладов международной научной конференции, Ростов-на-Дону, 8 – 10 ноября 2016 г.: в 2 т. – Ростов н/Д: ФГБОУ ВО РГУПС. – 2016. – Т. 1 – 351 с.

ISBN 978-5-88814-458-9

В сборник докладов международной научной конференции «Механика и трибология транспортных систем» (МехТрибоТранс-2016) вошли секционные доклады по следующим направлениям:

- инновационное развитие транспортного комплекса Российской Федерации;
- механика транспортных систем;
- проблемы трения, износа, смазочных материалов и смазки;
- механика контактного взаимодействия;
- новые износостойкие материалы и упрочняющие технологии;
- методы и средства испытаний на трение и износ;
- экологические и экономические проблемы транспортных трибосистем.

Международная научная конференция «Механика и трибология транспортных систем» (МехТрибоТранс-2016). (г. Ростов-на-Дону, 8 – 10 ноября 2016 г.) поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 16-08-20779

ISBN 978-5-88814-458-9
© Ростовский государственный университет путей сообщения, 2016

75 лет Колесникову Владимиру Ивановичу

Владимир Иванович Колесников – академик РАН, д.т.н., профессор, президент Ростовского государственного университета путей сообщения.

В.И. Колесников является известным ученым и организатором науки в области технологии, физики и механики металлополимерных композиционных трибосистем. Основным направлением его научной деятельности является создание принципиально новых износостойких композиционных материалов, разработка методики и теории синтеза высоких технологий и оптимизации сложных процессов в трибосистемах с целью повышения надежности и ресурса работы машин, механизмов и оборудования.

В рамках этого направления разработаны теоретический и экспериментальный методы определения структуры температурного поля в пограничной области фрикционного контакта. Такой подход позволил сформулировать принципы управления физико-химическими процессами при трении и создать целый класс новых высокоэффективных композиционных полимерных материалов фрикционного и антифрикционного назначения, конструкций, технологических процессов, а также разработать на них необходимую техническую документацию и внедрить в производство. Разработки широко внедряются на железных дорогах России: Северо-Кавказской, Юго-Восточной, Приволжской, Красноярской, Сахалинской и других. Полученные результаты научно-исследовательских работ являются универсальными, они используются на предприятиях транспорта, газовой и химической промышленности, в машиностроении.

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

зарубежными учеными, работающими в этой области. Колесников В.И. является организатором научного центра инновационных технологий, оснащенного уникальной аппаратурой, на базе которого осуществляются исследования по актуальным проблемам трибологии, нанотехнологий, новых материалов. Под его руководством были выполнены фундаментальные работы более чем по десяти проектам Российского фонда фундаментальных исследований и проекту «Комплексный мониторинг состояния конструкций железнодорожного пути для обеспечения безопасности движения поездов», финансируемому совместно РФФИ и ОАО «РЖД». Особое внимание было уделено научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе по заказу ОАО «РЖД» «Исследование влияния физико-химических теплофизических процессов на износ в трибосистеме «колесо-рельс», в результате чего сэкономлено свыше 100 млн. рублей.

Имя Колесникова В.И. широко известно в России и за рубежом. Колесников В.И. автор более 650 научных трудов, в том числе 15 монографий, 65 патентов и ряда публикаций в ведущих зарубежных изданиях. Им подготовлены 12 докторов наук и 26 кандидатов наук. В 2003 году Колесников В.И. удостоился премии Президента Российской Федерации за цикл трудов для технических вузов «Научное, учебно-методическое и организационное обеспечение подготовки инженерных и научных кадров в области триботехники (трения, износа и смазки)». Его научные книги: "Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа" и "Тепловая задача металло-полимерных трибосопряжений" широко известны в стране и за рубежом.

Под руководством В.И. Колесникова на базе Ростовского государственного университета путей сообщения совместно с Институтом проблем механики РАН и Институтом машиноведения им. А. А. Благонравова РАН созданы научно-исследовательские лаборатории «Трибология и материалы» и «Проблемы техногенной безопасности и трибологической надежности транспортных объектов и систем», а также лаборатория «Транспорт, энергетика и новые композиционные материалы» при Южном научном центре РАН.

Колесников В.И. успешно совмещает научно-педагогическую работу с общественной и политической деятельностью. В 1989 году Колесников В.И. был избран народным депутатом - председателем подкомитета «Железнодорожный транспорт» Верховного Совета СССР. В настоящее время - член Экспертного Совета при Правительстве Российской Федерации. Колесников В.И. является членом Экспертного совета Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России, председателем трех диссертационных советов, членом редакционной коллегии журнала «Трение и износ», главным редактором журнала «Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения», членом бюро Межведомственного научного совета по трибологии Российской академии наук, членом бюро Научного совета РАН по проблемам машиноведения и технологических процессов, председателем Российского национального комитета по трибологии.

СЕКЦИЯ 1
ИНВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УДК 519.85:681.3+0.6

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛОГИСТИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ РЫНКА В УСЛОВИЯХ ОЛИГОПОЛИИ

Ю.В. Давыдов[1], В.А. Богачев[1], Т.В. Богачев[2], Г.Д. Даглдиян[1]
[1]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)», г. Ростов-на-Дону, Россия*

Олигополия является одной из самых распространенных структур рынка в современной экономике России. Анализ ситуации показывает, что практически все основные отечественные экономические отрасли имеют выраженный олигополистический характер (большей частью те, что смогли пережить различные кризисы последних 20 лет).
Приведём несколько примеров:

- Мобильная связь: МТС, Билайн, Мегафон.
- Металлургия: Северсталь, Норильский никель, Магнитогорский металлургический комбинат.
- Нефтегазовый сектор: Газпром, Лукойл, ТНК.

Аналогичная ситуация складывается и в сферах производства удобрений, автомобилестроении и многих других.

Одной из характерных черт олигополии является сложность входа новых компаний в такую сферу деятельности за счёт высокого порога вхождения (необходимость значительных финансовых затрат, многократно превышающих первоначальную прибыль).

В условиях несовершенной, несвободной конкуренции каждому участнику олигополизированной отрасли (и состоявшемуся, и пытающемуся войти в отрасль) приходится тратить значительные ресурсы для контроля и адекватного ответа конкурентному поведению других компаний-производителей, особенно, в случае, начала активных действий по укреплению и расширению своего влияния в отрасли.

Можно выделить ряд общепринятых ключевых факторов, которые позволяют анализировать деятельность конкурентов и прогнозировать компаниям своё поведение:

- повышение качества товара;
- повышение качества сервиса;
- снижение цены товара при сохранении качества;
- снижение эксплуатационных затрат;
- усиление рекламы.

Наряду с указанными выше необходимо выделить ещё один важный (особенно, для компаний-производителей, только планирующих осваивать олигополизированную отрасль) фактор – это *территориальное разделение рынков сбыта продукции*.

В настоящей работе представлен готовый, работающий прототип программного продукта, алгоритм работы которого основан на территориальной экономико-логистической модели олигополистического рынка, математические основы которой были разработаны в статьях [1–3]. Целью разработки является создание адаптированной для широкого круга пользователей программной среды, позволяющей в оперативном режиме осуществлять

исследование и корректировку территориального разделения рынков сбыта продукции в условиях олигополии.

Рассмотрим оптимизационную задачу, состоящую в выявлении экономически обусловленных территорий для сбыта продукции участников рынка при условии единых средних транспортных издержек для всех производителей при перевозке продукции.

В качестве одного из практических приложений найденного решения этой задачи определяются условия, обеспечивающие кардинальное сокращение рынка сбыта одного из игроков, например, наиболее затратного. Именно нахождение тех возможных местоположений предприятия включающегося в конкурентную борьбу третьего игрока, при которых более затратный из двух ранее выступающих игроков остаётся лишь с ограниченной территорией для сбыта своей продукции может стать тем фактором, который определить успешность такого шага.

Созданная математическая модель выполнена в [1–3] в среде системы компьютерной алгебры. Основными геометрическими объектами исследования являются линии на плоскости, разделяющие рынки сбыта продукции предприятий. Показано, что при произвольных средних транспортных издержках рынки сбыта двух конкурирующих предприятий разделены между собой алгебраической линией 4-го порядка, именно, овалом Декарта. В этой связи существенно отметить, что среди всех частных случаев указанного овала только гипербола, получающаяся при равных средних транспортных издержках для рассматриваемых предприятий и являющаяся кривой 2-го порядка, представляет собой неограниченную линию на плоскости. Соответственно только в этом случае рынки сбыта обоих предприятий представляют собой неограниченные множества на плоскости.

Итак, в рассматриваемой ситуации вначале на рынке присутствуют два участника, деятельность которых осуществляется соответственно 1-м и 2-м предприятиями, находящимися друг от друга на расстоянии L, с отпускными ценами продукции p_1 и p_2 и равными средними транспортными издержками q по её доставке. Предприятия расположены на оси абсцисс соответственно в точках с абсциссами $-\frac{L}{2}$ и $\frac{L}{2}$. Произведённая каждым предприятием продукция имеет в произвольной точке плоскости (x,y) цену, складывающуюся из отпускной цены этой продукции и транспортных расходов на перевозку её единицы с предприятия в эту точку. Например, для 1-го предприятия такая результирующая цена составляет:

$$p_1 + q\sqrt{\left(x+\frac{L}{2}\right)^2 + y^2}\ .$$

Предполагается, что указанные выше цены удовлетворяют условиям:

$$0 < p_2 - p_1 < Lq\ . \qquad (1)$$

Тогда (см. [1], [2]) рынки сбыта продукции предприятий разделены правой ветвью соответствующей гиперболы, в фокусах которой находятся указанные предприятия. (Отметим, что если $p_2 - p_1 \geq Lq$, то более затратный второй участник вовсе лишён рынка сбыта, и вся плоскость является рынком сбыта 1-го предприятия.).

Переход к олигополистическому рынку выражается в появлении третьего участника с 3-м предприятием. Средние транспортные издержки для него также равны q, а отпускная цена его продукции p_3 удовлетворяет неравенствам:

$$p_2 \geq p_3 \geq p_1\ . \qquad (2)$$

Исследуется вопрос о нахождении таких местоположений 3-го предприятия, чтобы (например, в результате сговора третьего участника с первым) происходило кардинальное территориальное сокращение имевшегося ранее рынка сбыта продукции 2-го предприятия.

Для произвольных значений параметров: $L>0$, $p_1>0$, $p_2>0$, $p_3>0$ и $q>0$ вводятся обозначения: $P_1=\dfrac{p_2-p_1}{q}$ и $P_3=\dfrac{p_2-p_3}{q}$. В силу предположений (1) и (2) имеют место неравенства:

$$L>P_1\geq P_3\geq 0. \tag{3}$$

Сначала найдены условия, которым должны удовлетворять координаты a и b места расположения 3-го предприятия, чтобы ветвь гиперболы, разделяющая рынки сбыта 1-го и 2-го предприятий, и ветвь гиперболы, разделяющая рынки сбыта 3-го и 2-го предприятий, имели две различные точки пересечения. Существование указанных двух точек является необходимым (но не достаточным) условием того, чтобы в результате включения в конкурентную борьбу 3-го предприятия рынок сбыта 2-го предприятия оказался ограниченным множеством на плоскости.

Применение соответствующей функции пакета аналитических вычислений к системе уравнений

$$\begin{cases}\sqrt{\left(x+\dfrac{L}{2}\right)^2+y^2}=P_1+\sqrt{\left(x-\dfrac{L}{2}\right)^2+y^2}\ ,\\ \sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2}=P_3+\sqrt{\left(x-\dfrac{L}{2}\right)^2+y^2}\ ,\end{cases} \tag{4}$$

связывающих цены продукции внутри указанных выше пар предприятий, даёт выражения координат возможных точек пересечения соответствующих ветвей гипербол. Затем в результате применения этой функции пакета к полученным выражениям абсцисс удаётся найти явные выражения последних через интересующие нас координаты a и b точки расположения 3-го предприятия и параметры L, P_1 и P_3. Полученные выражения имеют вид:

$$\left(a-\frac{L}{2}\right)^2+b^2=P_3^2 \tag{5}$$

и

$$\left(a+\frac{L}{2}\right)^2+b^2=(P_1-P_3)^2. \tag{6}$$

В результате проведённого в среде системы аналитических вычислений геометрического анализа рассматриваемой экономико-логистической ситуации получен следующий результат. Найдена неограниченная область G, представляющая собой часть правого угла между двумя прямыми, расположенную вне окружности (5) и правее дуги этой окружности, соединяющей точки её касания с этими прямыми (рис. 2). Если разместить 3-е предприятие в любой точке области G, то рынок сбыта 2-го предприятия оказывается ограниченной областью на плоскости. (в случае надобности площадь последней может быть вычислена средствами интегрального исчисления).

На рис. 1 приведён соответствующий пример для случая, когда $L=2$, $p_1=2$, $p_2=3{,}9$, $p_3=2{,}6$, $q=1$, $a=0{,}2$ и $b=1{,}2$. У ветвей гипербол, разделяющих рынки сбыта 1-го и 2-го предприятий и рынки сбыта 3-го и 2-го предприятий, имеются две точки пересечения. В данном случае одна из точек находится в 1-м октанте, а другая – во 4-м. При этом рынок сбыта 2-го предприятия оказывается (весьма незначительной по площади) ограниченной областью на плоскости, граница которой состоит из дуг двух указанных ветвей гипербол.

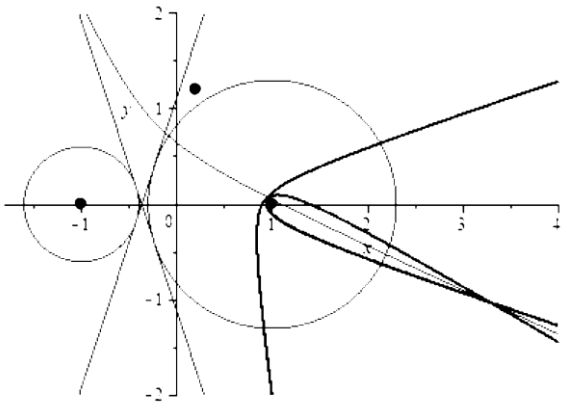


Рис. 1 –З-е предприятие размещается в области G

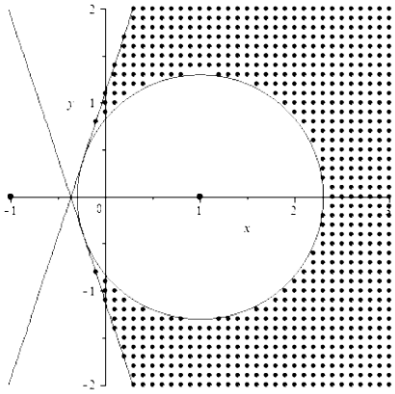


Рис. 2 – Изображение области G

Таким образом, вступление в конкурентную борьбу третьего игрока с предприятием, размещённым в любой точке указанной выше области G, приводит к кардинальному территориальному сокращению рынка сбыта продукции игрока с наиболее затратным предприятием.

Программа, базирующаяся на описанной выше модели разработана на языке Java с применением объектно-ориентированного подхода, и технологии JavaFX.

Технология JavaFX предназначена для разработки приложений с развитым графическим интерфейсом и интерактивными возможностями. JavaFX позволяет разрабатывать программное обеспечение для запуска непосредственно из операционных систем, браузеров, мобильных платформ, что позволит использовать её в самых различных условиях.

С точки зрения структуры приложение реализует модель MVC (model-view-controller), которая предполагает разделение программного средства на слои: слой обработки данных и логика приложения, слой обработки запросов клиентов и слой визуализации результатов работы программы. Такая структура позволит масштабировать и развивать, в дальнейшем, новые возможности приложения без серьёзных изменений всего проекта.

В качестве модели выступает сущностный класс «Manufacturer» который содержит свойства, характеризующие его как производителя определённого товара. Также класс содержит методы, реализующие его поведение в территориальной математической модели олигополистического рынка.

Для хранения результатов вычислений, на основе которых выполняется визуализация математической модели, реализован абстрактный класс «Chart» и его наследники, например, «ScatterChart», реализующие возможность отображения модели различными видами графиков, в конкретном случае точечным графиком, без изменения исходной структуры результатов вычислений.

В качестве контроллера, отвечающего за инициализацию данных для визуализации, выступает класс «ChartOverviewController». При нажатии кнопки «Рассчитать» происходит запрос информации о производителях товара, далее полученная информация поставляется в метод вычисления областей, где формируются соответствующие уравнения кривых.

Представление данных в графическом виде делегировано файлу «ChartOverview.fxml», который имеет схожую стандарту xml структуру. В этом файле хранится разметка графического интерфейса пользователя, отвечающего за размещение элементов отображения интересующих нас областей и краткой информации о производителях.

Кроме выше описанного в программном продукте присутствуют контроллеры и файлы разметки (представления) для реализации механизма редактирования, удаления и добавления новых производителей.

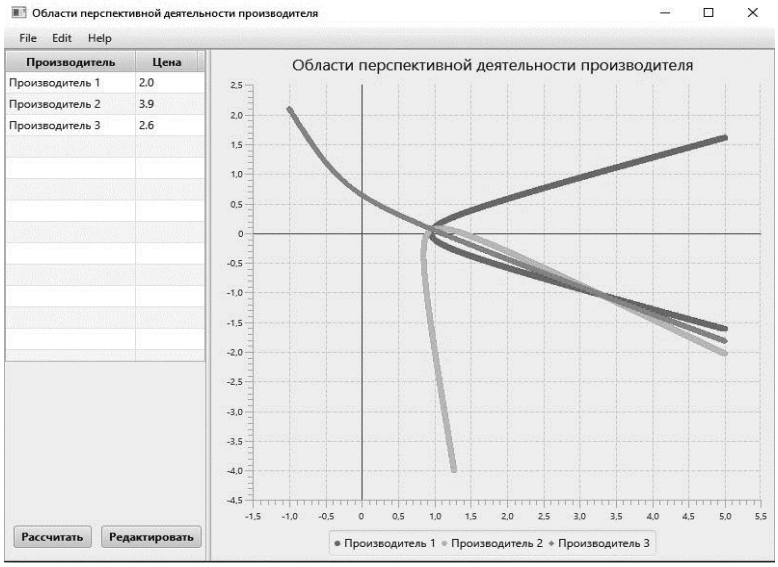


Рис. 3 – Графический интерфейс пользователя: окно построения экономически обусловленных территорий

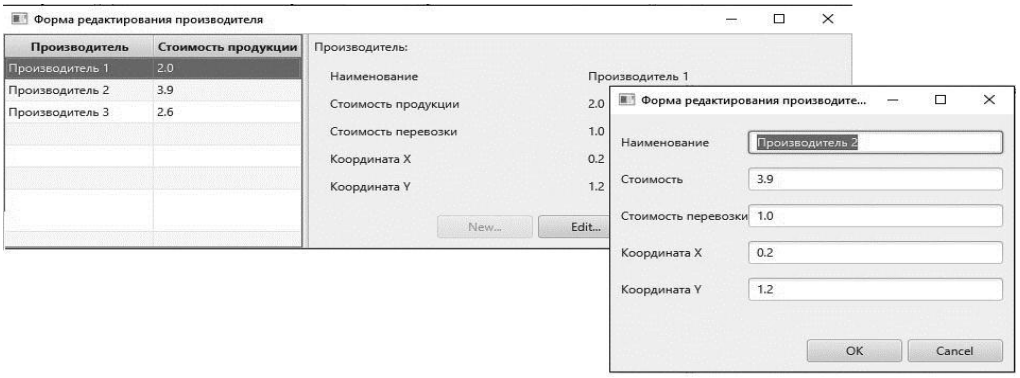


Рис. 4 – Графический интерфейс пользователя: окна редактирования данных производителя

Подсвеченные различными цветами кривые (рис. 3) являются границами экономически обусловленных территорий для сбыта продукции. Достаточно перенести изображения этих зон на географическую карту в соответствующем масштабе и сопоставить с исходными координатами, чтобы увидеть реальную картину взаимодействия производителей на той или иной территории, исследовать особенности географии района, выявить выгодные, с точки зрения экономической ситуации, рельефа, социальной инфраструктуры и экологической ситуации места для развёртки производственных площадей.

Представленные изображения графических интерфейсов программного средства (рис. 4) подтверждают, что продукт является достаточно простым для освоения уверенным пользователем персонального компьютера или мобильного телефона, а также сети Internet.

Перспективой развития программного продукта является внедрение интерактивного картографического сервиса Google Maps и автоматическим размещением вычисленных границ экономических зон над соответствующим географическим районом на карте.

УДК 681.3; 528.4 + 06

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

Г.Д. Даглдиян, Ю.В. Давыдов, Д.В. Швалов, Б.Д. Даглдиян
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Топографическая карта – основной графический документ о местности, содержащий точное, подробное и наглядное изображение местных предметов и рельефа. Она содержит сведения об опорных геодезических пунктах, рельефе, гидрографии, растительности, грунтах, хозяйственных и культурных объектах, дорогах, коммуникациях, границах и других объектах. Полнота содержания и точность топографических карт позволяют решать широкий круг технических задач в различных отраслях, например, карты используются в сельском хозяйстве, гидроэнергетическом строительстве, геологии, транспортном строительстве (проектировании участка новой железной дороги), военном деле и т.д.

Наличие качественной цифровой модели (распознанной) топографической карты значительно облегчит проведение научных изысканий в выше описанных сферах деятельности.

Топографическая карта имеет сложную «смысловую» структуру [1-4], осложняющую её распознавание. Распознавание осложняется также и физическими дефектами карты (её изношенностью, складками и обесцвечением), пересечением условных знаков между собой (изолинии и надписи на «площадных» условных знаках и т.д.).

Задача распознавания образов не имеет какой-то определенной структуры или плана действий, используя которую можно было бы построить решение для произвольного круга задач компьютерного зрения. Но методологию обработки цифрового изображения можно разбить на три группы:

1 Предобработка. Предварительная фильтрация и подготовка изображения (удаление шумов, устранение размытости, улучшение изображения).

2 Сегментация. Логическая обработка результатов фильтрации (кластеризация, распознавание цветов, текстурное разделение).

3 Алгоритмы принятия решений на основе логической обработки (обучение).

Границы между группами условные. Для решения задачи далеко не всегда нужно применять методы из всех групп, бывает достаточно двух, а иногда даже одного.

На сегодняшний день наиболее известными являются следующие методы обработки

1 Фильтрация:

1.1 Бинаризация по порогу, выбор области гистограммы**:**

- по среднему цвету;
- по адаптивному порогу (алгоритм математического ожидания, моды);
- классическая фильтрация: Фурье, фильтры низких частот (фильтр Гаусса), фильтры высоких частот (фильтр Габора).

1.2 Вейвлет-преобразование (вейвлет Хаара, вейвлет Морле, вейвлет «мексиканская шляпа»).

1.3 Фильтрации контуров (оператор Кэнни, оператор Собеля, оператор Лапласа, оператор Прюитт, оператор Робертса).

1.4 Редкие фильтры (активная модель внешнего вида, риджлет, курвлет, Бимлет-преобразование).

2 Логическая обработка результатов фильтрации:

2.1 Методы математической морфологии.

2.2 Контурный анализ (алгоритмом жука).

2.3 Метод «Особые точки».

3 Обучение:

3.1 Метод k-means. Один из самых простых алгоритмов обучения.

3.2 Метод АдаБуста. Один из самых распространённых классификаторов.

3.3 Метод опорных векторов. Один из самых мощных классификаторов.

3.4 Нейронные сети (персептрон).

Первым этапом распознавания карты является её фильтрация. На данном этапе необходимо подобрать метод и коэффициенты, при которых на карте останутся все необходимые «площадные» условные знаки и исчезнут лишние элементы.

Из рассмотренных выше фильтров при их детальном изучении наилучший результат показал алгоритм фильтрации методом медиан. Медианное сглаживание широко используется в алгоритмах обнаружения краев, при определенных условиях этот фильтр сохраняет края и удаляет шум. Для данной карты был выбран параметр «линейный размер апертуры», равный 9. При таком значении параметра максимально сохранились края объектов и удалились шумы с минимальными потерями «информации» на карте (рис. 1).

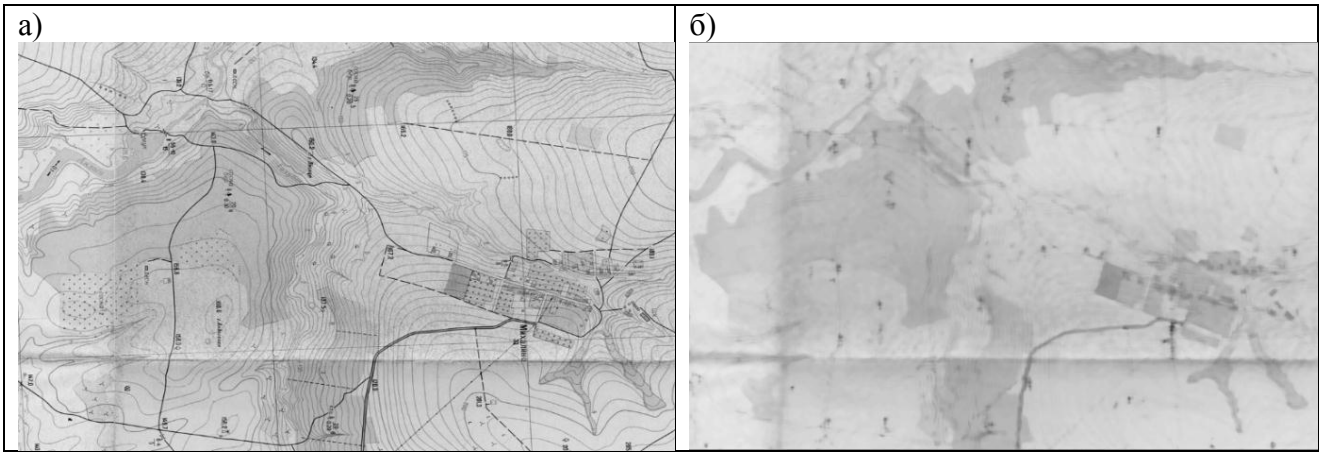


Рис. 1 – Исходный фрагмент карты (а) и фрагмент после применения фильтра «медианное сглаживание» (б)

В результате применения фильтра на карте практически исчезли изолинии и обозначения на площадных условных знаках.

Далее необходимо выполнить фильтрацию полученного результата по цвету. При этом фильтрация должна проводится для гидрографии и растительности по отдельности. Так как на карте много различных цветовых оттенков, для начала необходимо найти доминантные цвета и привести изображение к этим цветам.

Для этого необходимо преобразовать карту из цветовой модели RGB (Red, Green, Blue – красный, зелёный, синий) в HSV (Hue, Saturation, Value – тон, насыщенность, яркость). Данное преобразование необходимо из-за того, что в модели RGB сложно определить полученный цвет по параметрам R, G и B, в то время как в HSV это делается достаточно просто. Компоненты модели HSV отображают информацию о цвете в более привычной

человеку форме: Hue – определяет цвет, Saturation – его насыщенность, а Value – яркость. Ниже представлен алгоритм преобразования цветовых компонентов модели RGB в HSV [10].

Считаем, что:

$$\begin{matrix} H \in [0, 360] \\ S, V \in [0,1] \end{matrix}. \quad (1)$$

Пусть MAX – максимальное значение из R, G и B, а MIN – минимальное из них, тогда

$$H = \begin{cases} 0, \text{если } MAX = MIN \\ 60 * \frac{G-B}{MAX-MIN} + 0, \text{ если } MAX = R \text{ и } G \geq B \\ 60 * \frac{G-B}{MAX-MIN} + 360, \text{ если } MAX = R \text{ и } G < B \\ 60 * \frac{B-R}{MAX-MIN} + 120, \text{ если } MAX = G \\ 60 * \frac{R-G}{MAX-MIN} + 240, \text{ если } MAX = B \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \begin{cases} 0, \text{если } MAX = 0 \\ 1 - \frac{MIN}{MAX}, \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

$$\mathrm{V} = \mathrm{MAX} \quad (4)$$

После этого преобразования поиск доминантных цветов упрощается. На рис. 2 представлено результирующее изображение приведенной к доминантным цветам карты.

Рис. 2 – Карта в доминантных цветах

Как видно, на карте остались всего лишь три цвета: зеленый, светло-коричневый и голубой.

Изображение в доминантных цветах необходимо бинаризовать по цветовому порогу для гидрографии и растительности по отдельности и для каждого полученного изображения провести контурный анализ.

Контурный анализ – это один из важных методов описания, хранения, распознавания, сравнения и поиска графических образов/объектов.

Для решения нашей задачи распознавания объектов методом контурного анализа можно выделить несколько последовательных действий:

1 Предварительная обработка изображения (сглаживание, фильтрация помех, увеличение контраста).

2 Бинаризация изображения.

3 Выделение контуров объектов.

Первые два пункта выполнены и описаны выше (см. рис. 1 и 2). Для выполнение третьего пункта необходимо провести фильтрацию контуров. Из представленных выше методов лучший результат показал «оператор Кэнни», это наиболее часто используемый метод фильтрации. Для него можно выделить несколько основных этапов:

1 Сглаживание. Размытие изображения для удаления шума.

2 Поиск градиентов. Границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение. Используются четыре фильтра: для обнаружения горизонтальных, вертикальных и диагональных ребер в размытом изображении.

3 Подавление «не максимумов». Только локальные максимумы отмечаются как границы.

4 Двойная пороговая фильтрация. Потенциальные границы определяются порогами.

5 Трассировка области неоднозначности. Итоговые границы определяются путём подавления всех краёв, несвязанных с определенными (сильными) границами.

На основе полученного результата можно провести непосредственный поиск объектов (рис. 3).

Рис. 3 – Результат контурного анализа

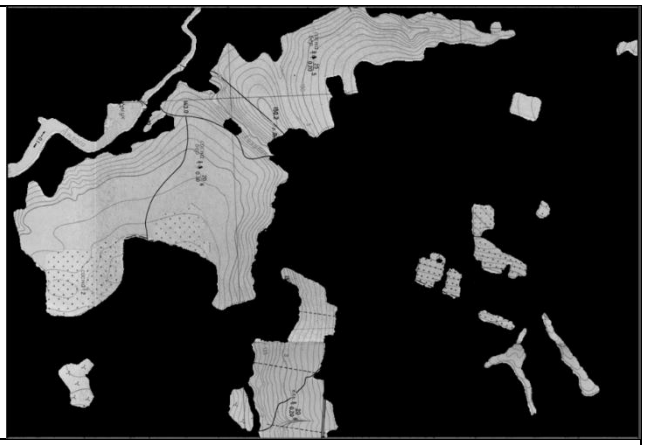


Рис. 4 – Результат объединения исходной карты с результатом контурного анализа

На рис. 3 объединены результаты анализа гидрографии и растительности.

На рис. 4 представлен конечный результат распознавания образов на карте.

По результатам работы можно выделить следующую последовательность действий необходимую для распознавания «площадных» условных знаков на карте:

1 Фильтрация карты: максимально удаляются шумы;

2 Редукция цветов карты:

2.1 Преобразование цветовой модели карты из RGB в HSV.

2.2 Приведение изображения в доминантных цветах.

3 Фильтрация карты по цвету и бинаризация: удаляются все цвета кроме выбранного и производится бинаризация результата:

3.1 Растительность.

3.2 Гидрография.

4 Контурный анализ (поиск контуров):

4.1 Растительность.

4.2 Гидрография.

5 Объединение результатов.

Модуль, основанный на разработанном алгоритме, будет встроен в прототип тренажера камерального трассирования нового участка железнодорожной трассы, что позволит уменьшить нагрузку на преподавателя при создании нового сценария.

На текущий момент в разработанном прототипе тренажера предобработка топографических карт (выделение областей ключевых знаков, нанесение проверочных меток) производится вручную преподавателем (рис. 5).

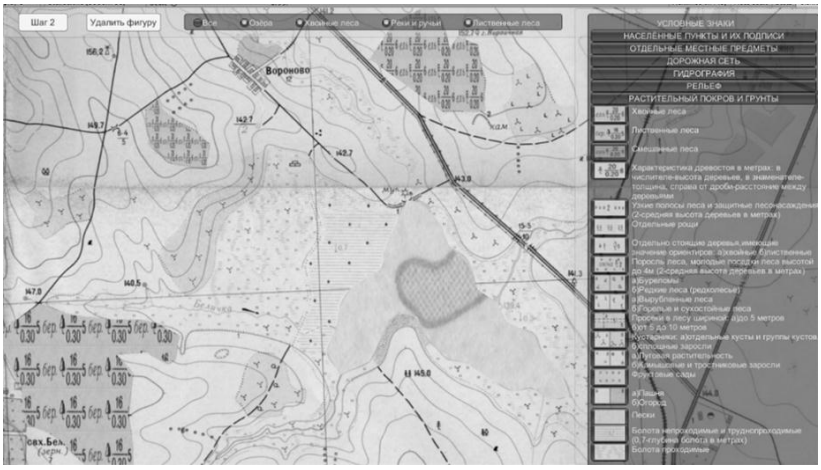


Рис. 5 – Интерфейс преподавателя

Студенту на этапе работы с топографической картой необходимо проанализировать её, найти требуемые сценарием задачи ключевые графические элементы (водоразделы, реки и их притоки, болота, растительность) и выделить их контур. После этого происходит автоматическое сравнение результата действий студента с эталонами, внесенными преподавателем, и подсчитывается процент правильных действий обучаемого на первом шаге.

Ручное определение эталонов на топографической карте при загрузке нового сценария является трудоемким процессом. Результатами работы нового встроенного модуля будут:

1 Автоматическое распознавание топографической карты.

2 Автоматическое выделены всех эталонных элементов на основе распознавания и сохранение их в базе данных с привязкой к конкретной топографической карте и координатам на ней.

После данных модификаций работа преподавателя сводится к корректировке (при необходимости) формы и расположения эталонных объектов, которые сгенерировались автоматически на основе распознавания топографической карты, и к определению типов областей по знакам легенды.

ББК 65.29+06

ИННОВАЦИОННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

Е.Г. Донченко
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Обсуждение вопросов инновационного развития не целесообразно по причине возникновения прорывных экономик вследствие различных внешних причин:

экономических, политических, социологических. Импульсивность процесса сопровождается инвестиционными расходами, являющимися результатом экономических ожиданий. Исторический опыт рыночных отношений подтверждает универсальность данного постулата. Таким образом возможность позитивных изменений современной ситуации в транспортном комплексе возможна и продуцирована изменением курса экономического развития в сторону как внутреннего потребителя, так и источника инвестиционных ресурсов.

Макроэкономические законы в последние десятилетия претерпевают вынужденную трансформацию и требуют нового подхода к их прочтению. Этому есть много причин, последствия которых проявятся значительно позже, а в настоящее время – требуют оперативного реагирования.

После первых глобальных кризисов, учеными-экономистами предпринимались попытки просчитать их влияние на текущие процессы, разрабатывались действенные пути выхода и посткризисные мероприятия в отдельно взятых отраслях экономики и в масштабах национальных экономик. Дальнейшая история показала усугубление и более разрушительные последствия, сокращение временных промежутков между кризисными периодами. Более того, по мнению экспертов, кризисное состояние экономики – это нормальное явление в текущем периоде и необходимо приспосабливаться именно к нему.

Российская Федерация, являясь частью мирового рынка, как и все другие страны, имеет свои особенности развития, историческое наследие и национальные причины адаптации общих законов к местным условиям. Среди которых на данный момент – явное отставание ведущих отраслей экономики от мирового уровня, оставляющее компании и корпорации вне конкуренции.

Попытки трансформировать опыт развитых рынков на российский без учета национальных особенностей действенных результатов не дают. Длительный период деградации экономического образования в стране демонстрирует неумение анализировать экономическую действительность и трактовать экономическую теорию в ее практическом применении с учетом факторов влияния. А главная на наш взгляд проблема заключается в отсутствии взаимодействия, взаимной ответственности и открытости между государством, гражданским обществом и рыночными структурами.

Американский ученый К. Поланьи, введший понятия «взаимность» и перераспределение», сформулировал положения, которые наиболее точно характеризуют выводы о том, что экономика – это институционализированный процесс, который встроен в общество; мотивы экономической деятельности человека определяются не только материальной выгодой; общество должно контролировать функционирование рыночных механизмов с помощью как государственных, так и общественных институтов [1].

Принцип перераспределения, при котором, накапливаемое в одном место «богатство» затем обязательно должно быть распределено между остальными членами общества – неоправдавшаяся иллюзия. Процессы перераспределения любых благ зависят от активного участия, содействия, контроля и заинтересованности всех участников.

Государство, занимаясь формированием резервов и бюджета, несет ответственность не только за нуждающиеся и малозащищенные слои населения. Организуя и разрабатывая нормативно-правовое обеспечение, создает условия, в которых достойное перераспределение может быть гарантировано высокой ответственностью, в первую очередь – самих государственных структур и учреждений. Борьба за выстраивание вертикалей власти не должна оттягивать часть средств и благ у трудоспособного населения и производителей, не давая ничего взамен. Определение наиболее важных отраслей и секторов экономики для их интенсификации, создание условий для наращивания капитализации, гарантии справедливого и открытого получения денежных и иных благ всем участниками воспроизводства, контроль за накоплением товаров и услуг, мониторинг спроса и предложения – есть главная задача для позитивного изменения обстановки во многих экономических отраслях.

Производственные и промышленные предприятия и корпорации должны иметь больше самостоятельности в выборе вариантов развития, оперативно реагировать на изменения рынка, рассчитывать на бонусы от государства, получая высокую прибыль, а не на поддержку из федерального бюджета.

Трудоспособное население должно нести наибольшую нагрузку и иметь высокую степень активности в вопросах обеспечения для себя и своих близких достойного уровня жизни. Условиями для этого должны быть: высокие доходы, элементарный уровень экономической грамотности, доступность к инструментам повышения своего благосостояния, возможность выбора перспектив, открытость и прозрачность информации, участие в общественном контроле, сознание личной необходимости и причастности к происходящим процессам.

Финансовые институты, деятельностью которых является «делание денег из денег», могут и должны быть вовлечены в единый процесс развития экономики в качестве инструментов, осуществляющих профессиональное движение и трансформацию денежных ресурсов, в которых на российском рынке сейчас испытывается наибольший дефицит.

Цепочка «доходы-сбережения-доходы (капитализация)» – доступный и реальный способ повысить уровень отдельно взятых отраслей и экономики в целом с ориентацией на частного внутрироссийского коллективного инвестора. Сближение интересов государства, промышленников (производственников) и населения – один из путей перспективного развития через привлечение долгосрочных инвестиций в наиболее выгодные проекты. Изменение тенденций в вопросах осуществления инвестиционной деятельности и поиска источников инвестиций в сторону создания открытой и доступной среды, привлекательной для максимального количества участников должно стать вектором развития на ближайшие годы.

Создание системы распределительно-перераспределительных отношений в рамках компании ОАО «РЖД» реально, возможно и необходимо. Причем условия вступления в эти отношения внутри компании должны быть более интересны и выгодны, чтобы стать альтернативой подобным отношениям за ее пределами.

Открытое акционерное общество «РЖД», на наш взгляд идеальный вариант для применения механизма корпоративного социально-инвестиционного перераспределения, который может стать трендом современной инвестиционной политики [2].

В предлагаемом механизме ОАО «РЖД» является системообразующим комплексом, на базе которого для всех участников создаются выгодные и благоприятные условия ведения инвестиционной деятельности. Основные участники – корпорация и ее работники. Через инструменты корпоративного пенсионного фонда, страхового общества, банка развития происходит аккумулирование, трансформация сбережений в инвестиции и распоряжение ими. Финансово-экономические структуры корпорации занимаются перераспределением полученного дохода (прибыли) под общественным контролем со стороны основного инвестора – работника. Общественная организация принимает участие в решении вопросов приоритетности инвестиционных проектов. Имея план развития, корпорация предлагает коллективному инвестору кратко- и долгосрочные проекты, доводит до сведения их перспективность. Финансовое и инвестиционное консультирование по вопросам выгодности, рискованности, состоятельности проектов проводит профессиональный финансовый участник – банковская структура, осуществляющая помимо универсального набора банковских продуктов, инвестиционные услуги и операции, прямое целевое инвестирование депозитных вкладов, выход на фондовый рынок. Т.е. значительное расширение линейки продуктов и услуг, отвечающих практическому распространению механизма, а не только получившее распространение кредитование. В решении вопроса применения инвестиционных средств принимают участие институты аккумулирования и трансформации сбережений. При этом, все они, уходя от исключительно посреднических услуг, так же становятся участниками инвестиционной деятельности, обладая эксклюзивными правами и новыми возможностями реализации своей деятельности. Поскольку и системообразующая

компания и кто-либо из участников могут являться эмитентами, деятельность в этом направлении является частью распоряжения инвестиционными средствами с расширением для каждого из них границ манипулирования ценными бумагами. Обо всех движениях денежных средств и результатах инвестиционной деятельности в адрес работников-инвесторов поступает полная достоверная информация, также работники осведомлены об эффективности реализованных проектов и возможностях дальнейшего инвестирования наиболее успешных, т.е. выбор остается за инвестором. При реализации проектов, заинтересованность в которых проявляют государство и/или администрации, а инвестиционная поддержка оказывается из денежных средств федерального и бюджетов различных уровней, принимается решение о направлении денежных средств, уплачиваемых работниками в виде обязательных платежей: налогов, сборов, штрафов и т.д., минуя государственные учреждения, непосредственно в компанию, что значительно сократит издержки и сроки поступления.

В отношении ценных бумаг, актуальным становится распространение 5-15% акций среди сотрудников компании. Вопрос частичной приватизации компаний с государственным участием стал активно обсуждаться на правительственном уровне в начале 2016 года. Решение по компании ОАО «РЖД» не вынесено и отложено до 2017-18гг. Целесообразно предусмотреть возможность распространения акций среди работников, в том числе и для привлечения сотрудников в развитие собственной компании, формирования чувства ответственности и значимости, повышения качества и производительности труда. Нами уже упоминалась характерная для компании преемственность поколений, которой придается большое значение и важность. Используя этот фактор, к распространению акций необходимо привлекать в первую очередь именно эту категорию работников. Покупка акций может осуществляться за премиальные средства, выделенный фонд или другое по согласованию с общественных организаций. Продажа акций должна стать привилегией, а не навязанной безысходностью. Владелец акции должен знать о преимуществах и ответственности, правилах владения и пользования. Условия продажи, передачи и управления акциями должны быть четко определены без ущерба компании и их владельца. Перспективное направление – распространение облигаций. Существенный фактор: работа с ценными бумагами не должна стать прерогативой управленческого звена, руководства, сотрудников ДЗО, т.к. вызовет недоверие работников – основных поставщиков инвестиций [3].

Весь механизм, его компоненты, целеполагание, принципы работы нацелены на приобщение к инвестиционной деятельности, желание участвовать в ее развитии, видя конечным результатом – собственное благополучие через успешность и прибыльность компании. Безусловные факторы для эффективной работы механизма: конкурентная заработная плата, ставка на молодых сотрудников, изменение подхода в перераспределении дополнительных денежных средств и благ, массовое привлечение в систему пенсионного накопления и добровольного страхования, укрепление значимости общественного контроля и наделение его необходимыми полномочиями, создание прозрачной формы корпоративной отчетности, массовая информированность и образованность, доступность всех возможных инструментов накопления, трансформации сбережений и распоряжения инвестициями банковско-кредитно-финансовыми и нефинансовыми клиентоориентированными участниками единой инвестиционной деятельности.

Государство, имея возможность значительно сократить бюджетные расходы на компенсации, финансирование и субсидирование, должно стимулировать работу такого механизма через налоговые послабления как для системообразующей компании, так и для других участников. Мотивирующим фактором может стать законодательное снижение ставки по кредиту и увеличение процента на целевые инвестиционные банковские депозиты, поощрение прямых инвестиционных вложений, например, продажей дополнительных акций, облигаций или расширение возможностей оперирования ими, поддержка и укрепление позиций целевых инвестиционных программ, которые находятся в зачаточном состоянии. Инвестиционная активность работников может быть поддержана компенсационными

программами, льготами, рассрочками платежей, оплатой ЖКХ, например – капитального ремонта. Помимо работающих граждан, в инвестиционную деятельность могут быть вовлечены члены их семей, неработающие пенсионеры, российские граждане, проявившие заинтересованность, сотрудники институциональных участников через корпоративные формы аккумулирования и трансформации сбережений.

При исследовании развитости инструментов, мы обратили внимание, что наиболее слабым звеном являются формы привлечения денежных средств, которые население привыкло хранить преимущественно в наличности, не задумываясь об эффективности таких «кубышек».

Государственные гарантии прозрачности инвестиционной деятельности крупной компании, реальная поддержка инвестиционной активности населения, профессиональная подача результатов успешности и эффективности проводимой политики через СМИ, социальную рекламу, дистанционные обучающие информационные технологии, социальные сети, образовательные программы и учреждения с выходом на широкие массы, позволят изменить мировоззрение в пользу размещения нерастраченных накоплений в экономически выгодные и перспективные проекты. Доступность для всех, реальность получения выгод (в любой форме) с точки зрения частного инвестора; заинтересованность в каждом клиенте, в том числе и с невысоким уровнем доходов с позиции различных форм механизма корпоративного социально-инвестиционного перераспределения станут шагом к сближению интересов.

Перспективность такого механизма велика, т.к. накапливаемые средства через большинство инструментов могут быть трансформированы в долгосрочные инвестиции. Накопление сбережений через институциональные формы реализации инвестиционной деятельности компании с получаемой отдачей (в любом виде) должны стать надежным и стабильным механизмом, т.к. гарантируют сохранность, прибыльность, долгосрочность и выгодность для всех участников. А также могут стать методом сглаживания разницы в доходах отдельных социальных групп.

УДК 656.224+06

УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ДОСТАВКИ ГРУЖЕНЫХ И ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА СЕВЕРО-КАВКАЗСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Ерофеева Е.А.[1], Зубков В.Н.[1], Сарапулов И. А.[2]
[1]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на Дону, Россия*
[2]*«Северо-Кавказская дирекция управления движением», г. Ростов на Дону, Россия*

В условиях роста объемов экспортных перевозок и профицита вагонного парка возросла нагрузка на инфраструктуру Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД), что привело к снижению её провозной способности и отрицательно сказалось на результатах работы. Одной из мер повышения эффективности перевозок предлагается развитие инновационных технологий, направленных на выполнения норм скорости и сроков доставки грузов [1]. Доставка грузов в срок в рыночных условиях является одним из значимых факторов, влияющих на выбор вида транспорта клиентом для перевозки своих грузов (рис.1).

Для привлечения грузовладельцев к выбору железной дороги для перевозки грузов, требуется внедрение новой технологии, передового опыта труда для своевременной их

доставки, так как от этого зависит эффективность работы транспорта, ускорение оборота подвижного состава и сохранность перевозимых грузов.

Именно этот аспект наиболее актуален в ситуации, сложившейся на железных дорогах России в настоящее время. Компания ОАО «РЖД» платит грузовладельцам и операторам вагонного парка десятки миллионов рублей ежемесячно за несвоевременную доставку грузов и порожних вагонов, что негативно сказывается не только на бюджете железных дорог, но и на её конкурентной способности и престиже.

Значимость факторов, влияющих на выбор вида транспорт в 90-х годах

Факторы, влияющие на выбор вида транспорта	Значимость факторов
Сохранность груза	1
Цена (провозная плата)	2
Гарантированное предоставление подвижного состава	3
Предоставление соответствующего рода груза	4
Доставка груза в срок	5
Принадлежность вагона	6

Значимость факторов, влияющих на выбор вида транспорта в 2016 году

Факторы, влияющие на выбор вида транспорта	Значимость факторов для клиентов	
	Крупных	Мелких
Стоимость перевозки	1	1
Индивидуальный подход (наличие льгот, скидок с тарифа)	2	3
Доставка груза в срок	3	2
Сохранность груза	4	4
Скорость доставки	5	5
Комплексное обслуживание	6	6

Рис.1- Изменение критерия оценки качества организации доставки груза

В связи с этим был проведен анализ динамики количества случаев несвоевременной доставки грузов на СКЖД, представлены мероприятия, способствующие повышению надежности доставки грузов в срок и эффективности работы дороги за счет выполнения норм скорости грузовых и порожних отправок по проследованию, снижения простоя вагонов на грузовых и технических станциях.

Скорость доставки грузов является наиболее комплексным показателем, характеризующим качество перевозочного процесса. Она отражает эффективность технологии перевозки груза по всей логистической цепочке от отправителя до получателя, включая время в пути ($t_п$), простой на грузовых ($t_{гр.}$) и технических станциях ($t_{техн.}$). Для получения объективной картины при проведении работы по повышению скоростей движения выполнен её анализ по каждому технологическому элементу логистической цепочки перевозки груженых и порожних отправок (рис.2).

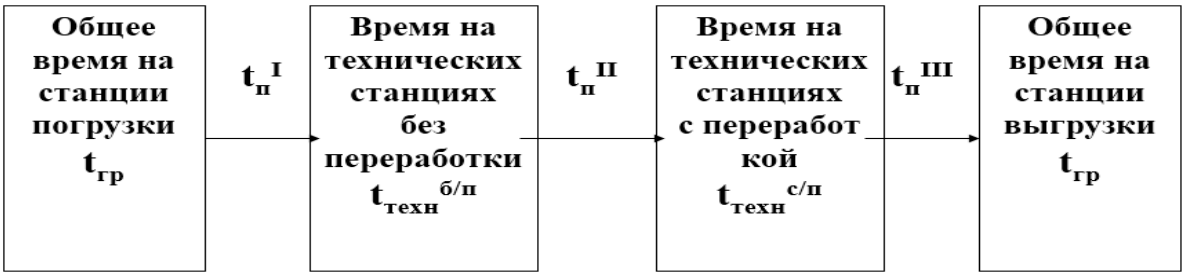


Рис. 2–Технологическая схема доставки грузов

Для достижения заданных дороге скоростей доставки грузов и порожних вагонов, необходимо: во-первых, сокращать продолжительность начально-конечных операций на станциях погрузки и выгрузки. Во-вторых, уменьшать время нахождения вагонов в пути следования за счет повышения участковой скорости, простоя их на технических станциях и исключать потери, связанные с временно отставленными от движения поездами с гружеными или порожними вагонами. Не менее важной задачей является увеличение

протяженности полигонов обращения инновационных вагонов с повышенной осевой нагрузкой и конструкционной скоростью, а также с возможностью пропуска их с минимальным количеством осмотров в пути следования. Безусловно, устранение выявленных проблем является сложной, комплексной задачей и она не может быть реализована только за счет совершенствования технологии перевозок. Учитывая значительные затраты на развитие, прежде всего, железнодорожной и портовой инфраструктуры, необходимо, чтобы достижение этой цели осуществлялось поэтапно. Этому должна предшествовать интеграция бизнес-процессов участников цепи поставок, согласование экономических интересов всех участников перевозочного процесса на основе компромиссов. Она начинается со слова «мы» и призвана обеспечить всю работу по доставке груза без сбоев, сделать так, чтобы ни одно звено в этой цепочке не остановило весь процесс перевозок.

Доставка грузов и порожних вагонов в пункты назначения в установленные сроки является условием надлежащего исполнения договора на перевозку, составляет одну из основных обязанностей перевозчика, за нарушение которой он несет имущественную ответственность в размере 9 % от платы за перевозку, если не докажет, что просрочка произошла не по его вине. Если просрочка составляет 11 и более суток, то сумма пени соответствует сумме провозной платы, полученной ОАО «РЖД» за перевозку, а перевозчик, исполняя договор на перевозку и доставляя груз от станции отправления до станции назначения, несет, лишь расходы, а прибыли от выполненной перевозочной работы не получает.

В условиях продолжающегося кризиса в экономике страны, снижение грузовой базы и инновационных средств для усиления мощности инфраструктуры железнодорожного транспорта остро встал вопрос о минимизации убытков из-за просрочки доставки грузов и порожних вагонов. Исходя, из обозначенной цели исследования в данной статье приведены результаты анализа и предложения по дальнейшему совершенствованию производственной деятельности СКЖД, направленной на снижение потерь при перевозке грузов и порожних вагонов.

За 8 месяцев 2016 года средняя скорость доставки грузовых отправок составила 249,9 км/сут. с увеличением к 8 месяцам 2015 года на 24,10 км/сутки (+10,7%). Средняя скорость доставки грузовой отправки увеличена по категориям - групповые отправки – на 17,3 км/сутки **(+9,1%)** до 208,4 км/сутки; маршрутные отправки - на 13,4 км/сутки **(+3,5%)** до 392,9 км/сутки; повагонные отправки – на 39,8 км/сутки **(+21,2%)** до 227,2 км/сутки; контейнерные отправки – на 55,0 км/сутки **(+14,9%)** до 423,4 км/сутки (рис.3).

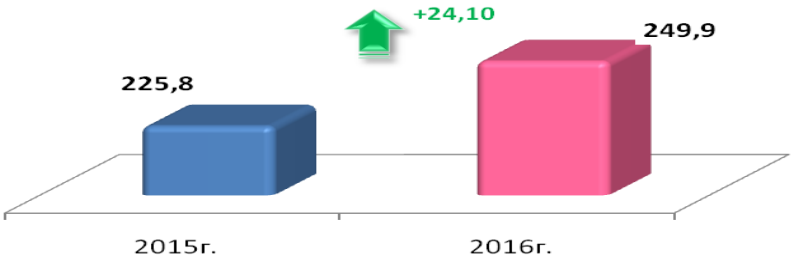


Рис.3-Динамика скорости доставки грузов

За тот же период 2016 года средняя скорость грузовых отправок по проследованию (без учета стоянок временно отставленных поездов) по Северо-Кавказской ж. д. составила 260,40 км/сут. с увеличением к 2015 году на 2,51 км/сут. (за 8 месяцев 2015 года – 257,89 км/сут.).

Повысилась средняя скорость доставки груженых и порожних отправок за рассматриваемый период 2016 года (рис.4). Основное внимание уделяется груженым отправкам, поскольку за их просрочку предъявляется наибольшее количество претензий.

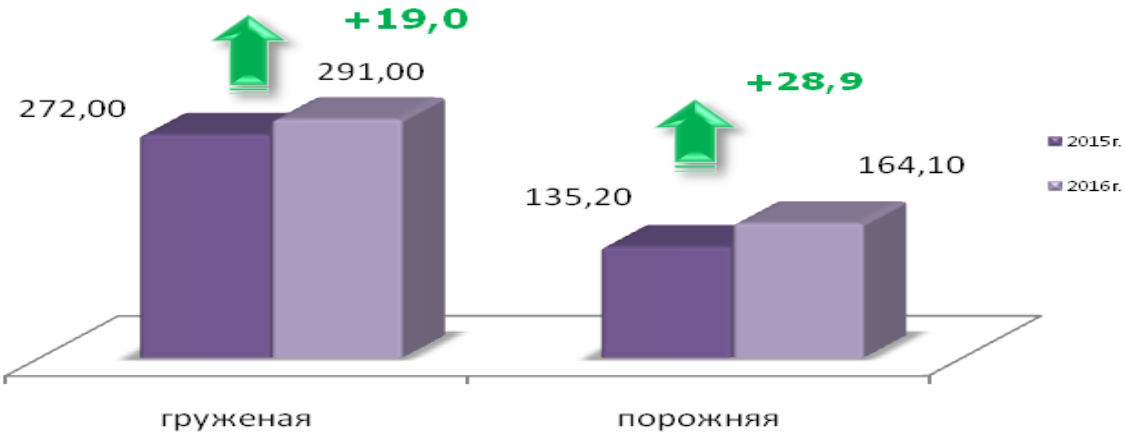


Рисунок 4- Распределение скорости доставки груженых и порожних отправок

Однако задание правления ОАО «РЖД» по достижению скорости грузовых отправок в груженых вагонах, равной 375 км/сут. за 8 месяцев 2016 года не выполнено на 84,0 км/ сут. Следует отметить следующие факторы:

- неблагоприятные погодные условия (шторм: высота волны свыше 2,5 м, ветер 22 м/с., осадки в виде дождя и снега) в транспортных узлах. Ввиду невозможности приема судов в порт возникает недостаток складских площадей и прекращается перевалка грузов. Это является причиной невыполнения норм выгрузки по станциям Новороссийск, Туапсе, Грушевая, Вышестеблиевская, Кавказ, появления временно отставленных от движения составов поездов на станциях дороги и основанием для ввода конвенционных запретов погрузки на сети дорог в адрес портов Азово-Черноморского бассейна;

- пропуск грузовых поездов на участках дороги сверх 00 движения**.** Барьерными участками, с острым дефицитом пропускной способности, остаются подходы к Новороссийскому и Туапсинскому портам. Так, например, на участке Краснодар – Крымская при расчетной пропускной способности лимитирующего перегона (Абинская – Крымская) 42 пары, фактически с начала летних месяцев пропускается 44 пары в среднем в сутки (+2 пары). На перегоне (Протока – Полтавская) при пропускной способности равной 41 паре, фактически пропускается 42 пары в среднем в сутки **(**+1 пара);

- сверхнормативное наличие рабочего парка вагонов в адрес портов и припортовых нефтебаз СКЖД. За 8 месяцев текущего года отмечалось превышение суточной нормы рабочего парка на 8,0 тыс. вагонов;

-высокая неравномерность поступления экспортных грузов на дорогу, без учета инфраструктурных ограничений и выгрузочных возможностей станций назначения и примыкающих к ним путей необщего пользования;

- задержки в пути следования из-за технических и коммерческих неисправностей по вине собственников вагонного парка и грузоотправителей;

- растущее количество предоставленных «окон» для реконструкции и ремонта инфраструктуры дороги назначения грузов;

- недосодержание эксплуатируемого парка поездных и маневровых локомотивов за 8 месяцев 2016 года, в том числе поездных за счет отвлечения их в количестве 5869 единиц на внеплановые виды ремонта, а маневровых локомотивов на технические осмотры и ремонты без предоставления подменных. Отмечается высокий уровень их износа, что не обеспечивает своевременное выполнение поездной и маневровой работы.

Основной причиной невыполнения скорости доставки порожних вагонов является нарушение рационального баланса вагонного парка, отвечающего реальным потребностям

грузоперевозок и ухудшение его использования, заадресовка порожних вагонов под погрузку в объеме, превышающим согласованные заявки ГУ-12.

Поэтому, несмотря на принимаемые железной дорогой, меры, совокупность названных факторов не позволило значительно повысить скорости продвижения поездо - и вагонопотоков (см. таблицу 1).

Таблица 1-Средние скорости доставки различных отправок

Категория отправки	Средняя скорость доставки одной отправки км/сутки			Изменение 2016 к 2015
	8 месяцев 2015г.	8 месяцев 2016г.	+/- км/сутки	%
Групповая	191,1	208,4	17,3	9,1%
маршрутная	379,5	392,9	13,4	3,5%
повагонная	187,4	227,2	39,8	21,2%
контейнерная	368,4	423,4	55,0	14,9%
По дороге	**225,8**	**249,9**	24,1	**10,7%**

Как видно из таблицы, недостаточно возросла скорость доставки групповых и повагонных отправок грузов. Основные потери скорости доставки грузов и порожних вагонов допущены из-за задержек поездов перед узловыми станциями: Батайск, Краснодар-сорт, Туапсе, Лихая. Из всего количества отправок грузов, доставленными с нарушением сроков доставки, наибольшее количество приходится на станции: Новороссийск – 18,9 %, Кавказ – 12,5 %, Туапсе-сорт – 8,0 %, Вышестеблиевская–6%, Краснодар-Сорт. -5,1, Самур - 4,5, Темрюк 3,9 %, Тоннельная – 2,4 %.

Надежность доставки грузов за 8 месяцев 2016 года представлена на рис.5

За 8 месяцев 2016 года на СКЖД прибыло **738,4 тыс**. отправок, что на 32,3 тыс. отправок больше, чем за аналогичный период 2015года. В установленные сроки прибыло **722,6 тыс.** отправок, что составляет **97,9%** от общего прибытия грузов по дороге. По сравнению с аналогичным периодом прошлого года количество отправок, прибывших в установленные сроки, увеличилось на 115,4 тыс. отправок, а надежность доставки грузов возросла на 11,9 %.

Несмотря на снижение количества случаев просрочек в доставке грузов до мест назначения за 2016год по сравнению с 2015 годом из-за низкой скорости доставки груженых и порожних вагонов дороге предъявлено претензий на сумму 360,36 млн. рублей. Из них в прямом сообщении – 328,51 млн. рублей, местном сообщении – на сумму 15,72 млн. рублей, за просрочку порожних отправок –16,13 млн. Рублей. Отозвано 51,46 млн. рублей или 15 %. Наибольшие доли предъявленных претензий приходятся на крупные припортовые станции Новороссийск, Туапсе, Кавказ, Вышестеблиевская.

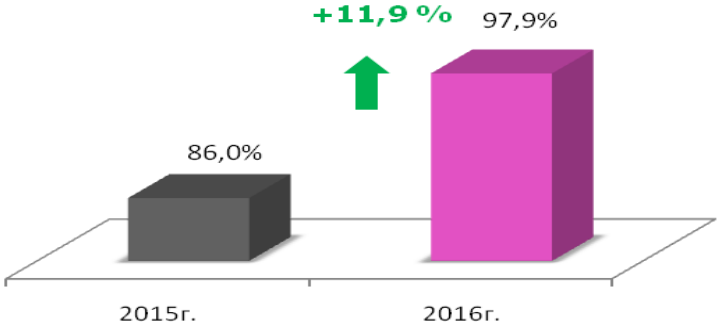


Рис.5-Надежность доставки грузов за 8месяцев 2016года

Распределение отправок, прибывших в установленные сроки, по их категориям показано на рисунке 6.

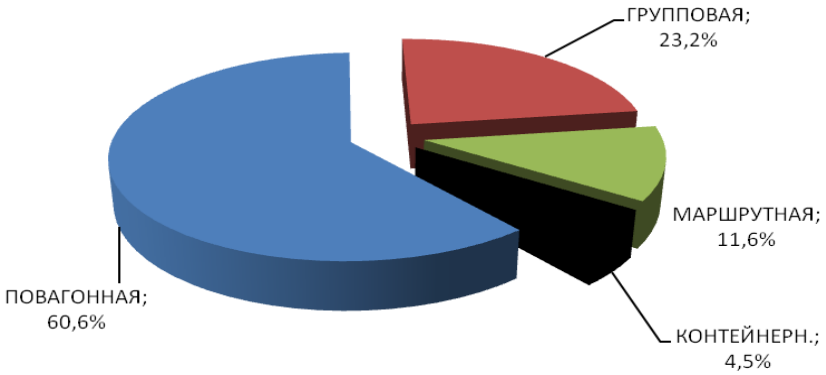


Рисунок 6-Распределение отправок, прибывших в установленные сроки

С целью сокращения финансовых рисков «ОАО РЖД» реализованы меры, направленные на повышение качества местной работы, за счет заключения договоров на увеличение сроков доставки грузов и порожних вагонов из-за инфраструктурных ограничений участков дороги. Кроме того, был пересмотрен план формирования для узловых станций дороги: Батайск, Лихая и Краснодар-сорт, что позволило уменьшить угловые потоки и сократить время переработки транзитных вагонов на этих станциях. Повысился спрос с диспетчерского аппарата Северо-Кавказской дирекции управления движением (СКЖД) за обеспечение нормы развоза местного груза в первую половину суток. В результате этого удалось довести развоз местного груза с 38 % до 58,4 %. Выполнены расчеты перерабатывающих способностей грузовых фронтов по 79 станциям, результаты которых внесены в систему ЭТРАН для использования в работе Территориального центра фирменного транспортного обслуживания (ТЦФТО). Это позволило ограничить заадресовку вагонов под погрузку грузов на одни и те же станции. В результате проведенной работы на дороге в конце 2015года удалось снизить среднесуточное наличие вагонов с просрочкой на 3,5 тыс. вагонов.

Для полноты вноса сведений в акты общей формы причин задержек поездов и вагонов на станциях подготовлены и утверждены памятки с перечнем необходимых документов, оформляемых при временном отставлении составов поездов с экспортным грузом. Установлен порядок заполнения актов общей формы по фактам задержки, связанным с исправлением погрузки. Правильно составленные документы на станциях являются веским доказательством того, что срок доставки был нарушен не по зависящим от перевозчика причинам. На старшего диспетчера дирекции управления движением по контролю сроков доставки грузов возложены обязанности контроля составления актов общей формы и регистрации их в Единой автоматизированной системе актово-претензионной работы (ЕАСАПР). Наряду с этим он осуществляет ежесменный мониторинг наличия вагонов с нарушенными сроками доставки по результатам, которых определяются задачи и выдаются задания поездным диспетчерам по отправлению со станций задержанных вагонов и поездов. По окончании смены диспетчеры представляют отчеты по их выполнению, с указанием количества отправленных поездов и динамики наличия вагонов с просрочкой. Это позволяет повысить качество анализа причин невыполнения сроков доставки грузов и порожних вагонов до мест их назначения в установленное время, а также уменьшить суммы выплат по претензионным требованиям грузовладельцам и собственникам подвижного состава, установить ответственность между железнодорожными дирекциями за допущенные нарушения в эксплуатационной работе.

Другим направлением в работе по сокращению убытков из-за просрочки доставки грузов и порожних вагонов является работа начальников станций с клиентурой по заключению мировых соглашений в результате которых клиенты при обоснованных претензиях значительно снижают суммы штрафов, не доводя дело до судов. Широкое

применение такой практики позволяет минимизировать неизбежные потери. Однако, проводимые мероприятия не означают, что железнодорожники мирятся со срывом сроков доставки грузов и порожних вагонов. Для повышения надежности перевозок и уменьшения финансовых рисков ОАО «РЖД» предложено [2]:

- вести не только логический контроль согласованного количества вагонов по заявке ГУ-12, но и автоматическую корректировку графика их подач под грузовые операции с учетом нормативного срока доставки грузов. Это позволяет направлять порожний подвижной состав только при наличии технических и технологических возможностей станций погрузки. Однако, введение данного логического контроля требует внесения соответствующих изменений в нормативные акты, регулирующие заключение договора на перевозку между перевозчиком, собственником подвижного состава и грузоотправителем;
- устанавливать иные сроки доставки порожних вагонов, превышающие нормативный срок в случае занятости инфраструктуры на станции погрузки вагонами разных собственников;
- применять сроки доставки грузов на малодеятельных участках, рассчитанные в соответствии с технологическими нормами, действующими на участках с местным вагонопотоком малой мощности, поступающим и отправляющимся сборными и участковыми поездами;
- учитывать в системе ЭТРАН инфраструктурные ограничения и пропускные способности участков, по которым следуют груженые и порожние отправки, связанные с ремонтом и содержанием инфраструктуры. С учетом обозначенных ограничений осуществлять согласование заявок ГУ-12 и заадресовку порожних вагонов под погрузку;
- повысить уровень маршрутизации экспортных грузов с 40 до 60 % по станциям Батайск и Краснодар-сорт, усилить контроль формирования маршрутов и их продвижения в пределах полигона СКЖД. Предусмотреть календарное планирование и погрузку зерновых грузов с целью формирование ступенчатых технических маршрутов со станций Краснодарского и Минераловодского регионов в адрес станций Туапсе и Новороссийск.
- увеличить число формируемых поездов в адрес припортовых станций отправляемых и поступающих на станции назначения по твердым ниткам графика.

Предлагаемые мероприятия будут способствовать повышению эффективности железнодорожных перевозок**,** росту их объема, увеличению прибыли и направлению дополнительных средств на инновационные развитие инфраструктуры дороги.

УДК 519.876.2

СОВРЕМЕННЫЕ ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Г. А. Ковалев
Филиал АО «РЖД Логистика» в г. Ростов-на-Дону,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Развитие мезологистического пространства крупных компаний-холдингов определяется двумя доминантами. С одной стороны, концентрация на конкретной услуге позволяет повысить ее эффективность. Например, ОАО «РЖД», представляя функции перевозчика, ориентируется на повышении качества и эффективности процесса транспортировки. Комплексность услуги, оказываемой одной компанией, может существенно уменьшить ее себестоимость, повысить надежность, и качество. С другой стороны, механизмы рыночного регулирования экономики предусматривает распределение функций и «разделение» рынка для формирования регулятора саморазвития. При этом

заведомо не определяется уровень «децентрализации», что также является отдельной проблемой для государственных регуляторов [1,2].

К передовым технологиям логистического сервиса можно отнести предоставление транспортных услуг в формате 4PL, рис 1.

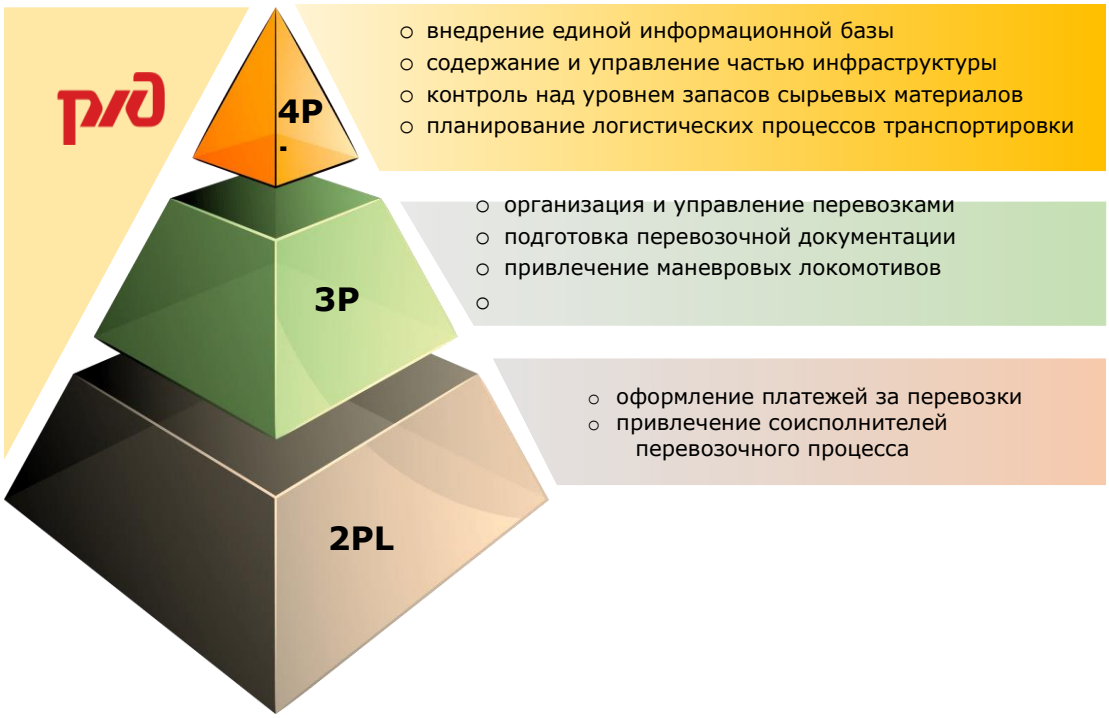


Рисунок 1 – Иерархия логистических сервисов ОАО «РЖД»

В основание пирамиды как базис закладывается стандартный набор основных услуг 2PL:

- оплата железнодорожного тарифа;
- предоставление подвижного состава.

В центре пирамиды находится ядро из разнообразных услуг 3PL, объединяющих в себе внутренние процессы производства на предприятии и работу железнодорожного транспорта:

- привлечение маневрового локомотива и квалифицированного персонала;
- диспетчерский контроль, организация и управление перевозками;
- подготовка перевозочной документации и разработка нетиповых условий перевозки грузов.

На вершине формируется пакет услуг формата 4PL, который учитывает различные особенности производства и призван удовлетворять более строгие нестандартные запросы Клиента:

- планирование логистических процессов транспортировки;
- ускорение доставки грузов с целью обеспечения графика погрузки и календарного прибытия вагонов с сырьевыми материалами;
- контроль над уровнем запаса сырья на складах;
- содержание и управление частью инфраструктур;
- внедрение единой информационной базы.

Главной отличительной особенностью такого формата является определённый уровень доверительных партнёрских отношений между Экспедитором и Клиентом, которые проходят своего рода эволюционное развитие от простейших форм до высших. Для этого может потребоваться не один год. Но одного доверия недостаточно и поэтому другим

обязательным условием является способность Экспедитора удовлетворить нестандартные запросы производственных процессов предприятия Клиента.

Наиболее ярко это можно проследить только в том случае, когда предприятие Клиента технологически зависит от стабильных поставок сырья и вывоза готовой продукции железнодорожным транспортом. Рассмотрим такую зависимость на примере предприятия с непрерывным процессом производства листового стекла, рис. 2.

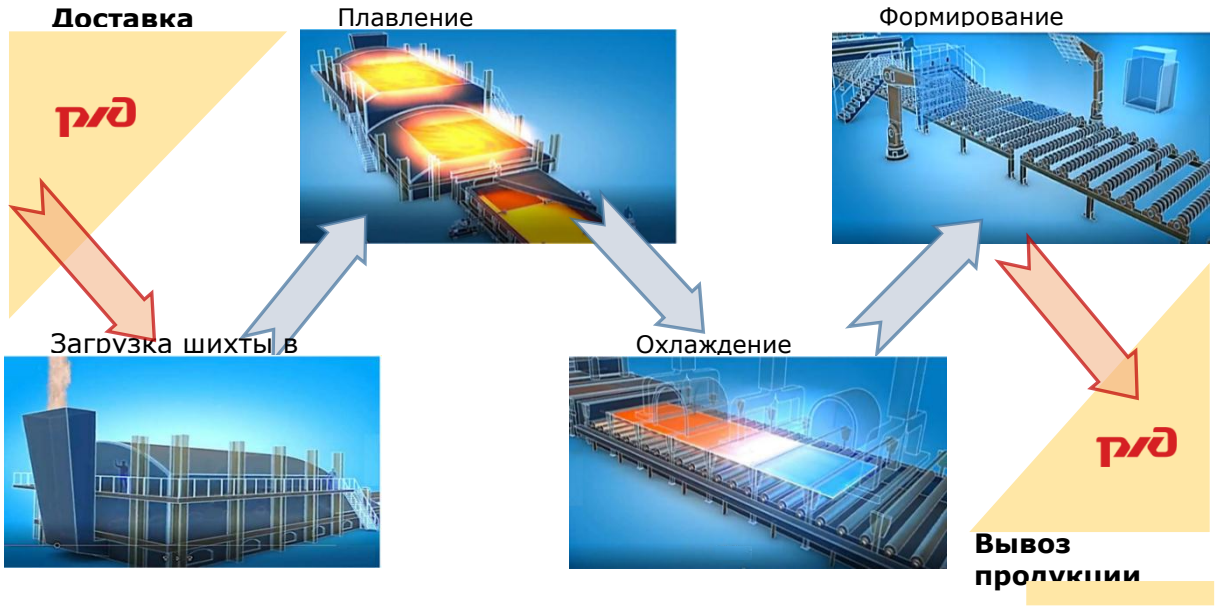


Рисунок 2 – Технология организации материального потока в стекольном предприятии

Промышленное производство стекла, как правило, максимально автоматизировано. Весь процесс от момента приготовления и закладки шихты в печь, до формирования пакета листового стекла полностью управляется специальными компьютерными программами, роботами и автоматами. Это практически полностью сокращает риск влияния человеческого фактора. Следовательно, стабильность производства во многом зависит от бесперебойной работы входящих и исходящих транспортных потоков. Но это не единственная особенность стекольного производства.

Одним из важных факторов, влияющих на качество приготовления шихты, является скорость течения материала из силоса, которая определяется физическими свойствами используемого сырьевого материала и процентом наполнения силоса. Отсюда возникает требование обеспечить по каждому из материалов запас в силосах на уровне не менее 45%, что является обязанностью Экспедитора.

Рецепт приготовления шихты может насчитывать до 10 и более ингредиентов. Отсутствие хотя бы одного из них приводит к остановке производства.

Учитывая требование о неснижаемом запасе 45%, надо помнить, что силос невозможно наполнить на 100%. Следовательно, реальный рабочий объём материала немного выше 50%. Из этого следует вывод, что с учётом размера суточного потребления сырья, прибытие и выгрузка вагонов должна быть не реже одного раза в трое-четверо суток.

Такую ритмичность может обеспечить только календарный график прибытия вагонов по каждому виду сырья. Данный график ещё называют планом логистического обслуживания.

Чтобы сырьё в процессе транспортировки не потеряло своих первоначальных качеств, обязательным условием является использование нового или специально подготовленного подвижного состава, который должен обращаться только по закольцованным маршрутам, отдельно для каждого вида сырья.

Контроль над соблюдением графика погрузки и выполнение плана логистического обслуживания, а также обеспечение срока оборота вагонов на «кольце» осуществляет квалифицированный персонал, в распоряжении которого имеются информационные системы ЭТРАН и АСУ МР.

Успешное завершение перевозочного процесса немыслимо без организации бесперебойной подачи/уборки вагонов в рамках аутсорсинга внутренних железнодорожных перевозок на предприятии. Здесь Экспедитор не только расширяет перечень оказываемых услуг по потребности Клиента, а фактически является вовлечённым в производственный процесс и исполняет роль внутреннего транспортного подразделения.

Логистический аутсорсинг, как правило, включает в себя предоставление локомотива с бригадой, выполнение функций грузоотправителя/получателя и текущее содержание железнодорожного пути. Однако это не предел и спектр услуг может быть гораздо шире, вплоть до автомобильных перевозок, рис.3.

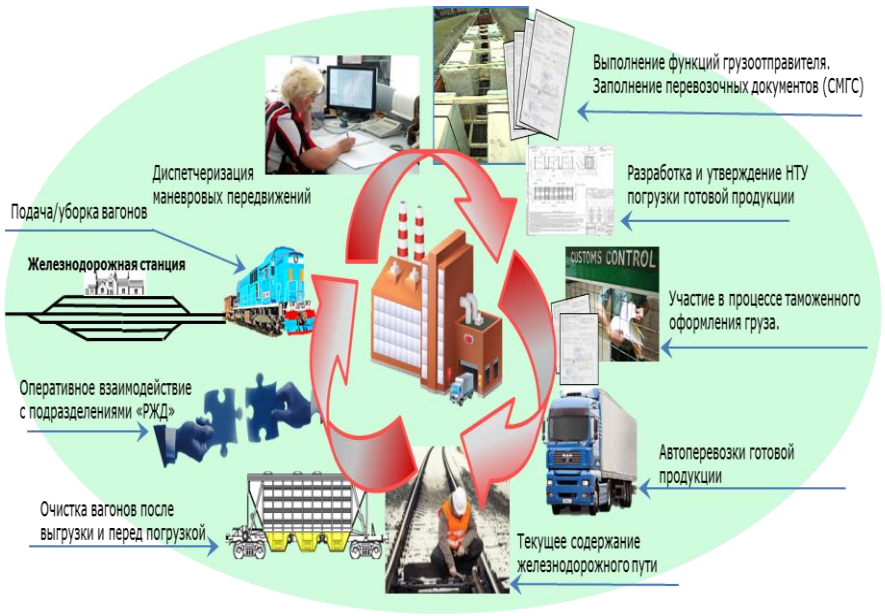


Рисунок 3 – Спектр услуг в рамках логистического аутсорсинга предприятия

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Представленная технология транспортной логистики уровня 4PL на сегодняшний день является одной из передовых.

2. Развитие логистического аутсорсинга может идти по пути интеграции с производственными процессами крупных предприятий. В этом мы видим альтернативный путь развития рынка логистики в направлении инноваций.

3. Транспорт и логистика становится продолжением технологического процесса основного производства – основной вектор снижения транспортно-логистических издержек предприятий.

4. Всё больше предприятий, стремясь оптимизировать транспортную логистику, проявляют интерес к возможности передать на аутсорсинг железнодорожные перевозки и прочие сопутствующие услуги.

5. Национальному холдингу ОАО «РЖД» следует концентрироваться на основной-перевозочной деятельности, передавая на аутсорсинг логистические услуги своим и «чужим» агентам транспортно-логистического рынка. При этом рынок инновационных логистических услуг будет определяться не столько ОАО «РЖД», а как результат деятельности компаний класса АО «РЖД Логистика».

УДК 656.072 + 06

ИНТЕГРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СООБЩЕНИЯ В ГОРОДСКУЮ ПАССАЖИРСКУЮ ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ

Н.А. Ковалева
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Пассажирский транспорт играет важную роль в жизнеобеспечении каждого общества и имеет большое социально-экономическое значение. Для организации городских пассажирских перевозок используют многие виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, речной, самоходный. Оптимальный выбор вида транспорта зависит от уровня территориального развития, а также степени развития инфраструктуры.

Рост численности городов, высокая нагрузка на улично-дорожную сеть обуславливает конкуренцию на рынке транспортных услуг путем постоянного совершенствования транспортных технологий и средств, кроме этого формируется устойчивый спрос на альтернативные способы передвижения. Особенный интерес представляет опыт Московской железной дороги по вводу комфортабельных пригородных электропоездов-экспрессов, что позволило в 3-4 раза увеличить доходность пригородных перевозок.

Актуальность темы обусловлена необходимостью устранения диспропорции между темпами развития транспортной инфраструктуры и жилого, общественного, промышленного и других видов строительства, снижения нагрузки на городскую улично-дорожную сеть.

Вопрос включения в городскую пассажирскую транспортную систему железнодорожного транспорта решается на уровне Администрации области, Министерства области, Департамента транспорта, а также перевозчиков (автотранспортные компании, пригородные пассажирские компании).

Потенциальными и фактическим потребителями пригородных перевозок являются жители Ростовской агломерации и население города Ростова-на-Дону. Анализ действующего графика движения поездов в пригородном железнодорожном сообщении, проходящих по территории города, показывает, что все маршруты концентрируются (зарождаются или погашаются) на одной станции – Ростов-Пригородный, т.е. имеют радиальную схему, а внутригородская железнодорожная корреспонденция между районами отсутствует. Жители города могут воспользоваться поездами пригородного сообщения, основные из них:

1. Направление Таганрог – Ростов:

– внутригородские пассажирообразующие остановки о.п. Левенцовская, Первомайская, Гниловская, Ростов-Берег, Ростов-Главный;

– внутригородские пассажирообразующие остановки Ростов-Западная, остановочная площадка (ОП) 1337 километр, Темерник, Ростов-Главный.

2. Направление Лихая – Ростов: внутригородские пассажирообразующие остановки Кизитеринка, Красный Аксай, Развилка, Орджоникидзе, Сельмаш, Ростов-Товарный, Микояна, Пл. Октября, Рабочий городок, Ростов-Главный.

3. Направление Батайск – Ростов-Главный.

Вопрос использования железнодорожного транспорта в маршрутной сети общественного транспорта города Ростова-на-Дону решается в ходе разработки схемы маршрутной сети общественного транспорта города. Для реализации данного мероприятия необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ пропускной способности железнодорожных путей общего пользования на территории города Ростова-на-Дону (с учетом городов-спутников Батайск, Аксай, Таганрог, Новочеркасск и др.).

2. Анализ действующего графика движения поездов в пригородном железнодорожном сообщении, проходящих по территории города, возможностей включения в график движения «городских электричек».

3. Разработка внутригородских маршрутов движения электропоездов (на радиальных направлениях от Центра – Пригородного ж/д вокзала и по кольцевым маршрутам).

4. Разработка ниток внутригородских маршрутов в графике движения поездов (с учетом пропускной способности железнодорожных путей общего пользования и графика работы крупных предприятий).

5. Разработка графика оборота составов электропоездов.

Анализ графика движения электропоездов показал, что большая доля поездов приходится на утренние и вечерние часы, а именно с 6:00 до 8:30 утром, 16:00 до 20:00 вечером. Это обусловлено востребованностью в перемещении пассажирами и совпадает с часами «пик». При этом существуют следующие проблемы по направлениям:

1. Направление Новочеркасск – Аксай – Ростов: низкая техническое время хода, что обусловлено большим количеством остановок и действующим ограничением скоростного режима.

2. Направление Батайск – Ростов:

– низкая концентрация пригородных поездов в вечернее время: в вечерний час «пик» интервал между поездами составляет 1ч. 12 минут: с 17:11 до 18:23;

– все поезда приходят на станцию Ростов-Главный, при этом существует возможность продления маршрутов до станции Кизитеринка с проследованием станций Рабочий городок, Сельмаш и др.

Общий пассажиропоток по направлениям приведен в таблицах 1, 2.

Таблица 1–Суммарный пассажиропоток по станциям и остановочным площадкам в направлении в г. Ростов-на-Дону

Направление	Август, пасс.	Сентябрь, пасс.	Будние дни, %	Выходные дни, %
Аксай – Ростов-на-Дону	51593	51490	72,80	27,20
Батайск – Ростов-на-Дону	58349	62174	83,85	16,15
Таганрог –Ростов-на-Дону	121507	119712	75,42	24,58
Всего	231449	233376	77,29	22,71

Таблица 2–Суммарный пассажиропоток по станциям и остановочным площадкам в направлении из г. Ростова-на-Дону

Направление	Август, пасс.	Сентябрь, пасс.	Будние дни, %	Выходные дни, %
Ростов-на-Дону – Аксай	33709	34092	77,77	22,23
Ростов-на-Дону – Батайск	52342	50715	69,65	30,35
Ростов-на-Дону – Таганрог	78618	73341	71,63	28,37
Всего	164669	158148	72,75	27,25

Количество перевезенных пассажиров в пригородном сообщении стабильно и не зависит от сезонности. При этом большая доля пассажиров приходится на будние дни (порядка 75 %).

Анализ населенности поездов показал, что 17 % пассажиров используют поезда пригородного сообщения для перемещения в черте города Ростова-на-Дону. Основными крупными пассажирообразующими и пассажиропоглощающими остановочными площадками являются 1337 км, Сельмаш, Рабочий городок, Ростов-Главный и другие.

Анализ пассажиропотока по времени суток показал: большая доля пассажиров используют пригородные электропоезда в утренние часы, при этом, если пассажиропоток в/из Таганрога в утренние часы и суммарный в дневные и вечерние часы сопоставимы, то диспропорция наблюдается в пассажиропотоке в направлении Батайска.

С марта 2016 года ОАО «Северо-Кавказская пригородная пассажирская компания» (ОАО «СКППК») реализует проект «Городская электричка». Поезд в утренние часы следует через следующие остановочные площадки и станции: Ростов-Главный – Темерник – 1337 км – Ростов-Западный – 1337 км – Рабочий городок – Пл. Октября – Микояна – Ростов-Товарный – Сельмаш – Орджоникидзе – Развилка – Красный Аксай – Кизитеринка – Красный Аксай – Развилка– Орджоникидзе– Сельмаш– Ростов-Товарный– Микояна – Пл. Октября– Рабочий городок – Ростов-Главный. В вечерние часы: Ростов-Главный Рабочий городок – Пл. Октября – Микояна – Ростов-Товарный – Сельмаш – Орджоникидзе – Развилка – Красный Аксай – Кизитеринка – Красный Аксай – Развилка– Орджоникидзе– Сельмаш– Ростов-Товарный– Микояна – Пл. Октября– Рабочий городок – Темерник – 1337 км – Ростов-Западный – Темерник – Ростов-Главный.

«Городская электричка» позволяет организовать повседневную перевозку пассажиров между «Спальным» районом Военвед, центром города и крупную промышленную зону – район Сельмаш. При этом стоит отметить привлекательность данного вида транспорта, помимо следования без заторов по расписанию – стоимость проезда составляет 16 руб.

За период проведения проект доказал свою эффективность. За время реализации проекта в адрес компании ОАО «Северо-Кавказская пригородная пассажирская компания» поступают обращения пассажиров о работе «Городской электрички», основная часть из них акцентирует внимание на неудобном расписании пригородных поездов для пассажиров, чей рабочий день начинается в 09.00 и заканчивается в 18.00.

Действительно, в настоящее время с основных пассажирообразующих направлений данный поезд пользуются популярностью у жителей, чей рабочий и учебный день начинается с 08.00 и заканчивается в 17:00.

Диаграммы пассажиропотока «Городской электрички» в утренние и вечерние часы, а также объем перевезенных пассажиров по месяцам представлены на рисунке 1, 2.

Анализ пассажиропотока показал, что за время работы городского электропоезда сложился устойчивый пассажиропоток, который использует данный вид сообщения в будние дни для следования преимущественно к местам работы и учебы.

Для определения основных направлений корреспонденции населения после прибытия в город Ростов-на-Дону пригородным железнодорожным сообщением было проведено анкетирование пассажиров.

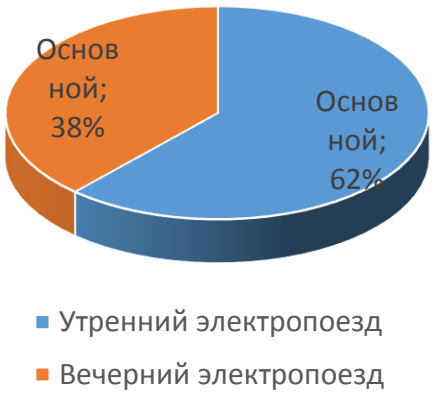


Рис. 1. – Пассажиропоток в утренние и вечерние часы, март – сентябрь 2016 г.

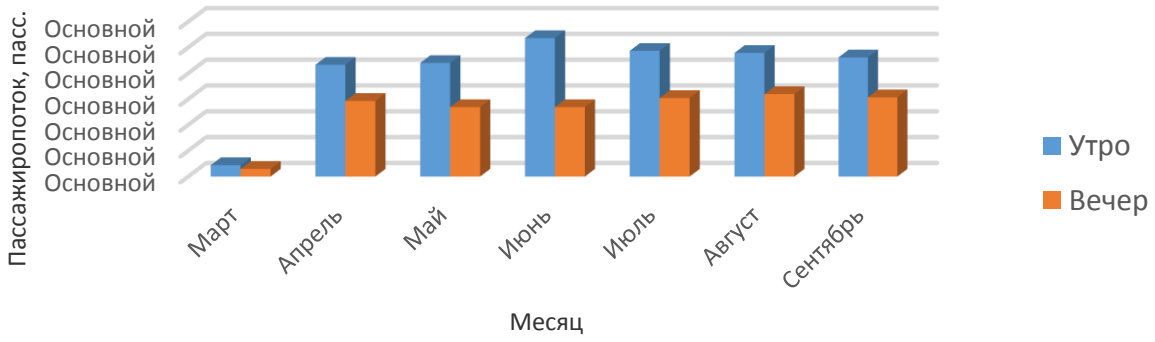


Рис. 2. – Количество перевезенных пассажиров «Городской электричкой»

Основными задачами проведения обследования являются:

– выявление целей и места (по районам города) поездок по г. Ростову-на-Дону, совершаемых жителями Ростовской агломерации;

– выявление объемов транзитных пассажиропотоков;

– выявление размеров движения грузового автотранспорта на въездах в г. Ростов-на-Дону;

– выявление потокообразующих и потокопоглощающих центров пассажирского движения;

– определение структуры пассажиропотока по целям и времени движения, въезжающего на территорию г. Ростова-на-Дону.

Список поездов пригородного сообщения, где проводилось анкетирование, представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Список электропоездов, где проводилось анкетирование

№ п/п	Поезд №	Отправление		Прибытие		Количество интервьюеров
		Станция	Время	Станция	Время	
1	6071	Хапры	05:55:00	Ростов-Главный	06:27:00	5
2	6073	Хапры	06:21:00	Ростов-Главный	07:00:00	8
3	6501	Хапры	07:23:00	Ростов-Главный	07:49:00	8
4	6075	Хапры	08:49:00	Ростов-Главный	09:28:00	8
5	6164	Большой Лог	07:40:00	Ростов-Главный	08:36:00	8
6	6151/6051	Батайск	05:59:00	Ростов-Главный	06:19:00	5
7	6282/6182	Батайск	06:40:00	Ростов-Главный	07:00:00	8
8	6021	Батайск	07:08:00	Ростов-Главный	07:27:00	8
9	6853/6053	Батайск	07:32:00	Ростов-Главный	07:52:00	8
10	6811	Батайск	07:42:00	Ростов-Главный	08:02:00	8
11	6401	Батайск	08:02:00	Ростов-Главный	08:22:00	8
12	6023	Батайск	08:19:00	Ростов-Главный	08:41:00	8
Итого						90

Форма анкет для проведения опроса пассажиров в пригородных поездах представлена на рисунке 3.

Полученные результаты позволяют составить карту корреспонденции пассажиропотока по транспортным районам и учитывать их при оптимизации маршрутной сети.

В качестве рекомендаций, для организации мобильности населения, а именно организации подвоза / вывоза пассажиров к остановочным площадкам электропоездов в г.

Ростове-на-Дону предлагается: создание остановочного комплекса общественного транспорта на углу ул. Целиноградская – проспект Буденовский; к остановочной платформе Пл. Микояна организовать экспресс маршруты в часы «пик»; создание дополнительных остановочных платформ электропоездов следующих как в пригородном, так и во внутригородском сообщении, а именно: ОП Изумруд – обеспечение потребности населения в перевозке, проживающего в ЖК «Западные ворота», садовом товариществе «Изумруд», ОП Портовая – обеспечение потребности населения в перевозке, проживающего в ЖК «Три сквера», ОП Военвед – густонаселенный жилой микрорайон; ОП Зеленый остров – зона отдыха; ОП Ростов-Арена – после ввода в эксплуатацию стадиона Ростов-Арена.

УДК 656.21:004.94

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

П.А. Козлов[1], В.С. Колокольников[2], В.Ю. Пермикин[2]
[1]*Научно-производственный холдинг «СТРАТЕГ», г. Москва, Россия*
[2]*ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург, Россия*

1. Проблема

Аналитические и имитационные модели имеют разную природу, разные возможности и соответственно различные сферы корректного применения на транспорте. Аналитические модели можно разделить на оптимизационные и расчетные. Оптимизационные обычно нужны тогда, когда приходится делать выбор из огромного множества вариантов. При этом используется известный аппарат оптимизации, все должно быть выражено в терминах этого подхода. Модель по необходимости является содержательно ограниченной.

Расчетные модели формируются на основе практики при помощи ручных графиков и логических рассуждений. Полученные формулы приводятся в инструкциях и используются в проектных организациях, хотя исследования их корректности, как правило, не выполняется.

Имитационные модели не имеют жестких ограничений при отображении объекта. При расчете железнодорожных станций модель может отобразить трудно формализуемые факторы — схему путевого развития, управляемую технологию, смешанные — частично случайные, частично управляемые потоки. Поэтому все шире применяется имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры [1].

2. Анализ постулатов и аналитических расчетных моделей

2.1. Пропускная способность станционных устройств

Постулат 1. «*Пропускная способность какого-либо устройства может быть правильно установлена только в том случае, если при расчете не учитывается возможное ее ограничение пропускной способностью соседних устройств*» [4, п.2.1.4].

Постулат 2. «*Порядок расчета пропускной и перерабатывающей способности станции устанавливается следующий:*

– определяется пропускная (перерабатывающая) способность отдельных устройств;

– устанавливается результативная пропускная способность станции, соответствующая устройству, имеющему наименьшую ее величину» [4, п.2.1.7].

Постулат 3. Устройство может быть загружено на 100 %.

При расчете результирующей пропускной способности некоторой технологической цепочки устройств ее представляют в виде взаимодействия «канал — канал» (рис. 1*а*). И канал с наименьшим значением этого параметра будет определять свойства всей цепочки.

Это серьезная ошибка, искажающая суть расчета. Практически всегда схема имеет вид «канал — бункер — канал» (рис. 1*б*). Бункер означает в данном случае наличие резервных путей. Так как продолжительность обслуживания в любом канале имеет, как правило, случайный разброс, то поток из него выходит со случайными колебаниями по величине. В результате взаимодействия случайного потока и процесса обслуживания возникает очередь.

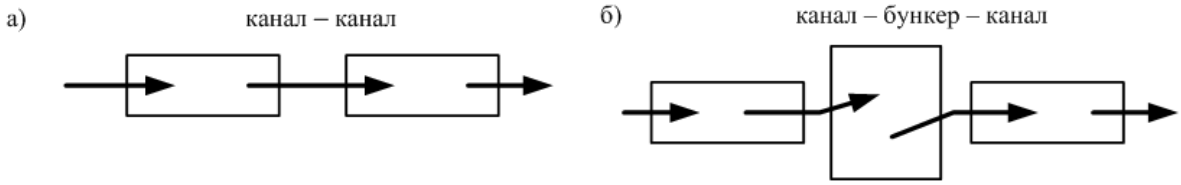


Рис. 1 – Схемы взаимодействия элементов станции

Расчетом величины очереди при разных законах распределения занимались многие ученые в 1970-е гг. Профессор И.Б. Сотников, один из инициаторов этого направления, предлагал, например, такую формулу для очереди [5]:

$$n_{\text{оч}} = \frac{\Psi(1+\nu_{\text{обсл}}^2)+\nu_{\text{вх}}^2-1}{2(\frac{1}{\Psi}-1)}+\varepsilon, \tag{1}$$

где Ψ — загрузка системы;

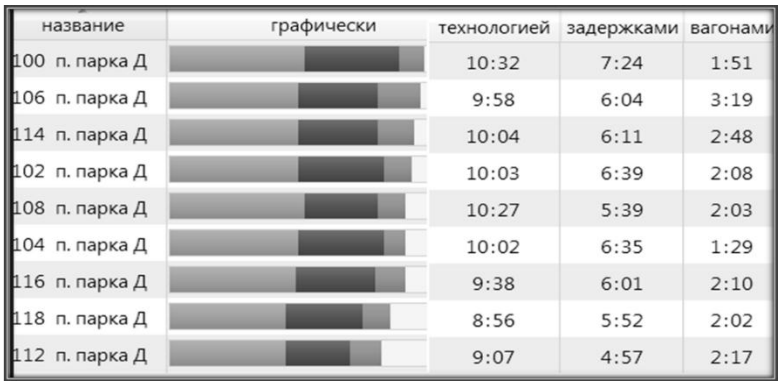
$\nu_{\text{обсл}}$ — коэффициент вариации длительности обслуживания;

$\nu_{\text{вх}}$ — коэффициент вариации интервалов между моментами поступления требований;

ε — дополнительная величина, зависящая от значения $\nu_{\text{вх}}$.

Но очередь где-то должна находиться — требуются резервные пути.

Это наглядно видно из результатов имитационного моделирования реальной станции в реальных условиях (рис. 2). Только половину времени пути заняты технологическими операциями, вторая половина приходится на задержки и простои вагонов. То есть, по сути, половину парка составляют резервные пути (бункер).



название	графически	технологией	задержками	вагонами
100 п. парка Д		10:32	7:24	1:51
106 п. парка Д		9:58	6:04	3:19
114 п. парка Д		10:04	6:11	2:48
102 п. парка Д		10:03	6:39	2:08
108 п. парка Д		10:27	5:39	2:03
104 п. парка Д		10:02	6:35	1:29
116 п. парка Д		9:38	6:01	2:10
118 п. парка Д		8:56	5:52	2:02
112 п. парка Д		9:07	4:57	2:17

Рис. 2 – Структура времени занятости путей станции (ст. Карымская)

Вот как выглядит, например, графика исполненной работы парка для транзитных поездов (рис. 3). Есть задержки при отправлении поездов и в ожидании обработки.

Бункер преобразовывает поток из случайного в управляемый (рис. 4). Между этими начальным и конечным пунктами поток имеет смешанный характер, и коэффициент вариации уже не имеет здесь содержательного смысла.

Чем более управляемый поток поступает в канал, тем больше может быть его полезная загрузка. Во ВНИИЖТе когда-то проводились расчеты сортировочных станций на имитационных моделях и было сделано важное заключение — при шести путях в предгорном парке горку можно загрузить только на 65 %. Для того чтобы использовать ее мощность на 95%, потребуется около двадцати путей. Таких парков нет, поэтому и такого использования быть не может.

Итак, *постулат 1— неверный*. Реальную пропускную способность устройств без учета влияния взаимодействующих элементов рассчитывать нельзя. Если бункер имеет недостаток емкости, то возникающая при большой загрузке канала очередь в нем не поместится, возникнет отбрасывание заявок, и максимально возможная в данных условиях пропускная способность канала уменьшится.

Но *ошибочен и постулат 2*. Нельзя рассчитывать пропускную способность технологической цепочки по свойствам изолированных элементов. Перерабатывающая способность устройства зависит от коэффициента возможного полезного использования, определяемого емкостью предыдущего бункера.

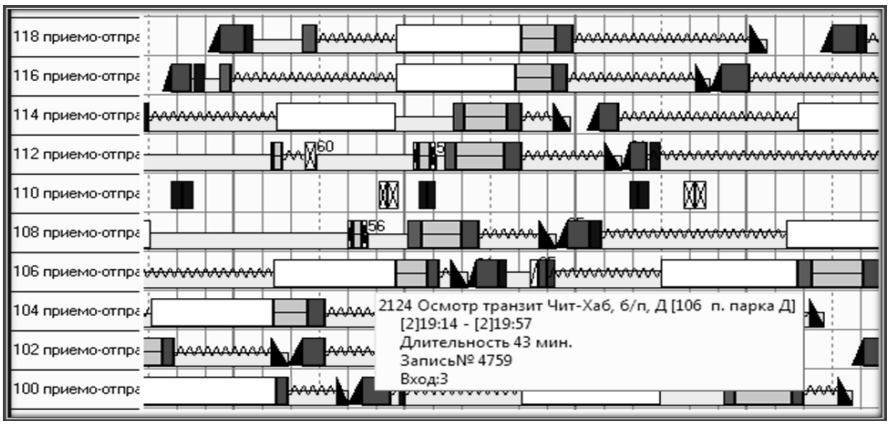


Рис. 3 – График исполненной работы транзитного парка (ст. Карымская)

Таким образом, расчетные формулы, выведенные на основе ошибочных постулатов, не могут быть корректными. Необходимо учитывать размер соединяющих каналы бункеров (функциональную емкость резервных путей).

Руководство по проектированию железнодорожных станций и узлов [6], выпущенное в 1981 г., рекомендует следующее:

«Пропускная способность станционных устройств определяется числом поездов

$$n = \frac{1440m - \sum T_{\text{пост}}}{t_{\text{зан}}}, \tag{2}$$

где m — число параллельно работающих однородных элементов рассчитываемого устройства (например, число путей в парке);

$t_{\text{зан}}$ — время занятия пути одним поездом;

$\Sigma T_{\text{пост}}$ — время занятия устройства выполнением постоянных операций, мин».

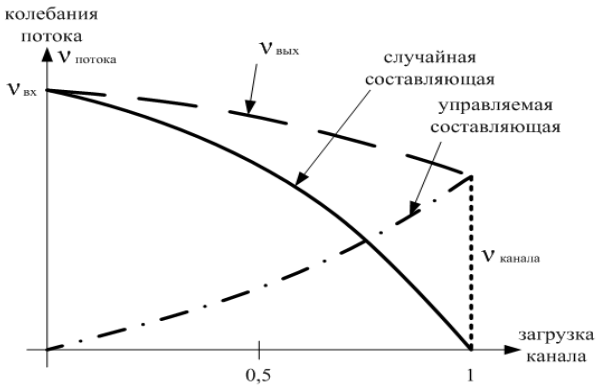


Рис. 4 – Преобразование потока в бункере

Как можно видеть, никак не учитывается занятость путей задержками и вынужденными простоями вагонов, а также не отражено влияние смежных устройств. В более поздней инструкции [4] вносятся определенные коррективы. Время занятости всех путей рассчитывается по формуле

$$T = (\sum n_i t_i) \cdot (1 + \rho), \tag{3}$$

где n_i — число поездов технологической *i*-й цепочки;

t_i — суммарное время занятия пути одним поездом *i*-й цепочки;

ρ — коэффициент, учитывающий задержки поездов в ожидании технологических операций (принимается от 0,2 до 0,4).

И затем вычисляется коэффициент загрузки путей *К*:

$$K = \frac{T}{\beta\alpha 1440 m - \sum T_{\text{пост}}^{\text{пр}}}, \tag{4}$$

где β — коэффициент, зависящий от типа парка;

α — коэффициент, учитывающий влияние пассажирских поездов.

Здесь уже сделана слабая попытка учесть вынужденные простои. Но они являются функцией других параметров, и так упрощенно оценивать сложные взаимодействия нельзя.

Авторам аналитических расчетных формул приходится часто прибегать к помощи различных коэффициентов, так как взаимодействие потока, сложной технологии и разветвленной структуры не поддается полной формализации. Например, в методическом руководстве [6] предлагается такой: «В условиях внутрисуточной неравномерности движения грузовых поездов, разной продолжительности выполнения одних и тех же операций с конкретными составами, неравномерности поездообразования, влияния смежных устройств, возникновения отказов технических устройств и действия других объективных факторов станционные пути должны обеспечивать устойчивую работу станции с высокой эксплуатационной надежностью. Влияние указанных факторов оценивается технически необходимой долей пропускной способности ρ».

И такая непосильная нагрузка на один коэффициент?! Если коэффициент загрузки оказался меньше единицы, то дополнение до нее будет считаться неиспользованным резервом. Многочисленные эксперименты на имитационных моделях станций показали, что даже при полном использовании возможностей последних ни пути, ни стрелки не могут быть технологически заняты на 100 % (примеры приведены ниже).

То есть *постулат 3 тоже ошибочен*.

Таким образом:

а) при расчете пропускной способности станционных устройств необходимо рассматривать их во взаимодействии в технологической цепочке, построенной по принципу «канал — бункер — канал» (см. рис. 1*б*);

б) вывод закономерностей влияния резервных путей на коэффициент полезного использования последующего устройства следует проверять на имитационной модели.

2.2. Задержки из-за занятости стрелок

Руководство [6] рекомендует определять задержки в горловине следующим образом:

«Время задержек (в мин. за сутки) у пересечений маршрутов в одном уровне

$$T = \frac{n_1 n_2 (t_1 + t_2)^2}{2 \cdot 1440}, \tag{5}$$

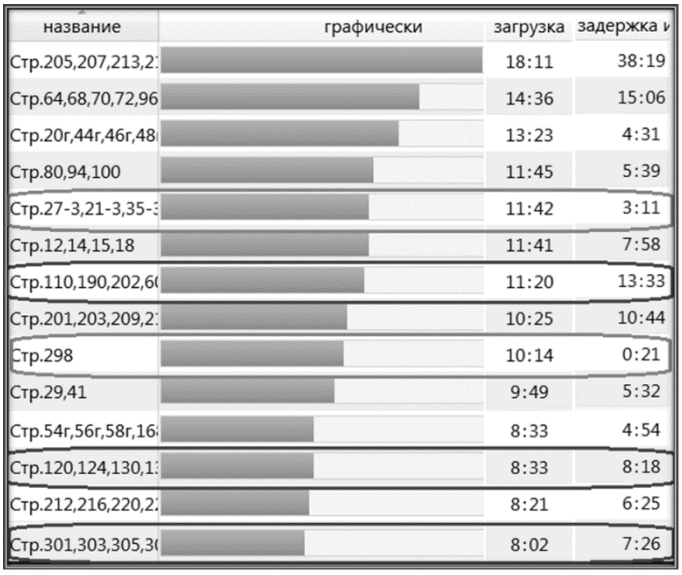
где n_1 и n_2 — размеры передвижений по соответствующим маршрутам за сутки;

t_1 и t_2 — время занятия пересечения поездом соответствующего маршрута, мин;

1440 — число минут в сутках».

То есть считается, что задержки являются линейной функцией загрузки элемента.

Эксперименты на имитационных моделях станций такой подход не подтверждают. Вот как выглядит, например, соотношение загрузки стрелок и задержек из-за их занятости на одной из станций (рис. 5). Из рисунка видно, что прямой зависимости задержек от загрузки нет: задержки либо больше ожидаемых, либо меньше. На величину задержек влияет не только уровень, но и характер загрузки (рис. 6).



название	графически	загрузка	задержка
Стр.205,207,213,2		18:11	38:19
Стр.64,68,70,72,96		14:36	15:06
Стр.20г,44г,46г,48		13:23	4:31
Стр.80,94,100		11:45	5:39
Стр.27-3,21-3,35-3		11:42	3:11
Стр.12,14,15,18		11:41	7:58
Стр.110,190,202,6		11:20	13:33
Стр.201,203,209,2		10:25	10:44
Стр.298		10:14	0:21
Стр.29,41		9:49	5:32
Стр.54г,56г,58г,16		8:33	4:54
Стр.120,124,130,1		8:33	8:18
Стр.212,216,220,2		8:21	6:25
Стр.301,303,305,3		8:02	7:26

Рис. 5 – Параметры использования в технологическом процессе стрелок (ст. Карымская)

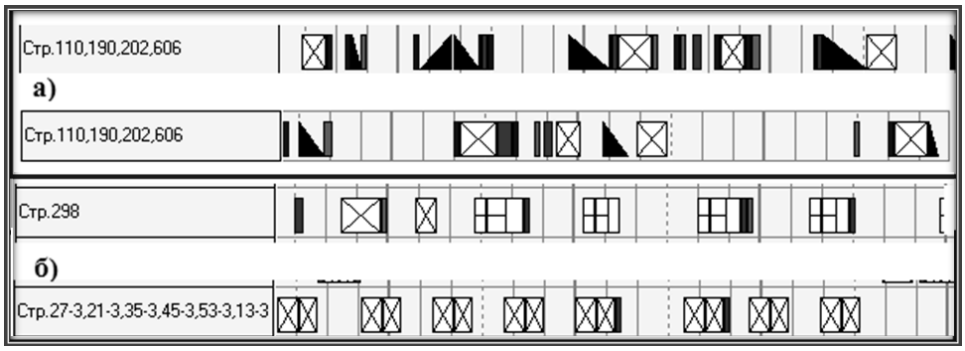


Рис. 6 – Характер загрузки стрелочных групп (ст. Карымская)

Стрелочная группа 110-606 создает задержки выше ожидаемых, при этом она используется в шести различных операциях (см. рис. 6*а*). Стрелка 298 и группа 27-13 — в двух и трех операциях соответственно (см. рис. 6*б*). Первая группа занимается то интенсивно, то нет, т.е. неравномерность использования ее высокая. Занятость стрелок 298 и 27-13 осуществляется более равномерно. По-видимому, согласовать равномерную загрузку стрелок при большом числе использующих их операций труднее.

Итак, величина задержек из-за стрелок определяется не только уровнем, но и характером загрузки. В формулах расчета это необходимо учитывать, а методику следует отрабатывать на имитационных моделях.

2.3. Пропускная способность горловин

В соответствии с инструкцией [4] «пропускная способность горловины при помощи коэффициента использования рассчитывается в зависимости от продолжительности занятия горловины за сутки всеми операциями, предусмотренными технологическим процессом работы станции».

Далее устанавливается, какой именно элемент является наиболее загруженным:

$$K = \frac{\sum t_{\text{зан}^{\text{г}}}(1+\rho_{\text{г}})}{\alpha_{\text{г}} \cdot 1440 - (\sum t_{\text{зан}_{\text{л}}^{\text{г}}} + t_{\text{тех}^{\text{г}}})}, \tag{6}$$

где $\sum t_{\text{зан}^{\text{г}}}$ — время занятия расчетного элемента горловины;

$t_{\text{тех}^{\text{г}}}$ — время занятия горловины текущим обслуживанием.

Горловина в расчете представляется только одной, наиболее загруженной, стрелкой. И она может быть загружена на 100%. Судя по приведенному в инструкции примеру, число поездов в рассматриваемой горловине может быть увеличено в 2,5 раза.

Здесь присутствуют две ошибки:

а) наиболее загруженная стрелка необязательно является ограничивающим элементом, узким местом (см. п. 2.2);

б) в горловине может быть несколько стрелок, вызывающих задержки, и каждая из них вносит свой вклад в ограничение пропускной способности.

Но имитационное исследование может подсказать и другой подход. В системе макромоделирования транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА применяется принцип укрупненного отображения структуры [7]. Горловина представлена не стрелками, а «виртуальными» каналами. Их число равно количеству одновременно возможных параллельных передвижений (рис. 7). Группа стрелок, обеспечивающая независимое передвижение, и будет структурно представлять канал. Расчеты показали, что такой подход правомерен — суммарные задержки в горловине, рассчитанные на подробной и на укрупненной моделях, практически совпадают (рис. 8).

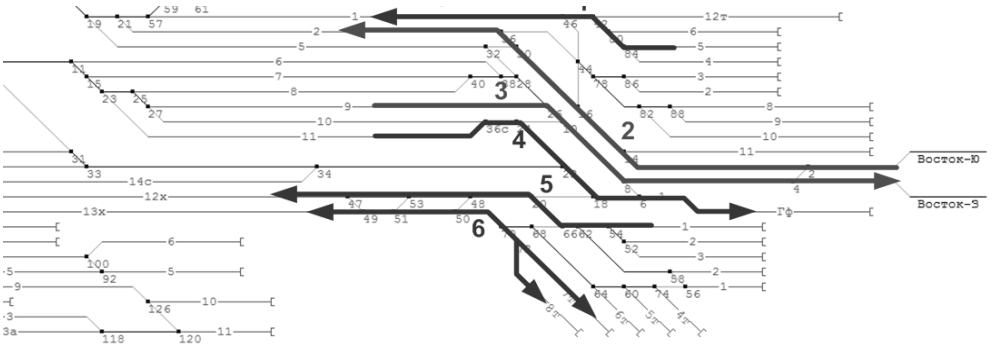


Рис. 7 – «Виртуальные» каналы в горловине

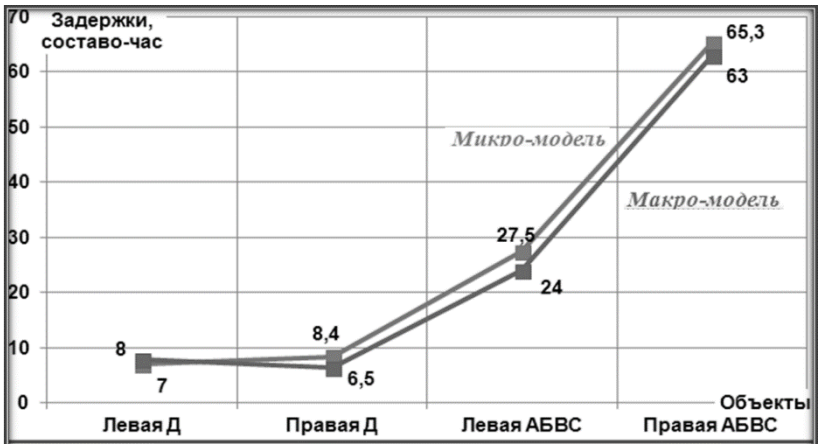


Рис. 8 – Задержки в горловинах одной из станций

Тогда уровень загрузки горловины будет определяться отношением среднего числа занятых каналов к их максимальному числу.

С помощью экспериментов на укрупненных моделях можно создать метод расчета пропускной способности горловин, который станет более корректным, чем при оперировании только одной стрелкой. Использование современных методов расчета позволит более корректно оценивать проекты развития транспортной инфраструктуры.

УДК 331

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОСТИ НАУЧНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ

Ю.Н. Лобас, О.А. Матвеева
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

В процессе управления научными коллективами регулярно возникает необходимость оценки результативности выполняемых работ.

Инструментом, позволяющим в процессе управления научно-исследовательскими работами выбирать стратегически оптимальные направления исследований, служат разработанные методы исчисления экономической эффективности систем. Их применение позволяет в зависимости от полученной оценки принимать решения о прекращении или изменении работ.

В основе расчета экономической эффективности заложено соизмерение эффекта от использования системы и затрат на ее создание и эксплуатацию.

Выбор критерия экономической эффективности – сложная проблема. Критерий должен вытекать из объективных целей современного общества – всемерного удовлетворения потребностей. Эффективность научно-технического прогресса выражается в темпах роста общественной производительности труда, общепринятым показателем которого служит прирост национального дохода. Поэтому производительность общественного труда представляет собой общий критерий экономической эффективности.

Используемые в практических расчетах эффективности такие понятия, как срок окупаемости, рентабельность, имеют и достоинства, и определенные недостатки. Слабое место первых двух критериев – недостаточная обоснованность нормативного коэффициента экономической эффективности. Недостаток третьего заключается в отсутствии научных методов разработки цен, в результате чего прибыль нередко отражает не результат производства, а затраты.

Критерий экономической эффективности должен обеспечивать правильное соизмерение текущих и единовременных затрат и соответствовать общему критерию экономической эффективности, то есть производительности общественного труда. Срок окупаемости, приведенные затраты и рентабельность с определенным допущением можно рассматривать как модификации общего критерия экономической эффективности.

Несколько расширив наиболее распространенный метод оценки экономической эффективности на базе приведенных затрат и трактуя последние как полные затраты, кратко рассмотрим с позиций системного подхода проверенную на практике на нескольких конкретных НИОКР методологию расчетов результативности инноваций.

Расчеты эффективности производятся несколько раз: до начала научных изысканий, в процессе их реализации, а также в процессе серийного производства и эксплуатации. Это позволяет установить прогнозный, ожидаемый (с различной степенью достоверности) и фактический эффект. Расчеты отличаются объемом, глубиной и точностью, которая определяется полнотой и достоверностью исходной информации.

Применяемая методология определения прогнозной эффективности основана на монокритериальной оценке экономической эффективности с введением ограничений по финансовым, трудовым и материальным ресурсам, а также с учетом общеполитических целей государства и перспективных планов развития экономики:

$$r_i < Ri\ , \tag{1}$$

где Ri – максимально возможный объем выделяемых ресурсов для i-той системы;

r_i – потребная величина ресурсов для i-той системы.

Монокритерий экономической эффективности $K_{ээ}$ представляет собой отношение экономического эффекта $Э_э$ от использования большой технической системы к полным затратам Z_Σ на ее создание и эксплуатацию:

$$К_{ээ} = \frac{Э_э}{Z_\Sigma} \tag{2}$$

Остановимся на способах нахождения обеих составляющих формулы 2.

Для того, чтобы определить абсолютный экономический эффект $Э_э$ от реализации НИОКР, прежде всего осуществляется по возможности логически полное выявление всех направлений и областей использования инноваций с приближенным установлением на каждом иерархическом научном уровне относительного эффекта. Суммарный относительный эффект по уровню принимается за 100%. В этом случае наибольший удельный вес какого-либо элемента на одном уровне характеризует его максимальную перспективность с точки зрения получения абсолютного экономического эффекта.

Исследование эффективности системы начинается с тщательного построения иерархической структуры научной проблемы, результатом которой явится сложная техническая система.

Иерархическая структура проблемы строится с привлечением экспертов – генеральных, главных конструкторов, руководителей НИИ, ведущих специалистов отрасли, предельно точно информированных о целях прогноза. Подбор состава экспертов, осуществляющих относительное распределение эффекта по уровням, требует особого внимания. Эксперты должны обладать профессиональной культурой, высокими профессиональными знаниями, научной интуицией и добросовестностью, а также должны быть чужды конъюнктурным тенденциям.

На каждом иерархическом уровне число вариантов эвристически сводится к минимуму заслуживающих доверия (3-7 вариантов). Данные разных экспертов по каждому иерархическому уровню подвергаются обработке с целью получения наиболее реалистичной оценки эффекта. При этом целесообразно использовать методику, аналогичную

применяемой в сетевом планировании и управлении для установления наиболее вероятного времени свершения событий.

Рассмотрим использование подобной методики на укрупненном гипотетическом примере применительно к одной научной проблеме А. Предположим, что научная проблема А включает в себя два научных направления - A_1 и A_2, каждое из которых подразделяются на темы, которые в свою очередь состоят из научных вопросов, имеющих непосредственный выход в производство.

По каждому уровню определены экспертные удельные весы прогнозируемых эффектов, которые характеризуются данными таблицы 1.

Далее рассчитываются показатели, позволяющие произвести ранжировку научных направлений тем и вопросов с точки зрения прогнозируемого эффекта (графа 5 таблицы 1). Например, для научного вопроса A_{111} показатель ранга определяется как произведение удельных весов $A_1 \times A_{11} \times A_{111}$, то есть:

$$40 \times 20 \times 40 = 32000.$$

По максимуму этих показателей отбираются наиболее перспективные вопросы, темы и направления.

Из нескольких вариантов, имеющих наиболее близкие показатели ранжировки (в приведенном примере такими вариантами являются A_{121}, A_{213}, A_{234}), выбираются те, реализация которых связана с меньшим техническим или экономическим риском.

Изложенный подход позволяет рассчитывать эффект в абсолютном выражении по уже выбранному наиболее эффективному научному направлению, теме или вопросу. Абсолютный экономический эффект $Э_э$ определяется либо на базе выявления закономерностей взаимосвязи абсолютного эффекта с конструктивно-техническими параметрами сложной технической системы и экстраполяции установленных закономерностей применительно к будущему развитию техники, либо при наличии достоверных данных о производительности технической системы будущего и о перспективных объемах работы, для выполнения которой предназначена система, методом прямого счета.

Таблица 1. Экспертные удельные веса прогнозируемых эффектов к проблеме А

Научные направления	Темы	Показатели ранжировки	Научные вопросы	Показатели ранжировки научных вопросов
1	2	3	4	5
A_1 40%	A_{11} 20%	800	A_{111} 40%	32 000
			A_{112} 25%	20 000
			A_{113} 35%	28 000
	A_{12} 60%	2400	A_{121} 60%	144 000
			A_{122} 40%	96 000
	A_{13} 10%	400	A_{131} 10%	4 000
			A_{132} 20%	8 000
			A_{133} 70%	28 000
	A_{14} 10%	400	A_{141} 15%	6 000
			A_{142} 20%	8 000
			A_{143} 30%	12 000
			A_{144} 35%	14 000
	A_{21} 30%	1800	A_{211} 10%	18 000

			A_{212} 15%	27 000
			A_{213} 75%	135 000
A_2 60%	A_{22} 30%	1800	A_{221} 25%	45 000
			A_{222} 50%	90 000
			A_{223} 25%	45 000
	A_{23} 40%	2400	A_{231} 20%	48 000
			A_{232} 20%	48 000
			A_{233} 5%	12 000
			A_{234} 55%	132 000

В условиях значительной неопределенности использования инновации для расчета абсолютного эффекта прибегают к методу экспертных оценок, аналогичному изложенному выше, но направленному на получение данных об эффекте в абсолютном выражении.

Определение полных затрат на сложную техническую систему, то есть второй составляющей формулы (2), затрудняется тем, что сложная система состоит из большого количества взаимосвязанных элементов (d_i), а затраты на каждый элемент производятся в четырех сферах:

- научные исследования (НИР);
- опытно-конструкторские разработки (ОКР);
- серийное производство;
- эксплуатация изделий.

Затраты во всех сферах тесно взаимосвязаны между собой. Например, при разработке крупносерийного изделия стоимость НИР и ОКР возрастает, так как требуется повышенная тщательность и учет специфических технологических требований массового производства, в то же время себестоимость крупносерийного производства изделий при прочих равных условиях будет значительно ниже себестоимости серийного и малосерийного производства.

Полные затраты на сложную техническую систему (Z_Σ) включают значительное число составляющих, что схематично иллюстрируется таблицей 2.

В зависимости от специфики сложной системы, наличия справочно-нормативных материалов и потребной степени точности расчет полных затрат может производится в разрезе сфер затрат либо по системе в целом, либо по каждому ее элементу.

Методический подход в обоих случаях одинаков и базируется на использовании метода экстраполяции с предварительным ретроспективным анализом, в процессе которого на основе данных об уже использованных аналогичных технических системах выводятся закономерности изменения экономических показателей в зависимости от технических параметров систем.

Исследования показывают, что абсолютные суммы затрат на научные исследования $Z_{нир}$, проектирование $Z_{окр}$, производство $Z_{сп}$ и эксплуатацию $Z_э$ сложных систем с развитием технического прогресса возрастают. Относительные затраты на единицу производительности технической системы во всех сферах имеют тенденцию к понижению, что является следствием объективного отражения экономической сущности инноваций.

На первых этапах создания сложных технических систем нет достаточно полных данных о затратах на систему, которые необходимо знать для расчета $Z_{окр}$ по отдельным элементам системы разработаны формулы зависимости затрат на ОКР от основных конструкторско-технических параметров элементов.

Затраты на научные исследования $Z_{нир}$ пока не удалось достаточно удовлетворительно распределить по конкретным элементам системы. Поэтому их обычно берут в определенном проценте к $Z_{окр}$, характерном для соответствующей отрасли промышленности.

Таблица 2. Структура полных затрат на техническую систему

Элементы	Сферы затрат

сложных технических систем	НИР	ОКР	Серийное производство	Эксплуатация	Сумма по элементам
	Составляющие полных затрат				
d_1	$Z_{нир}^{d_1}$	$Z_{окр}^{d_1}$	$Z_{сп}^{d_1}$	$Z_{э}^{d_1}$	Z^{d_1}
d_2	$Z_{нир}^{d_2}$	$Z_{окр}^{2}$	$Z_{сп}^{2}$	$Z_{э}^{d_2}$	Z^{d_2}
…	…	…	…	…	…
d_i	$Z_{нир}^{d_i}$	$Z_{окр}^{d_i}$	$Z_{сп}^{d_i}$	$Z_{э}^{i}$	Z^{d_i}
…	…	…	…	…	…
d_e	$Z_{нир}^{d_e}$	$Z_{окр}^{d_e}$	$Z_{сп}^{e}$	$Z_{э}^{d_e}$	Z^{d_e}
Сумма по сферам затрат	$Z_{нир}$	$Z_{окр}$	$Z_{сп}$	$Z_{э}$	Z_{Σ}

Определение себестоимости элементов системы $Z_{сп}$ на ранних стадиях проектирования целесообразно производить с помощью приближенного метода в два этапа:

- определение себестоимости серийно освоенного элемента;
- расчет поправочного коэффициента K_z на масштаб и период производства.

Исследования по самым разнообразным элементам сложных систем показали, что за себестоимость серийно освоенного производства $Z_{сп}$ следует принимать среднюю себестоимость элемента системы за два с половиной года производства, так как примерно через 2-2,5 года с момента запуска изделий в производство средняя себестоимость их продолжает снижаться весьма незначительными темпами (не более 1-2% в квартал), которыми при укрупненных расчетах можно пренебречь.

Зависимости $Z_{сп}$ от основных конструктивно-технических параметров проектируемых элементов системы выводятся, как правило, на основе метода многофакторной корреляции.

Коэффициент K_z учитывает динамику снижения себестоимости и определяется из выражения [2]:

$$K_z = a \cdot n^{\lambda_1} \cdot q^{\lambda_2}\ , \qquad (3)$$

где n – порядковый номер выпущенного изделия,

q – среднесуточный выпуск изделий,

a, λ_1, λ_2 – параметры уравнения, принимающие определенные значения в зависимости от назначения и технических характеристик выпускаемых изделий.

Себестоимость изготовления элемента любого порядкового номера при любом среднесуточном выпуске $Z_{сп}$ находится по формуле:

$$Z_{сп} = Z'_{сп} \cdot K_z\ , \qquad (4)$$

Определение затрат на эксплуатацию $Z_э$ представляет несколько большие трудности. Для приближенных расчетов, как показывает опыт, удобно определять затраты на ремонт и обслуживание технической системы в виде нормативного коэффициента $K_э$, учитывающего их отношение к затратам на серийно освоенное производство.

Затраты на эксплуатацию, с одной стороны, по мере освоения технической системы имеют тенденцию снижаться, а с другой стороны, в связи с ее износом – повышаться.

Поэтому при приближенных расчетах целесообразно применять стабильный коэффициент, учитывающий взаимную компенсацию этих тенденций.

Для укрупненного определения суммарных затрат по сложной технической системе во всех сферах используется следующая формула:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{окр}}\left(1+\frac{\text{К}_{\text{нир}}}{100}\right)(1+\eta)^{m_1} + Z'_{\text{сп}}\cdot \text{К}_z(1+\eta)^{m_2}\cdot N + Z'_{\text{сп}}\cdot \text{К}_z\cdot N, \quad (5)$$

где $Z_{\text{окр}}$ - затраты на разработку и опытное производство изделий, руб.;

$\text{К}_{\text{нир}}$ – отраслевой процент затрат на НИР по отношению к затратам на ОКР;

$Z'_{\text{сп}}$ - себестоимость серийно освоенного изделия, руб.,

К_z – поправочный коэффициент, связанный с динамикой себестоимости,

N – общее количество предполагаемых к выпуску изделий, шт.,

$\text{К}_{\text{э}}$ – коэффициент, учитывающий эксплуатационные расходы в отношении к себестоимости серийно освоенного изделий,

η – норматив для приведения разновременных затрат (в условиях действующего порядка начисления амортизации основных фондов норматив устанавливается в размере 0,08),

m_1 – период времени с момента окончания разработки и опытного производства до момента расчета (в годах),

m_2 – период времени с момента выпуска серийного изделия до момента расчета (в годах).

За момент расчета принимается конкретный год эксплуатации изделий.

В формуле (5) параметры $Z_{\text{окр}}$ и $Z_{\text{сп}}$ выступают в форме капиталовложений, так как расчет производится применительно ко времени эксплуатации. Поэтому в затратах на ОКР и серийное производство должны быть учтены все виды прямых, сопутствующих и сопряженных расходов.

Коэффициент η отражает влияние на затраты фактора времени. Он позволяет учесть в расчете потери, связанные с отвлечением средств для капиталовложений, и в определенной мере аналогичен коэффициенту дисконтирования.

Опыт практического использования изложенного метода расчета полных затрат показал, что обеспечивается точность в пределах ±25+35%, что вполне достаточно для укрупненных расчетов.

Метод базируется на математико-статистической обработке больших массивов исходных фактических данных, позволяющей получать справочно-нормативные материалы, которые нуждаются в постоянном уточнении и обновлении. Более широкому применению методов исчисления эффективности сложных систем способствует и переход к научно-производственным объединениям, включающим НИИ и промышленные предприятия, так как при такой форме управления создаются предпосылки для комплексного подхода к экономическим вопросам создания технических систем.

При сравнении экономической эффективности нескольких сложных технических систем данные об эффектах и полных затратах должны быть приведены в сопоставимый вид по объемам и времени производства, а также по объемам выполняемой работы. Система, обладающая максимальным показателем $\text{К}_{\text{ээ}}$, признается наиболее экономически эффективной.

Обязательным условием проведения расчетов эффективности является соблюдение общеэкономического подхода. Это означает, что принятый вариант должен быть не только наиболее эффективным в сравнении с другими конкурирующими вариантами, но и должен способствовать повышению эффективности всей национальной экономики. С этой точки зрения величина показателя $\text{К}_{\text{ээ}}$ не может быть ниже 0,12, то есть нижнего предела получения эффекта в виде дополнительного чистого дохода общества на рубль инвестиций.

Выбор экономически эффективных систем, исходя из рассмотренного критерия, может быть сделан только при наличии конкурирующих вариантов. Однако на практике

экономическая оценка сложных систем проводится и при отсутствии взаимозаменяемых вариантов. Отличие решения последней задачи заключается в том, что в первом случае сопоставляются показатели экономической эффективности одного варианта конкурирующих систем с аналогичными показателями других вариантов и максимально возможным объемом инвестиций.

Во втором случае затраты сопоставляются только с максимально возможной величиной средств, которые могут быть ассигнованы на создание и эксплуатацию технической системы.

УДК 62-50

ИННОВАЦИОННЫЕ АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССОВ С РЕГУЛЯРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ*

А.А. Костоглотов, З.В. Лященко, И.Е. Кириллов
[1]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия*

Введение. Исследование процессов с неизвестными регулярными возмущениями характеризуется высоким практическим интересом, поскольку это связано с решением важных задач коррекции погрешностей измерительных систем при неизвестных регулярных воздействиях, синтеза адаптивных систем управления, радиолокационного сопровождения и т.д. На железнодорожном транспорте такие задачи возникают при контроле местоположения и параметров движения объектов подвижного состава на сети железных дорог. Кроме того, при решении задач из области обеспечения безопасности железнодорожного транспорта возникает необходимость дистанционного зондирования потенциально опасных ситуаций при помощи дистанционно пилотируемого летательного аппарата, параметры движения которого также необходимо определять.

Традиционный подход к синтезу алгоритмов оценивания процессов основывается на использовании процедуры расширения вектора пространства состояний, которая позволяет учесть регулярные воздействия за счет включения ускорения. Его модель строят с использованием формирующего фильтра, например, методом Колмогорова – Винера. На выходе получается случайный процесс с заданными статистическими свойствами, характерными для конкретного типа наблюдаемого изменения состояния [1, 2].

Задача фильтрации с традиционным функционалом невязки наблюдений в квазидетерминисткой постановке сводится к двухточечной краевой задаче. Ее решение с применением процедуры инвариантного погружения приводит к вычислительным процедурам калмановского типа [3]. Один из приемов, позволяющих в некоторой степени компенсировать возможное несоответствие априорно выбранной модели наблюдаемой динамике и снизить ошибку оценивания, заключается в использовании многомодельных алгоритмов. Однако в этом случае увеличивается размерность задачи, требуется определять большое число параметров, что, в конечном счете, приводит к снижению устойчивости вычислительной процедуры.

В работе исследуется новый адаптивный алгоритм оценивания процессов с регулярными воздействиями, полученный на основе объединенного принципа максимума [4 - 7], который отличается от известных вектор – функцией системы.

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 15-08-03798 А, 15-38-20835 мол_а_вед.

1. Постановка задачи. Использование объединенного принципа максимума позволяет представить модель процесса с регулярными возмущениями следующим образом [4]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f} + \mathbf{G}\boldsymbol{\eta}, \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}^0, \tag{1}$$

где $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$ – вектор - функция состояния системы;

$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} x_2 \\ \dfrac{-|x_2|x_2}{aL|x_1|} \end{bmatrix}$ – вектор - функция системы;

$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{\lambda a R_\xi}\dfrac{\partial h}{\partial \hat{q}} \end{bmatrix}$, $\boldsymbol{\eta}_{2\times1}$ – вектор – функция случайного процесса с матрицей интенсивности $\mathbf{R}_{\eta 2\times2}$.

Уравнение наблюдение (1) записывается так:

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), t) + \boldsymbol{\xi}(t), \tag{2}$$

где $\mathbf{h}(\mathbf{x}(t), t)$ – известная вектор-функция;

$\boldsymbol{\xi}(t) = \begin{bmatrix} \xi_1(t) \\ \xi_2(t) \end{bmatrix}$ – вектор белого гауссовского шума с известными локальными характеристиками.

Критерий оценки имеет вид:

$$J = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} \left[\mathbf{y}(t) - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}(t), t)\right]^{\mathrm{T}} \mathbf{R}_\xi^{-1} \left[\mathbf{y}(t) - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}(t), t)\right] \mathrm{d}t + \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} \boldsymbol{\eta}^{\mathrm{T}}(t)\mathbf{R}_\eta^{-1}\boldsymbol{\eta}(t)\, \mathrm{d}t. \tag{3}$$

Необходимо получить $\hat{\mathbf{x}}$ как функцию от t, которое увеличивается, доставляющую минимум функционалу (3).

2. Адаптивный алгоритм оценивания процессов с регулярными возмущениями. Применение процедуры инвариантного погружения приводит к следующему результату:

$$\begin{gathered} \dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}, t) + \mathbf{P}\mathbf{H}^{\mathrm{T}} R_\xi^{-1}\left[y - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}\right], \\ \dot{\mathbf{P}} = \mathbf{P}\frac{\partial \mathbf{f}^{\mathrm{T}}(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial \hat{\mathbf{x}}} + \frac{\partial \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial \hat{\mathbf{x}}}\mathbf{P} + \mathbf{G}\mathbf{R}_\eta^{-1}\mathbf{G}^{\mathrm{T}} - \mathbf{P}\mathbf{H}^T R_\xi^{-1}\mathbf{H}\mathbf{P}, \\ t_0 = 0, \mathbf{P}(0) = \mathbf{P}^0, \quad \hat{\mathbf{x}}(0) = \hat{\mathbf{x}}^0, \end{gathered} \tag{4}$$

где $\dfrac{\partial \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}, t)}{\partial \hat{\mathbf{x}}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \dfrac{|\hat{x}_2|\hat{x}_2 sign(\hat{x}_1)}{aL|\hat{x}_1|^2} & \dfrac{-sign(\hat{x}_2)\hat{x}_2 - |\hat{x}_2|}{aL|\hat{x}_1|} \end{bmatrix}$, а начальные значения определяются аналогично [2],

$\mathbf{P}$ – аналог ковариационной матрицы фильтра Калмана [2].

На рисунке 1 приведен закон изменения наклонной дальности. Маневр обусловлен гармоническим изменением ускорения.

Оценка эффективности (4) проводилась на примере решения задачи сопровождения летательного аппарата, когда непосредственному наблюдению доступна наклонная дальность [1, 2, 4, 6]. Среднеквадратическое отклонение шумов наблюдения принято равным 500 м.

Результаты математического моделирования говорят о большей абсолютной ошибке оценивания фильтра Калмана с моделью ускорения Зингера [1, 2] в сравнении с (4). Это связано с тем, что маневрирование приводит к наблюдению процесса, который не является Марковским. Выигрыш в среднем составил 55.4%, что наглядно демонстрируется на рисунке 2. Здесь сплошной линией обозначена усредненная ошибка оценивания (4), а пунктирной фильтра Калмана с моделью ускорения Зингера.

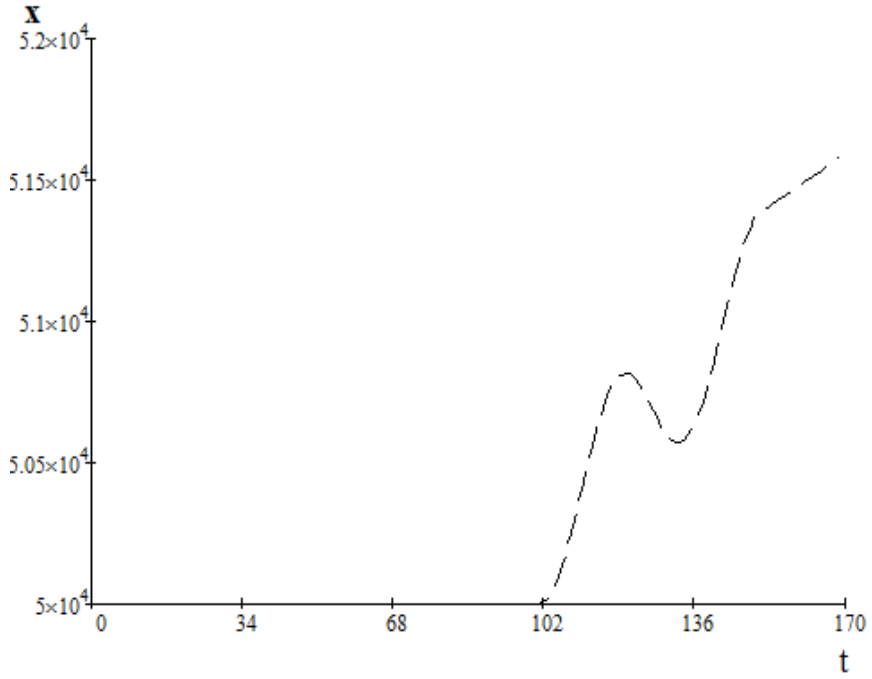


Рис. 1 – Наблюдаемое изменение состояния

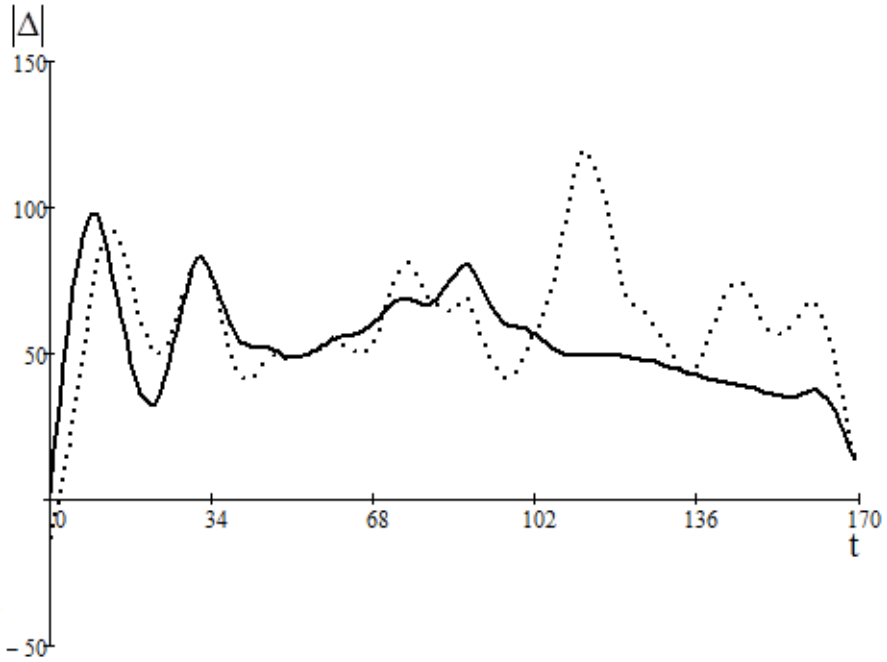


Рис. 2 – Абсолютная ошибка оценивания

Заключение. Проведено исследование эффективности адаптивного алгоритма оценивания, который отличается от существующих за счет новой вектор – функции системы,

построенной на основе объединенного принципа максимума. В качестве модели регулярного возмущения выбрана гармоническая функция. Выигрыш в точности оценивания в этом случае в сравнении с традиционным фильтром Калмана в среднем составил 55.4%.

УДК 656.078:656.072

ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ: СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА

Т.Э. Мамаев
Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону

В условиях продолжающегося роста городского населения планеты, урбанизации, социально-значимым вопросом стратегического территориального планирования и градостроительства остается транспортное обеспечение населения. Городской пассажирский (общественный) транспорт (ГПТ) является ключевым фактором роста экономики и уровня жизни населения. При этом эволюционный процесс территориального развития городских поселений ставить определенные ограничения в выборе стратегий развития ГПТ. Ряд неоспоримых трендов в решении этих вопросов остаются доминантами: увеличение объемов перевозок экологическими видами транспорта; развитие внеуличных видов транспорта, таких как скоростной трамвай, метрополитен; использование железнодорожного пригородно-городского сообщения для обеспечения внутригородских перевозок. При этом выбор стратегии развития ГПТ зависит от приоритетов определяемые как преимуществами отдельных видов транспорта, так и уровнем, и возможностями их развития с учетом природно-климатических, географических и социально-экономических условий конкретной агломерации.

Рациональная городская пассажирская транспортная система подразумевает учет и понимание функциональной роли каждого вида транспорта в реализации эффективной транспортной политики, направленная на обеспечение сбалансированного его развития. При этом оценка возможности реализации конкретного вектора развития должна проводится с целью получения синергетического эффекта, рис. 1.

Результативность выбранного вектора развития ГПТ определяется показателями качества по следующим группам показателей: информационное обслуживание, комфортность, скорость, своевременность, сохранности багажа, безопасность*. На организацию перевозок разными видами транспорта влияют преимущественно показатели скорости и своевременности.

Показатели скорости пассажирского транспорта определяются продолжительностью поездки, средней скоростью движения и частотой остановок транспортного средства, а своевременность – долями транспортных средств, отправляемых и прибиваемых по расписанию, интервалами движения транспортных средств.

---

* ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997

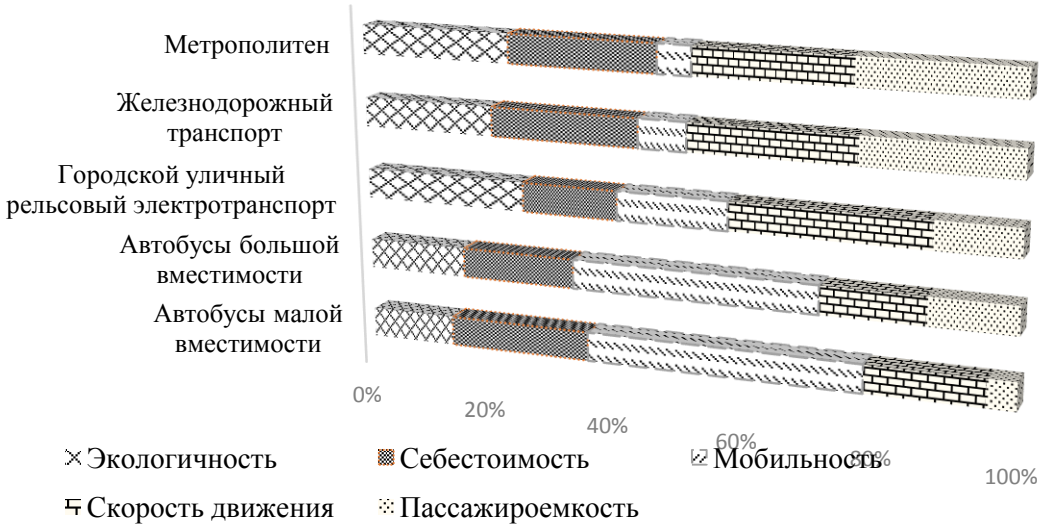


Рис. 1 - Предпочтения при выборе вида ГПТ

Среднее время доставки пассажира между районами города, представленное матрицей $\|T\|_{n\times n}$ (n - число районов), причем t_{ij} – время перемещения пассажира из района i в j не пропорциональное расстоянию между ними r_{ij}, рассчитывается по существующей улично-дорожной сети города маршрутами городского транспорта. Время в пути складывается из: времени затрачиваемое на пеший ход до остановки транспорта, время поездки на транспорте, время пешего хода до конечного пункта назначения. При постоянной скорости движения на транспорте для варианта поездки *l* имеем расчетное время $t_{ij}^{l} = a_0^{l} + v^{l} r_{ij}^{l}$, где a_0^{l} – время затрачиваемое на пеший ход, v^{l} - средняя скорость перемещения по варианту *l*. При допущении двух альтернативных вариантов поездки пассажира на одинаковое расстояние *r* можно определить оптимальный вид транспорта (маршрута) по критерию наименьшему времени нахождения в пути, т.е.

$$l_{opt} = \begin{cases} 1, \text{если } r < \dfrac{a_0^1 - a_0^2}{v^2 - v^1}, \\ 2, \text{ в противном случае} \end{cases}.$$

На практике, скорость перемещения пассажира определяется видом транспорта, и линейной скоростью транспортного средства на определённом сегменте улично-дорожной сети. Направлениями повышения скорости движения являются: использование скоростных видов транспорта (как правило внеуличных), сокращение остановок для повышения средней скорости на маршруте движения. Качественный рост вышеприведенных показателей в ГПТ можно достичь, используя внеуличные виды транспорта, рис. 2.

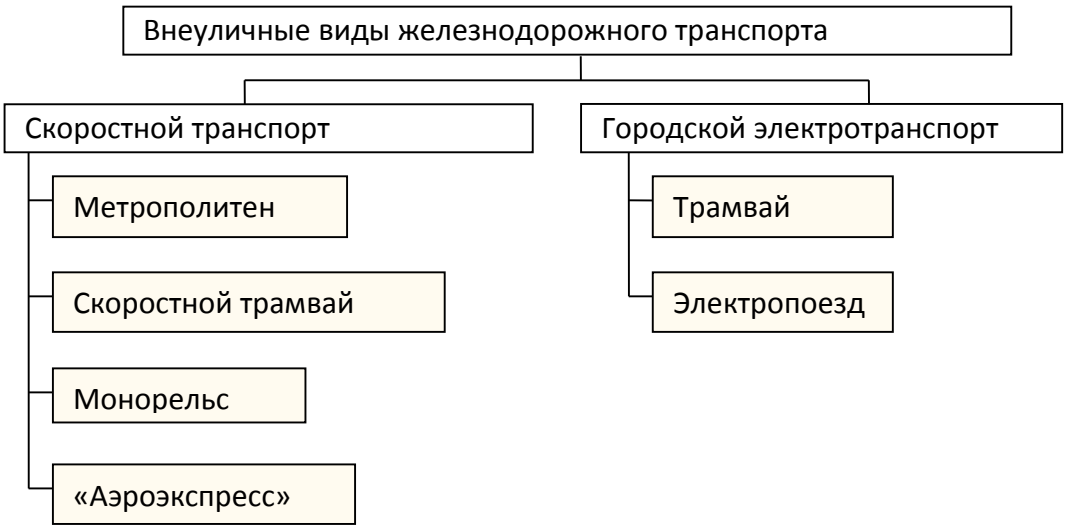


Рис. 2 – Классификация городского железнодорожного транспорта

В предположении, что кривая спроса на перевозки определенным видом транспорта имеет вид S-функции, можно определить точки бифуркации в развитии городского транспорта, т.е. когда один вид транспорта должен заменить или дополнить другой вид транспорта.

Пусть $f_l(s) = \dfrac{a_l}{1+e^{-b_l s}}$, функция предпочтительности *l*-го маршрута (или вида транспорта) в ГПТ, где s – средняя дальность поездки пассажира. Тогда при допущении, что пассажиры следуют в одном направлении, зоны предпочтительности отдельных видов транспорта в ГПТ будут перекрываться, и будет иметь вид представленный на рис. 3, где выделенное расстояние определяет параметры a_l и b_l в функции предпочтения.

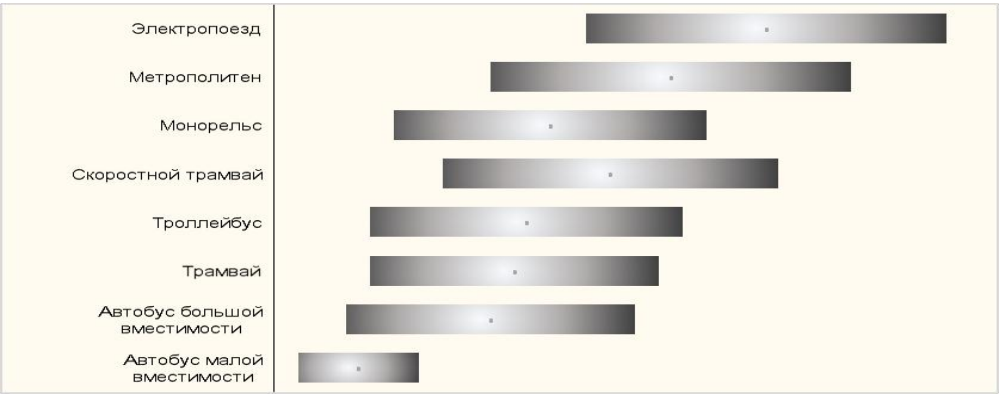


Рис. 3 – Зоны предпочтительности видов транспорта по дальности поездки в ГПТ

Надежность и регулярность работы пассажирского транспорта, обеспечивается наличием обособленной инфраструктуры (выделенные полосы движения, отсутствие пересечений с другими видами транспортными потоками, внеуличная инфраструктура и т.д.). Железнодорожный транспорт в полной мере отвечает этим факторам-параметрам. Выполнение графика движения железнодорожным транспортом в пассажирском движении близка к 100%, в то время как движение на улично-дорожной сети постоянно подвергаются рискам и временным задержкам. Фактор регулярности и гарантированности времени на поездку на железнодорожном транспорте полностью коррелируется с выполнением графика движения поездов, а появляющиеся изменения в расписании в силу каких-либо затруднений в работе железнодорожного транспорта объявляются заблаговременно.

Анализ использования рельсовых видов транспорта в городах-миллионниках России показал, что зачастую трамвайные линии сохраняются преимущественно в центральных районах городов и основным видом городского пассажирского транспорта являются автобусы большой и малой вместимости, которые оказывают существенную нагрузку на улично-дорожную сеть. Кардинальное решение вопроса оптимизации функционирования городской пассажирской транспортной проблемы невозможно без перераспределения пассажиропотока на другие виды транспорта, например, строительство метрополитена или использование существующих железнодорожных линий. [1]

Рельсовый транспорт мегаполиса представлен внеуличными видами транспорта. Наиболее распространенным видом сообщения в крупных городах является метрополитен, характеризующийся большой пропускной способностью, высокой пассажироемкостью, надежностью, независимостью от погодных условий, регулярностью.

Использование сети существующих железнодорожных линий позволяет снять значительную нагрузку с улично-дорожной сети города без существенных затрат на формирование новой инфраструктуры благодаря переключению пассажиропотока на железнодорожный электротранспорт. Пригородно-городские и городские железные дороги связующие «город-аэропорт» – железнодорожное сообщение между крупными городами и вынесенными за черту города аэропортами и вокзалами (Москва, Казань, Владивосток), позволяют организовать интермодальное сообщение, повысить конкурентоспособность и привлекательность железнодорожного транспорта для пассажиров.

Основная причина использования альтернативных видов транспорта и строительство новых железнодорожных линий сообщения в мегаполисе связана с нехваткой пропускной способности дорог, ростом уровня автомобилизации, снижением скорости сообщения, образованием автомобильных заторов на дорогах [1, 2, 4]. Строительство метрополитенов и использование существующих железнодорожных линий является решением таких проблем, как связь периферий (в основном жилых массивов, промышленных зон) с центральной (деловой) частью городов.

Развитие внутригородских железнодорожных перевозок пассажиров обусловлено необходимостью устранения диспропорции между темпами развития транспортной инфраструктуры и жилого, общественного, промышленного и других видов строительства, снижения нагрузки на городскую автодорожную сеть. В связи с этим в ряде городов, таких как Москва, Екатеринбург, Ростов-на-Дону и др. разработан проект «Городская электричка». На развитие железнодорожного городского сообщения оказывает влияние организация интермодальных перевозок «железнодорожный – автомобильный транспорт», для возможности доставки пассажиров «от двери до двери». Привлекательность интермодальных перевозок в стоимостных и временных критериях имеют противоположные интересы для поставщика и потребителя (пассажира) транспортных услуг. Если поставщика услуг интересует в первую очередь экономическая составляющая (затраты и доходы), то для пассажира при прочих равных условиях – время, затрачиваемое на поездку.

В России практически еще не выработаны единые модели взаимодействия участников смешанных перевозок в городской среде, отсутствует единая правовая база и алгоритмы осуществления построения единой городской пассажирской транспортной системы (ГПТС), а также не определены роли каждого звена, целесообразность координации всех действий муниципальными органами, что связано с вышеприведенными особенностями ее развития [3].

Развитие внутригородских железнодорожных перевозок пассажиров –реализуемые в виде проектов «Городская электричка», обусловлено также необходимостью увеличения доходности пассажирских перевозок. Проект «Городская электричка» или рельсовый автобус предполагает активное использование пригородных поездов в перемещении по городу, формирование новых маршрутов, обеспечивающих перевозку пассажиров электропоездом, а также включение данного способа перемещения в городскую пассажирскую транспортную систему.

Низкая мобильность железнодорожного (рельсового) транспорта ставит перед проектами «Городская электричка» задачи по анализу тенденций развития транспортной системы города (в условиях роста городской агломерации), пропускной способности железнодорожных путей общего пользования на территории города, графика движения поездов в пригородном железнодорожном сообщении, объема внутригородских железнодорожных перевозок. Проект включает оценку конкуренции в перевозках пассажиров другими видами внутригородского транспорта, разработку маршрутов внутригородского движения железнодорожного транспорта, разработка ниток внутригородских маршрутов в графике движения поездов и графика оборота составов электропоездов, а также рассмотрение возможности организации интермодальных перевозок (например, электропоезд-автотранспорт) и тарифной политики перевозок.

Рациональная ГПТС подразумевает понимание функциональной роли каждого вида транспорта, для чего необходимо реализовать транспортную политику, обеспечивающую сбалансированное ее развитие, формирование и оценку инновационного вектора развития с использованием преимуществ всех возможных (допустимых для данного города) видов транспорта для получения синергетического эффекта и обеспечения современного и качественного уровня перевозок.

УДК 656.078.1:65.011.12+06

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И ЧАСТНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Э. А. Мамаев
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Транспортная система, как обеспечивающая сфера экономики страны, требует особенного отношения к анализу, выработке и реализации стратегий развития, привлечения организационных и инвестиционных ресурсов в интересах не отдельного предприятия, региона и отрасли, а в общегосударственных интересах. При этом, каждый субъект социально-экономической системы страны формирует и предъявляет свои «требования» к транспорту безотносительно от того, в состоянии ли (экономическом, организационно-правовом, технологическом) транспортное предприятие (организация, подсистема или иной элемент транспортной системы) их выполнить. В числе основных претензий к транспортной системе следует отметить «инновационность развития», т.е. использование современных достижений науки и техники, их «немедленное» внедрение в транспортную работу предприятиями и организациями. Естественное стремление ко всему новому и рациональному сегодня на отечественном транспорте приходит в противоречие с некоторыми объективными факторами его состояния и развития.

Во-первых, транспортная отрасль воспринимается в большинстве случаев как самостоятельная и самоокупаемая отрасль экономики, которая имеет «свою долю» в ВВП страны. Из этого следует, что увеличение доходов и прибыли транспортных предприятий, является большим благом для экономики. В то же время государственное регулирование тарифов на магистральном железнодорожном транспорте (на которую приходится около 40% грузооборота) не позволяет вести самостоятельную экономическую политику. В результате рентабельность железнодорожного транспорта и предприятий других видов транспорта колеблется на уровне нулевой отметки, табл. 1. Детерминанты «инновационности» транспортного сегмента отстают от средних показателей российской экономики.

Во-вторых, либеральная рыночная экономика требует увеличения (усиления) конкуренции на рынке транспортных услуг. Внедряемая искусственная конкуренция приводит к развалу существующих технологических регламентов, экономических отношений и к другим негативным последствиям. Примерами могут послужить отмена лицензирования на услуги автоперевозок, который перевел этот рынок на серый и теневой сегменты экономики, приватизация инвентарного парка вагонов на железнодорожном транспорте, что привело к снижению производительности использования вагонов.

Таблица 1 – Показатели состояния «Транспорта и связи» и инвестиционной деятельности (сопоставительный анализ), [1]

Наименование показателя	2005	2010	2012	2013	2014
Степень износа основных фондов коммерческих организаций, %, РФ	44,1	45,7	45,9	46,3	47,9
транспорт и связь	25,5	35,8	39,3	40,0	42,7
в том числе связь	38,4	50,5	55,3	53,7	57,5
Удельный вес полностью изношенных основных фондов коммерческих организаций, %, РФ	13,3	13,5	14,0	14,6	14,9
транспорт и связь	5,3	8,7	10,5	10,8	11,8
в том числе связь	9,4	12,3	18,3	18,5	22,5
Сальдированный финансовый результат организаций, млрд. руб., РФ	3225,9	6330,6	-	6853,8	4346,8
транспорт и связь	314,8	669,7	-	754,2	179,0
в том числе связь	145,6	213,1	-	301,2	160,6
Удельный вес прибыльных организаций, %, РФ	63,6	70,1	-	69,0	67,0
транспорт и связь	59,4	63,4	-	62,8	61,6
в том числе связь	65,5	70,3	-	66,0	63,0
Удельный вес убыточных организаций, %, РФ	36,4	29,9	29,1	31,0	33,0
транспорт и связь	40,6	36,6	34,9	37,2	38,4
в том числе связь	34,5	29,7	34,9	34,0	37,0
Рентабельность организаций, %, РФ	13,5	10,0	8,6	7,0	7,3
транспорт и связь	14,4	13,5	11,1	9,7	8,4
в том числе связь	33,6	27,7	23,7	23,6	20,8
Доходность финансовых вложений организаций, %, РФ	2,7	3,8	5,4	4,9	6,7
транспорт и связь	3,9	4,6	5,0	5,4	4,8
в том числе связь	3,3	5,4	5,2	5,4	6,0
Коэффициенты обновления основных фондов, %, РФ	3,0	3,7	-	4,6	4,3
транспорт и связь	2,6	3,0	-	4,2	3,7
Коэффициенты выбытия основных фондов, %, РФ	1,1	0,8	-	0,7	0,7
транспорт и связь	0,4	0,4	-	0,3	0,3
Индекс изменения фондовооруженности, %, РФ	100,9	101,8	-	105,3	104,1
транспорт и связь	98,6	100,7	-	107,0	103,3
Индекс изменения фондоотдачи, %, РФ	104,5	101,3	-	96,8	96,8
транспорт и связь	103,5	102,5	-	96,8	97,7

В-третьих, раздробленность отрасли, увеличение числа предприятий в сфере транспортных услуг приводит к сокращению эффективности за счет уменьшения масштаба. Эффективность транспортной работы растет с ростом мощностей, географии присутствия, комплексности услуг, мульти- и интермодальности перевозок. Малым и средним предприятиям на транспорте «инновации» не под силу.

В-четвертых, сокращение темпов роста экономики в первую очередь сказывается на транспорте, поскольку пространственная суть отрасли, существенная доля не зависящих от объема перевозок затрат на содержание инфраструктуры немедленно сказывается на эффективности его работы.

Эти и другие факторы являются барьерами инновационного развития транспорта. Основным выводом из вышеперечисленного является необходимость коллективного, государственного и частного партнерства в инновационном развитии транспортной отрасли.

Отметим, что направления развития инновационной транспортной отрасли на сегодняшний день лежат в следующих областях.

В монопольном сегменте находятся вопросы обновления и модернизации инфраструктуры, развитие высокоскоростного движения, инновационных видов транспорта, разработки в области охраны окружающей среды, высокотехнологичные транспортные технологии, такие как спутниковые.

К либеральным формам поддержки развития транспортной отрасли со стороны бюджетов разного уровня можно отнести:

- поддержка и стимулирование инвестиций со стороны бюджетных структур в форме налоговых льгот;
- эффективные во всех отраслях экономики контракты жизненного цикла продукции (Life Cycle Contracts - LCC), как форма государственно-частного партнерства,
- консолидация капитала государственных (региональных, муниципальных) структур и частного бизнеса, позволяющий диверсифицировать риски в реализации транспортных услуг в социально-значимых секторах.

Особое внимание заслуживает финансирование исследований в области фундаментальных и прикладных исследований, разделение которых достаточно условное. И объем за исключением некоторых естественнонаучных направлений, в целом остаются на одном уровне, рис. 1.

В области корпоративных решений находятся вопросы совершенствования систем управления перевозочным процессом, включая вопросы обеспечения безопасности, модернизации, обновления и разработки подвижного состава, включая вопросы повышения эксплуатационного ресурса и снижения рисков, повышение энерго- и экономической эффективности [2,3].

Железнодорожный транспорт, представляемая преимущественно холдингом ОАО «РЖД», выделяет значительные средства на НИОКР, его инновационный путь развития определен Стратегией с ориентацией на 2030 год[*]. В числе нормативно-правовых актов регламентации, регулирования и управления инновационным развитием ОАО «РЖД» можно отметить принятые (утвержденные) Положения, Распоряжения, Отраслевые стандарты, Стратегии развития отдельных сфер деятельности, Концепции и др. Упорядочение и статистический учет отдельной сферы деятельности как «инновационная» позволяет холдингу определяться с технологическими платформами развития инфраструктуры, подвижного состава, систем автоматизации управления.

[*] «О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 год» Постановление Правительства Российской Федерации № 877-р от 17.06.2008

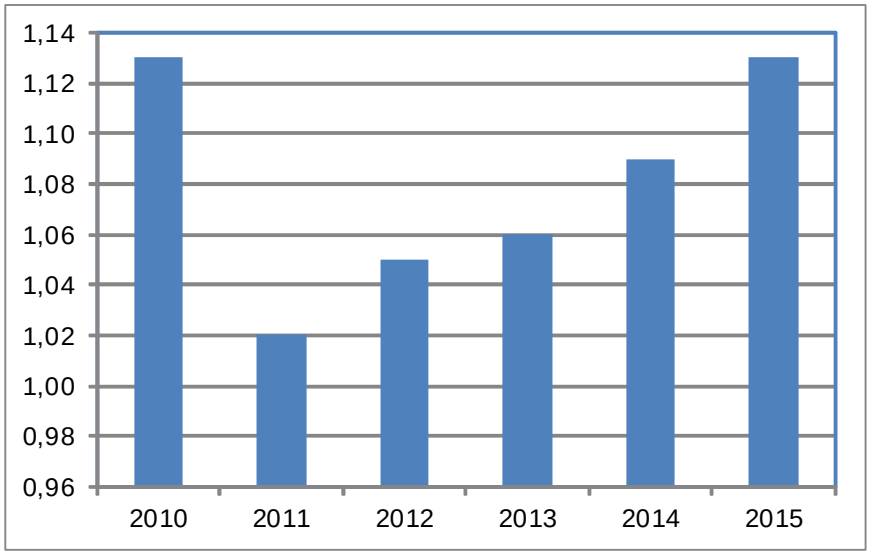


Рисунок 1 – Затраты на исследования и разработки, в % от ВВП по РФ

За последние годы в ОАО «РЖД» сформирована система инновационного менеджмента, обеспечивающая полный цикл внедрения инновационных проектов – от определения стратегических направлений и целевых параметров развития до получения новых продуктов, и оценки их результативности, рис. 2.

Следует отметить, что ОАО «РЖД» активно привлекает внеотраслевые отечественные и зарубежные научные структуры* для проведения исследований и разработок в своих интересах, причем эффект от такого сотрудничества может быть и для других отраслей экономики.

Особый интерес представляет сотрудничество с другими крупными компаниями, такими как ГК «Роснефть» и ОАО «Газпром», ОАО «Роснано», ГК «Росатом»† имеющих в структуре уставного капитала значительные доли государственного участия. ОАО «РЖД» сотрудничает с передовыми зарубежными компаниями‡.

Инновационная экономическая политика на транспорте в целом реализуется через научно-исследовательские и проектные организации, совещательные органы Министерства транспорта Российской Федерации (научно-технический совет, координационные советы по реализации отдельных проектов). В числе основных задач этих структур: разработка единых платформ, формирование единой интеллектуальной базы данных развития транспорта, учет объектов интеллектуальной собственности, экспертиза проектов и нормативно-правовых актов, проведение тендеров и конкурсов на проведение прикладных научно-исследовательских работ, а также популяризации новаций на транспорте через курируемые выставки и конференции.

* http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=666&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=3584#1
† http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=666&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=3584#2
‡ http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=666&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=3584#4

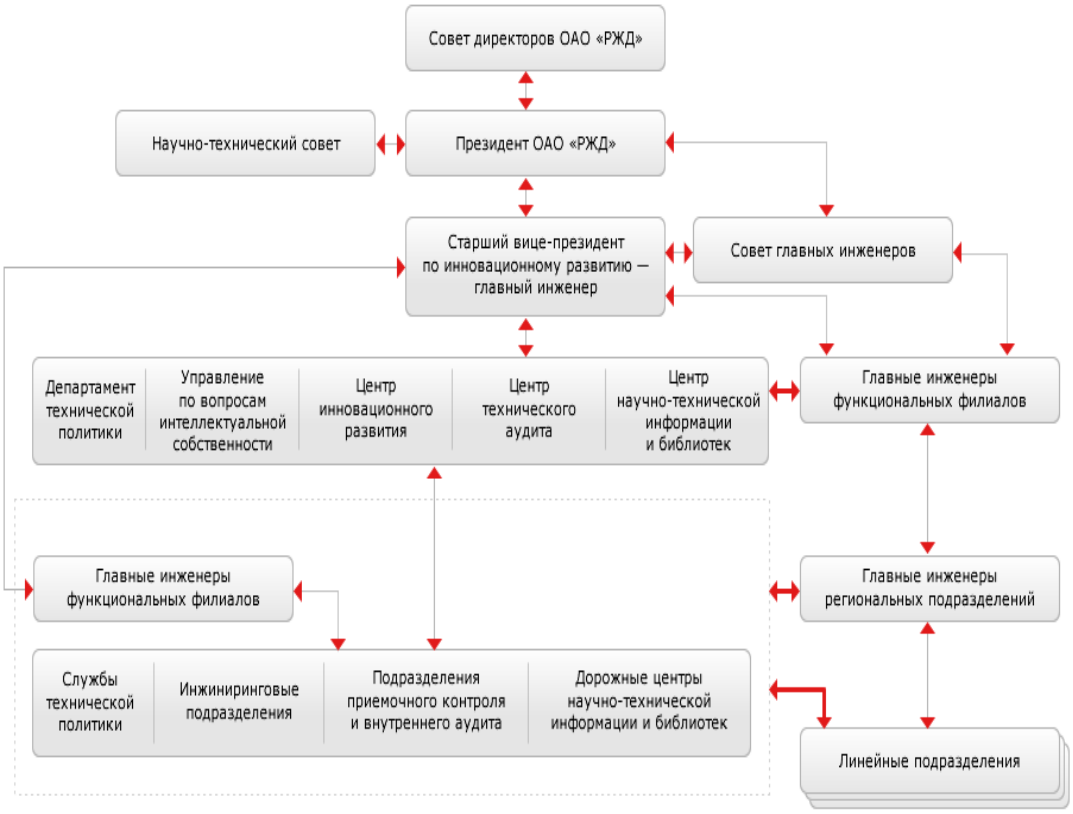


Рисунок 2 – Укрупненная схема инновационного развития холдингом ОАО «РЖД»*

Концепция открытости [4] при регулировании технологических платформ развития транспорта является одним из ключевых факторов не только развития предприятий транспортной отрасли, но роста частных инвестиций. При этом инновационное развитие новых видов транспорта и технологий будет сопровождаться формированием агентной сети предприятий и организаций-сателлитов, предоставляющие качественный сервис, т.е. повышается роль предприятий транспортно-логистической инфраструктуры.

Задачу, стоящую перед экономикой России по диверсификации российской экономики, увеличение доли готовой продукции в структуре ВВП, невозможно решить без реализации инновационных технологий, как результат стратегического и активного взаимодействия государственных и частных предприятий и организаций.

УДК 656.9 + 06

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СЕРВИСА НА ТРАНСПОРТЕ

Муленко О.В.
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Под инновацией понимаются нововведения в области техники, технологий, управления, форм организации труда, обеспечивающее повышение эффективности работы [1]. Причем инновация – не только принципиально вновь созданное, но и уже существующее новшество, которое используется там, где оно раньше не использовалось.

* http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=666&layer_id=3290&refererLayerId=162&id=3586

Инновационная активность организаций – это удельный вес организаций, осуществлявших технологические, организационные, маркетинговые инновации в отчетном году, в общем числе обследованных организаций по Российской Федерации [2]. Анализируя инновационную активность организаций за последние годы (рис. 1) и затраты на технологические инновации организаций (рис. 2), видна явная тенденция снижения первого показателя (с 10,4 % в 2011 г. до 9,3 % в 2015 г.), при увеличении второго показателя (с 2011 года затраты на технологические инновации организаций увеличились 64%), а, следовательно, можно сделать вывод о неудовлетворительном развитии инноваций в нашей стране.

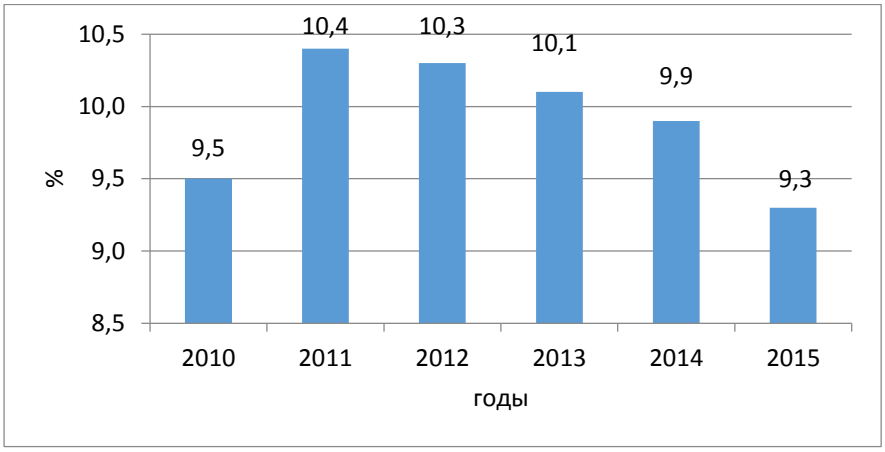


Рис. 1 – Инновационная активность организаций Российской Федерации

Это подтверждает и международный инновационный индекс (The International Innovation Index), который представляет собой обобщенный показатель для измерения уровня инноваций в стране, разработанный Бостонской консалтинговой группой.

Ранжирование стран по инновационным затратам (фискальная политика правительства, политика в области образования и инновационной инфраструктуры) и инновационной отдаче (патенты, результаты НИОКР, производительность труда и др.) показывает, что Россия находится на 16 месте, а индекс инновационной эффективности составляет − 0,16 [3].

При этом «Россия – единственная страна в мире, где доля расходов на гражданскую науку (0,4% ВВП) меньше, чем на оборонные НИОКР (0,6% ВВП)» [4].

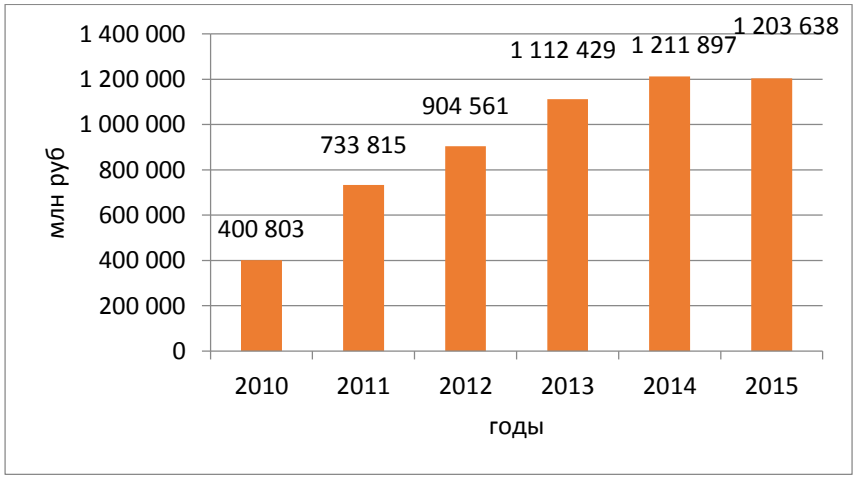


Рис. 2 – Динамика затрат на технологические инновации организаций Российской Федерации

Безусловно, экономическое положение в настоящий момент в России диктует особые условия инновационного развития, в том числе и развитие инноваций транспортного комплекса, связанного с особенностями географического положения нашего государства.

Инновациями являются не только материальные нововведения в технике и технологиях, но и нововведения в обслуживании (в сервисе).

Сервис на транспорте является необходимой и очень важной составляющей перевозочного процесса. За счет высококачественного сервиса у транспортной услуги появляется добавленная стоимость. Здесь на первый план выходит понятие клиентоориентированности, как способности создавать дополнительные потоки клиентов и прибыли за счет понимания и удовлетворения их потребностей. В этом смысле разработка инноваций в области сервисного обслуживания превратилась в стратегические ориентиры на транспорте.

Сервис на транспорте классифицируется на технический, технологический и социально-культурный [5].

Технический сервис – обслуживание машин, вагонов, локомотивов, автомобилей, самолетов и других технических средств с целью увеличения их срока службы. Примером здесь является техническое обслуживание локомотивов, ремонт вагонов и т.п.

Технологический сервис на транспорте – обслуживание процесса изменения характеристик различных материалов, изделий и пр. в сфере производства и эксплуатации с целью предоставления качественных транспортных услуг.

Примером здесь служит наружная обмывка и внутренняя очистка пассажирского вагона, оснащение вагонов-ресторанов, самолетов продуктами питания и др.

Социально-культурный сервис на транспорте – обслуживание пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей, операторов подвижного состава, экспедиторов и других участников перевозочного процесса для удовлетворения их потребностей. В социально-культурный сервис входит полный спектр социально-бытовых и производственных услуг, оказываемых клиентам: транспорт, медицина, торговля, питание, страхование, туризм и т.д.

Примерами социально-культурного сервиса на транспорте является предоставление постельного белья в пассажирском вагоне дальнего следования, обеспечение питанием пассажиров во время полета, услуга по оформлению документов на перевозку груза (при личном контакте работника транспортного сервиса с клиентом).

Инновации в транспортной отрасли можно рассматривать в следующих сегментах:

– разработка новых транспортных средств (их конструкций, материалов, дизайна и т.д.);

– развитие транспортной инфраструктуры (строительство и модернизация железнодорожных станций, путей, автодорог, взлетно-посадочных полос, искусственных сооружений, устройств сигнализации, централизации и блокировки, автоматики и телемеханики, информационных комплексов и систем управления движением и прочих объектов инфраструктуры);

– техносферная безопасность и энергоресурсосберегающие технологии на транспорте;

– разработка новых и совершенствование современных транспортных технологий (терминальные, интермодальные, контейнерные, контрейлерные и т.д.);

– развитие систем и методов управления на транспорте;

– совершенствование форм организации труда в транспортной отрасли и др.

Общеизвестны инновации в сфере транспорта и логистики: бесконтактные считыватели и терминалы мониторинга транспорта, интеллектуальный общественный транспорт, транспортные капсулы Hyperloop, маркировка вагонов радиочастотными RFID-метками, умные вокзалы, модификаторы топлива, внедрение системы комплексной диагностики инфраструктуры, интеллектуальные транспортные системы, беспилотные автомобили, высокоскоростной подвижной состав, внедрение новых материалов и конструкций на транспорте, электрические скутеры складных конструкций, левитирующее

такси, «зеленая логистика», вагоны-кинотеатры, спа-вагоны, вкладыши в контейнеры, роботизированные тележки, виртуальные логистические центры и т.д.

Немаловажным видом инновации в транспортной отрасли является применение новых технологий сервисного обслуживания.

Анализируя опыт многих крупных компаний, можно сказать, что клиентоориентированность является наиболее перспективным развитием для привлечения новых и удержания старых клиентов Основными аспектами при этом являются:

– ориентация на индивидуальную оценку потребностей клиентов;

– механизм разработки новых транспортных (сервисных) услуг с участием клиентов;

– разработка ключевых факторов успеха при разработке новых сервисных услуг;

– использование модели «Service-Profit Chain» (разработанной Гарвардским университетом), в которой внимание сотрудникам и клиентам уделяется в равной степени и др.

Инновационный процесс в технологиях сервисного обслуживания потребителей транспортных услуг (рис.3) – это процесс разработки, распространения и использования новых решений в сервисе (т.е. совокупности новых сервисных услуг в транспортной отрасли, которые могут быть предложены клиентам, а в случае их распространения – получения эффективности результатов).

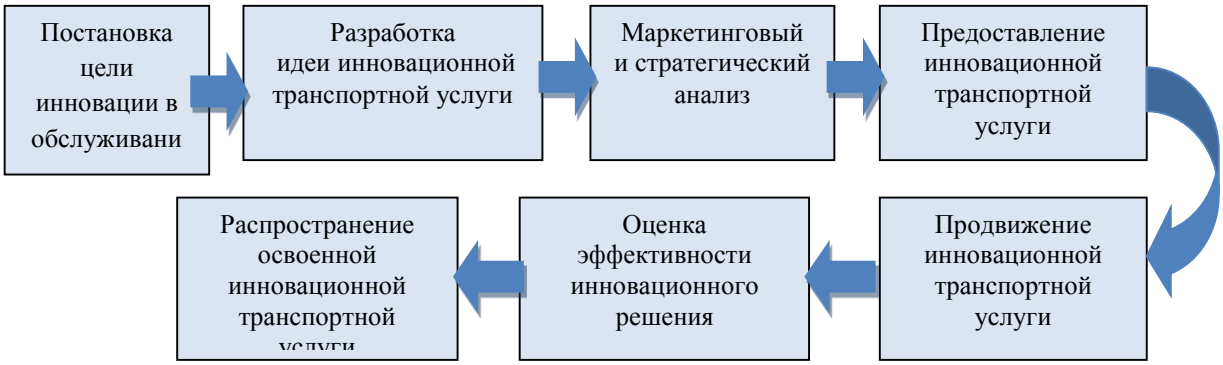


Рис. 3 – Инновационный процесс в технологии сервисного обслуживания потребителей транспортных услуг

Рассматривая внутренние бизнес-процессы инновации в сервисном обслуживании потребителя транспортной услуги (рис. 4) можно проследить цепь взаимосвязанных элементов, ведущих к главной цели – удовлетворению потребностей клиентов.

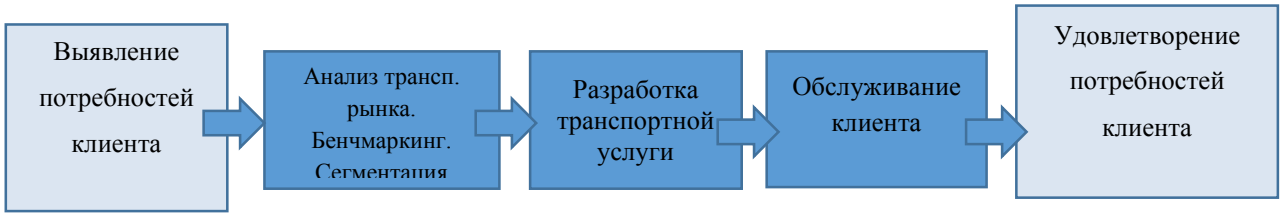


Рис. 4 – Внутренние бизнес-процессы (инновации в сервисном обслуживании потребителя транспортной услуги)

Большое значение в разработке новых видов сервисных услуг на транспорте придается анализу рынка, сегментации рынка и потребителей, бенчмаркингу и комплексному подходу в исследовании.

Анализ рынка позволяет выявить рыночный потенциал, конкурентов, угрозы и благоприятные возможности – принципиально важную информацию для успешной дальнейшей деятельности. При этом могут использоваться инструменты стратегического

анализа: PEST-анализ (анализ внешней среды), конкурентный анализ, модель пяти сил конкуренции М. Портера, SWOT-анализ и др.

Сегментация рынка позволяет определить целевые рынки, количество потенциальных потребителей и т. д.

Сравнение ключевых характеристик транспортных услуг возможно на основе бенчмаркинга.

Бенчмаркинг (benchmarking) – это способ поиска возможностей для совершенствования транспортных и сервисных услуг на основе сравнения с лучшими транспортными и сервисными услугами.

Далее на основе полученных данных необходимо составить стратегию продвижения новых транспортных (сервисных) услуг, которая позволит:

– разработать план действий по их позиционированию для целевых аудиторий;

– сформировать эффективные каналы продаж;

– оптимизировать ресурсы;

– выбрать инструменты маркетинга, с помощью которых максимально эффективно будут раскрыты преимущества новых услуг;

– сформировать устойчивую мотивацию к покупке.

Диагностика инновационного процесса происходит:

1) до реализации введения инновационного решения (анализ среды);

2) во время введения инновационного решения (анализ бизнес-процесса);

3) после реализации инновационного решения (сопоставление целей и полученных результатов).

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что развитие инновационных технологий сервиса на транспорте позволит:

– привлечь дополнительные потоки клиентов;

– обеспечить лояльных клиентов;

– удовлетворить потребности пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей и др.;

– повысить показатели качества сервисного обслуживания;

– приобрести транспортной компанией конкурентное преимущество;

– обеспечить хорошую репутацию транспортной компании;

– повысить трудовую дисциплину и производительность труда за счет внутренней клиентоориентированности;

– увеличить прибыль от реализации транспортных и сервисных услуг.

УДК 656.22 + 06

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ В УСЛОВИЯХ СПОНТАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ

А.Л. Овсянников

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Железнодорожный транспорт по праву занимает ведущее место в транспортной системе нашей страны, являясь одной из наиболее протяженных в мире, а также имеет важнейшее государственное, оборонное, экономическое, народнохозяйственное и социальное значение [1]. Основными доминантами железнодорожного транспорта являются приспособленность их к выполнению массовых перевозок, возможность выполнять перевозки круглый год при всех климатических условиях [2].

Несмотря на бесконечное количество транспортно-технологических операций ежедневно выполняемых на сети железных дорог Российской Федерации, их цель – выполнение плана перевозок. Объем принятых заявок на перевозку железнодорожным транспортом, данные железных дорог и маркетинговых исследований становятся основой для составления технических норм эксплуатационной работы железнодорожного транспорта и месячного плана работы, на основании которого определяется потребность вагонного парка, объемы финансовых вливаний в железнодорожный транспорт.

Основу организации движения поездов и самого перевозочного процесса, который включает в себя операции по подаче, погрузке, продвижению, выгрузке, уборке вагонов, и мероприятия пассажирского комплекса составляют следующие принципы:

- безусловное обеспечение безопасности движения поездов и сохранности грузов;
- внедрение современных технологий;
- высокопроизводительное и экономичное использование транспортных и технических средств;
- высококачественное обслуживание потребителей транспортных услуг;
- взаимодействие с другими видами транспорта [3].

Выполнение данных принципов позволяет осуществлять выполнение заданного объема перевозок и пассажиров своевременно, качественно и с минимальными затратами.

В эксплуатационной работе железнодорожного транспорта зачастую возникают затруднения. Необходимость регулирования перевозок связано в том числе и с неритмичностью отгрузок, возможными задержками в продвижении вагонопотоков. Некачественное регулирование перевозок может само стать причиной возникающих затруднений в эксплуатационной работе. Регулирование может носить как плановый (предупредительный) характер, так и оперативный. Возникающие задержки в обеспечении порожним подвижным составом, простаивание вагонного парка в пути следования, не только увеличивают сроки доставки, но и наносят экономический ущерб предприятиям, снижают конкурентоспособность товаров за счет увеличения транспортной составляющей в цене продукции [4].

Неритмичность организации эксплуатационной работы на железнодорожном транспорте связана с графиками погрузки, выгрузки, формирования вагонопотоков. Транспортные потоки изменяются не только по сезонам, но и месяцам, суткам, часам. Количественные (план погрузки, выгрузки, прием и сдача вагонного парка по стыковым пунктам и др.) и качественные показатели (оборот вагона, участковая, техническая скорость, коэффициент порожнего пробега и др.) устанавливаются ежемесячными техническими нормами исходя из средних показателей работы, но ввиду того, что показатели изменяются даже по часам, то к указанному нормированию необходимо дополнительно применять оперативные регулировочные меры [5].

Факторы, влияющие на неравномерность эксплуатационной работы можно условно разделить на три группы: экономические, технические факторы и организационные факторы.

К экономическим факторам можно отнести сезонность производства и время сбора урожая, заключение контрактов на поставку продукции и влияют они на неравномерность грузопотоков на длительных периодах времени (сезон, месяц).

К техническим факторам относится характер формирования поездов, маршрутизация перевозок, что вызывает неравномерность подвода вагонного парка под выгрузку, а также к ним можно отнести и всевозможные отказы технических средств. Технические факторы вызывают в основном на суточные колебания вагонопотоков.

К организационным факторам относятся режимы работы предприятий, организаций (не только железнодорожного транспорта) в части касающихся ежедневного рабочего времени, праздничных и выходных дней, предоставление «окон» для возможности

организации ремонтных и профилактических работ подразделениями железных дорог. Данные факторы влияют как правило на неравномерность вагонопотоков в течении недели.

Очевидно, что неравномерность эксплуатационной работы железнодорожного транспорта носит достаточно серьезный характер и разнообразие по периодам. Добиться отсутствия колебаний вагонопотоков невозможно, но усилия направленные на повышение равномерности работы железных дорог будут благотворно влиять на организацию перевозочного процесса в целом. Несмотря на постоянную проводимую работу, направленную на устойчивость работы железных дорог, существует ряд ситуаций, имеющих стихийных характер изменения работы транспорта. Стихийные бедствия, форс-мажорные обстоятельства, серьезные сбои в работе, аварии, техногенные катастрофы безусловно наносят серьезные последствия в эксплуатационную работу железных дорог.

Для решения данного вопроса необходимо определить схему спонтанных изменений грузопотоков, рис 1.

Техногенные причины спонтанного изменения грузопотока в большей части связаны с нарушением безопасности движения поездов и особых случаев брака в работе. Природно-климатические причины наносят не малый урон не только эксплуатационной работе, но и железнодорожному транспорту в целом. Сезонные причины носят с первого взгляда прогнозируемые объемы изменения грузопотоков, но в совокупности дают эффект «резонанса». Железная дорога в пик сезонных перевозок осуществляет перевозки на максимально возможных производственных мощностях и наложение даже малейшего дополнительного колебания способно привезти к невозможности перевозки заданного грузопотока.

Рис. 1 – Схема причин спонтанных изменений грузопотоков

Рассматривая чрезвычайную обстановку на территории Российской Федерации следует выделить, что на магистральных линиях железных дорог насчитывается 7398 опасных участков железных дорог, подверженных воздействию природных и природно-техногенных факторов [6].

Рис. 2 – Схема изменений в технологии организации работы железнодорожного транспорта

Стратегические программы развития транспортной отрасли требуют анализа приоритетных проектов в условиях трансформации грузопотоков [1].

Одними из пунктов транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года является обеспечение надежности и безопасности функционирования транспортной системы, снижение количества аварий и катастроф, травматизма и смертности в транспортных происшествиях [7].

Несмотря на огромное количество положительных аспектов, железнодорожный транспорт имеет ограниченную инфраструктуру. Перевозки в определенном направлении обеспечиваются, как правило по одной или двум схемам перевозки. Возникающие серьезные затруднения в организации перевозок предполагают наличие вариантов обеспечения железнодорожных перевозок в данных условиях. Возникающие проблемы необходимо незамедлительно решать изменениями в технологии организации работы железнодорожного транспорта.

Вводимые оперативные вмешательства должны быть направлены на максимальное удовлетворение пропускной (перерабатывающей) способности в кратчайшие сроки.

Возникшая проблема требует научно-методического обоснования в предельных возможностях железной дороги в обеспечении перевозок в условиях резкого изменения пропускной (провозной) способности.

В проводимом исследовании необходимо предусмотреть анализ технологии железнодорожной сети и возможностей по организации перевозок в условии исключения (сокращения) работы станций, разработка рекомендаций по обеспечению максимального объема перевозок в критических условиях.

УДК 656.22: 656.07 + 06

АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОГО СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУЗОВЛАДЕЛЬЦЕВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОННЫХ АУКЦИОНОВ

Скрипников И.Н.
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Демонополизация рынка подвижного состава привела к скачкообразному изменению уровня спроса и предложения на рынке предоставления вагонов. Прежде всего это связано с изменением эксплуатационных показателей, таких как, оборот и порожний пробег вагона. Замедление оборота вагонов, возросший показатель порожнего пробега привели к дефициту подвижного состава. Кроме того, отсутствие унифицированных тарифов за перегон порожнего вагона после различных классов грузов поставил и грузовладельцев, и операторов вагонов в затруднительное положение. С 2012 по 2015 годы наблюдался рост предложения подвижного состава, поведший за собой обрушение ставок суточного пользования полувагонами до рекордно низких показателей в 500-600 руб./сутки.

Однако, введение запрета на эксплуатацию груженных грузовых вагонов, в отношении которых после 1 января 2016 года выполнены работы по продлению срока службы, привело к сокращению количества подвижного состава. И в 2016 году, на примере Северо-Кавказской железной дороги, наблюдается острый дефицит полувагонов. Кроме того, к снижению количества порожних полувагонов на дороге привела переориентация рынка перевозок угольной продукции с Запада на Восток, в Дальневосточные порты.

В целях совершенствования процесса взаимодействия участников перевозочного процесса: грузовладельцев, операторов подвижного состава, владельца инфраструктуры создаются различные механизмы, включающие в себя:

- частичную передачу парка подвижного состава в оперативное управление структурным подразделениям ОАО «РЖД»;
- предоставление подвижного состава по договорам публичной оферты по гарантированной цене, в гарантированные сроки;
- создание информационных площадок для участников железнодорожных перевозок.

Одним из инновационных подходов в области обеспечения подвижным составом стало создание в сети Интернет биржи вагонов «Рэйл коммерс». Данная площадка позволяет проводить аукционные торги для операторов вагонов, путем размещения лота свободных вагонов на месяц, следующий за месяцем проведения торгов.

Оператором устанавливается срок проведения торгов, объем лота, дорога (регион) образования лота порожних вагонов, дорога (регион) назначения и шаг аукциона. Так же может быть выставлена минимальная стоимость лота. Обычно шаг аукциона и стоимость лота представляет собой процент к Прейскуранту 10-01 для вагонов общего парка.

Во время проведения торгов грузовладельцы путем повышения цены выставляют предложения на покупку лота. Победителем признается грузовладелец, предложивший максимальную ставку за пользование вагоном.

Для грузовладельцев в настоящее время реализуется система редукционов. Собственники груза смогут размещать на площадке лоты грузов и, соответственно, операторы подвижного состава путем торгов на понижение будут предлагать наиболее привлекательную стоимость предоставления вагонов.

Процесс предоставления полувагонов через информационную площадку состоит из четырех этапов:

1. Аккредитация участников, сокращающая возможность участия в торгах недобросовестных контрагентов;
2. Размещение лотов – определение единых для всех правил и предмета торгов;
3. Торги. Участники соотносят их возможности и делают предложения цены;
4. Акцепт сделки. Победитель торгов предпринимает ряд действий для получения услуг.

На Рис. 1 изображена гистограмма, отображающая количество предоставляемых вагонов, разыгрываемых по аукционной системе с мая по сентябрь 2016 года.

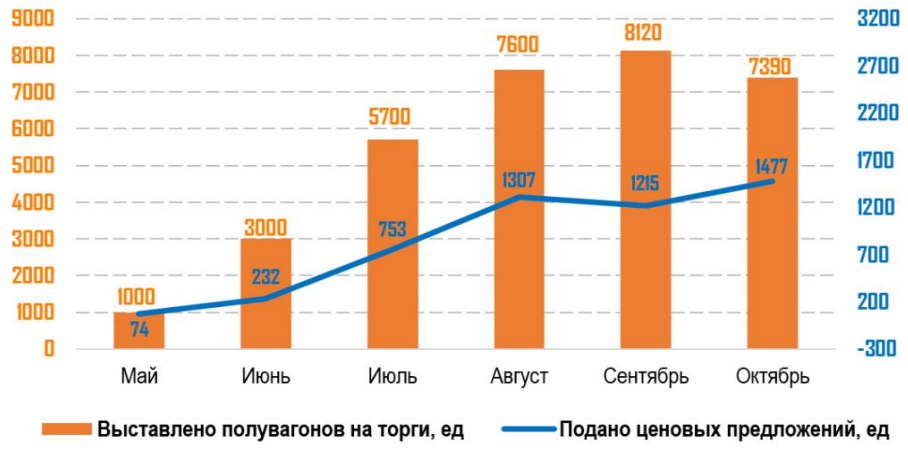


Рис. 1 – Количество предоставляемых вагонов, разыгрываемых по аукционной системе и поданных по ним ценовых предложений

Анализ количества предоставляемых вагонов, разыгрываемых по аукционной системе и поданных по ним ценовых предложений, отображает растущий спрос на данную услугу как со стороны операторов, так и со стороны грузовладельцев.

На примере Северо-Кавказской железной дороги проведен анализ проведенных торгов на предоставление полувагонов под перевозку инертно-строительных грузов с августа по ноябрь 2016 г.

Полученные данные позволяют провести анализ изменения стоимости предоставления подвижного состава по дорогам назначения (Рис. 2).

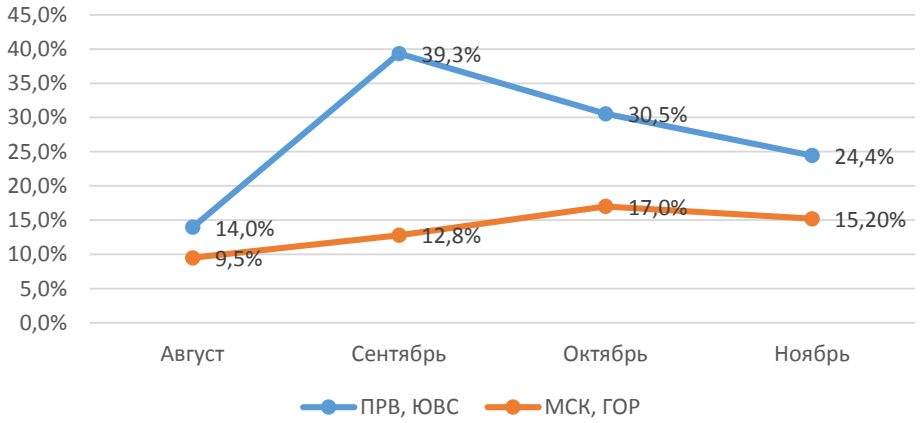


Рис. 2 – Динамика изменения стоимости предоставления полувагонов на Северо-Кавказской железной дороге под перевозку инертно-строительных грузов

Таблица 1 – Анализ проведенных торгов на предоставление полувагонов по перевозку инертно-строительных грузов с августа по ноябрь 2016

Оператор подвижного состава	Дороги назначения	Количество вагонов в лоте	Ставка победителя, % к Прейскуранту 10-01	Количество участников аукциона	Месяц перевозки, 2016 год
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	15,2%	8	Август
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	5,0%	7	Август
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	8,3%	10	Август
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	13,0%	11	Август
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	14,9%	9	Август
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	12,4%	6	Сентябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	12,4%	6	Сентябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	12,4%	6	Сентябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	40,0%	10	Сентябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	40,0%	11	Сентябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	38,0%	13	Сентябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	14,0%	4	Сентябрь
АО «ФГК»	МСК	100	12,7%	6	Сентябрь
АО «ФГК»	МСК	100	12,7%	5	Сентябрь
ООО «ТФМ-Оператор»	ГОР, КБШ	50	12,0%	9	Октябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	17,9%	8	Октябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	16,8%	8	Октябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	17,2%	9	Октябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	30,3%	11	Октябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	30,5%	10	Октябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	30,8%	12	Октябрь
ООО «Грузовая компания»	МСК, ГОР	100	15,9%	9	Октябрь
ООО «Грузовая компания»	МСК, ГОР	100	10,3%	3	Ноябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	14,9%	6	Ноябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	15,6%	6	Ноябрь
АО «ФГК»	МСК, ГОР	100	20,1%	5	Ноябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	25,0%	13	Ноябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	24,1%	13	Ноябрь
АО «ФГК»	ПРВ, ЮВС	100	24,2%	11	Ноябрь

К сожалению, в настоящее время невозможно произвести анализ графика на более широком тайм-фрейме, из-за короткого срока существования площадки. Однако, и на представленном графике виден рост стоимости предоставления подвижного состава в сентябре-октябре и постепенное его уменьшение в ноябре месяце. Это свидетельствует о повышенном спросе на вагоны у отправителей инертно-строительных грузов.

Несомненно, создание информационных площадок для участников рынка перевозок повышает конкурентоспособность железнодорожного транспорта, доступность небольших

грузоотправителей к рынку предоставления вагонов. Биржа позволяет сформировать рыночную цену на услуги.

С точки зрения операторов грузовых вагонов – это инструмент, повышающий суточную доходность полувагонов. На Рис. 3 отображена динамика стоимости перевозки полувагонов с щебнем по типовому маршруту со станции Божковская Северо-Кавказской железной дороги на станцию Бетонная-Товарная Приволжской железной дороги. Стоимость пользования вагоном рассчитана исходя из данных, указанных в Табл. 1.

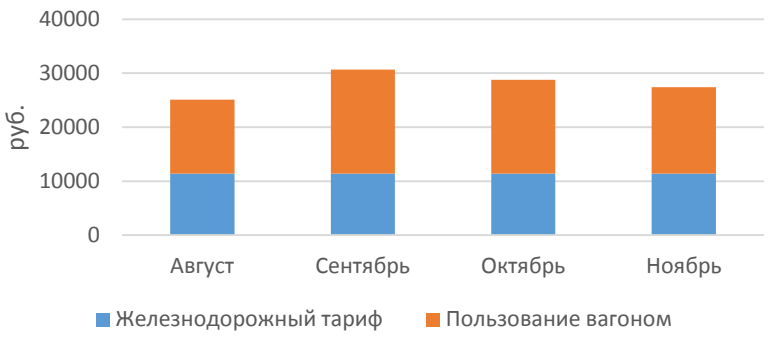


Рис. 3 – Динамика стоимости железнодорожной перевозки со станции Божковская на станцию Бетонная-Товарная

Из Рис. 3 видно, что в стоимости перевозки основная доля – предоставление вагона, при этом в сентябре на тариф приходится чуть более 30% от общей стоимости. Если посчитать суточную доходность оператора, то по сравнению с 2015 годом она выросла в 2-2,5 раза. Конечно, данная ситуация ставит в затруднительное положение грузовладельцев, которым приходится свыкаться с новыми ставками на вагоны.

В любом случае такой скачок стоимости предоставления подвижного состава приведет к пропорциональному росту стоимости продукции для конечного потребителя.

Говоря о недостатках биржевой системы предоставления подвижного состава, стоит отметить:

- возможный спад спроса на услуги биржи в виду колебания спроса/предложения на вагоны. Особенная актуальность проведения аукционов возникает исключительно в период возникновения дефицита подвижного состава;
- сложность участия в торгах малых операторов вагонов. В случае проведения торгов лотами, соизмеримыми объемам парка малых операторов – возникает угроза необеспечения вагонами победителя торгов.
- отсутствие актуальности повторного участия в аукционе победителей предыдущих аукционов (после заключения контракта с собственником грузовладелец может самостоятельно заказывать вагоны у данного собственника). При этом у собственника вагонов исчезнет необходимость размещать лот.
- редукцион для грузовладельцев в случае отсутствия участников торгов (операторов) будет признан несостоявшимся, что несет высокие риски по обеспечению подвижным составом грузоотправителя в дальнейшем, и может привести к срывам выполняемых обязательств по договорам поставки.

Несмотря на существующие недостатки и проблемы, с которыми могут столкнуться участники перевозочного процесса при работе с биржей стоит отметить, что дальнейшее развитие интернет-площадок сможет повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта, сделать рынок предоставления подвижного состава более прозрачным и менее аритмичным.

УДК 519.876.5: 656.078+06

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

А.И. Хашев
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Транспортные системы относятся к классу сложных систем, характеризующихся большим количеством элементов и разнообразием связей между ними. Они предназначены для удовлетворения транспортных потребностей человека и включает в себя средства транспортировки, объекты транспортировки, а также окружающую среду. Любая транспортная система представляет собой совокупность транспортных средств, путей сообщений, погрузочных и разгрузочных пунктов, подразделения анализа, планирования и управления процессами доставки груза.

Исследование транспортных систем направлена в определение пропускных способностей, оптимизации функционирования отдельных транспортов, оптимизации транспортной системы, планирование в транспортной системе и т.д. Процесс оптимизации транспортных систем заключается в отыскании оптимальных пропорций между количественными значениями и тенденциями изменения материальных, технологических и организационных факторов, связанных с функционированием транспортных систем. Можно выделить несколько классов задач для оптимизации транспортных систем (рис. 1).

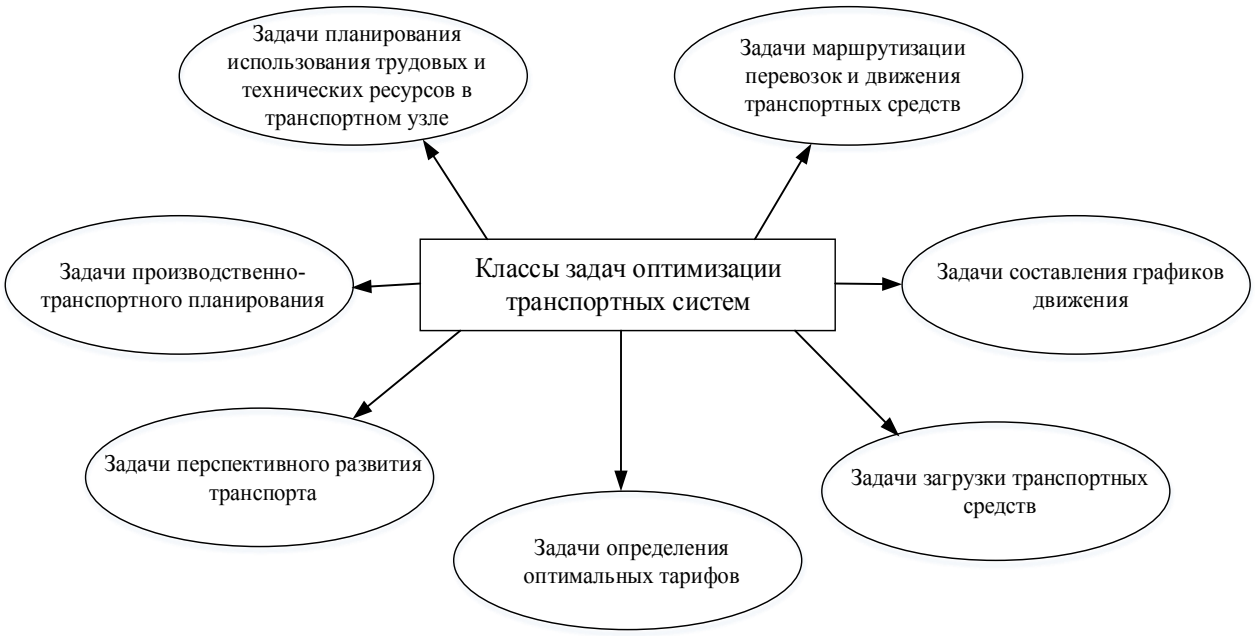


Рис. 1 – Классы задач для оптимизации транспортных систем

Транспортное моделирование и является одним из инструментов для эффективного решения задач. Важнейшая цель транспортного моделирования – составления объективных прогнозов транспортной ситуации в зависимости от внешних (социально-экономических, демографических, природно-климатических) и внутренних (развитие сетей, транспортных систем, подвижного состава и т.п.) изменений, анализ и подготовка рекомендаций для инвестиционных проектов в области инфраструктуры.

Наибольшее распространение получили аналитический и имитационный методы моделирования. Чаще всего для исследования транспортных систем используют

имитационные модели. Преимущество имитационных моделей по сравнению с аналитическими состоит принципиальной способности отобразить объект на любом уровне детализации [2].

«Имитационное моделирование – это разновидность математического моделирования, в котором описание модели задается в виде алгоритмов поведения и взаимосвязи элементов моделируемой системы. Используемые алгоритмы позволяют имитировать как поведение элементов системы, так и всей системы в целом, а также определять требуемые параметры функционирования системы» [1]. На рис. 2 показана сфера применения имитационных моделей в транспортных системах.

Рис. 2 – Транспортные задачи

Имитационное моделирование может быть детерминированным или стохастическим, статическим или динамическим.

Детерминированное моделирование отображает процессы, в которых предполагается отсутствие случайных воздействий.

Стохастическое моделирование учитывает вероятностные процессы и события.

Статическое моделирование служит для описания состояния объекта в фиксированный момент времени.

Динамическое моделирование служит для исследования работы системы в заданном временном диапазоне или прогнозирование ее работы в будущем.

«При имитационном моделировании используется различная математическая основа. Это марковские процессы, дифференциальные уравнения, конечные и вероятностные автоматы и т. д. Существенная часть имитационных моделей на транспорте строится на основе теории массового обслуживания» [2].

На рис. 3 показаны этапы работ, которые выполняются при разработке имитационной модели.

Средства имитационного моделирования являются мощным современным орудием в изучении сложных процессов и систем, в том числе, и транспортных. Оно даёт возможность реализации таких экспериментов, которые невозможно проводить на реальных дорожных сетях, например, по соображениям безопасности или из экономических соображений. Кроме того, появляется возможность прогнозирования и анализа разнообразных ситуаций, которые

могут случиться в будущем, но ещё не случались на практике, а многие долговременные явления и процессы могут быть проанализированы за короткий промежуток времени.

Рис. 3 – Этапы работ, выполняемые при разработке имитационной модели

На сегодняшний день для моделирования транспортных систем существует большое количество специальных систем имитационного моделирования, таких как: EMME/2, PARAMICS, SATURN, PTV Vision, TRANSIMS, Дорожный менеджер и др. [2].

1. PTV VISUM – это программное обеспечение, которое позволяет отображать все виды индивидуального и общественного транспорта в единой мультимодальной модели. Оно дополняется системой микроскопического моделирования транспортного движения PTV VISSIM. Обе программы вместе образуют систему PTV Vision Traffic Suite. С помощью PTV VISUM можно управлять основными данными систем транспортного информации и планирования и обрабатывать их в сетевом редакторе. Программа использует современные математические инструменты. В отличие от простых ГИС-систем в PTV VISUM есть возможность получать информацию о сложных взаимозависимостях в пределах одной или нескольких систем транспорта и за счета этого создавать оптимальную транспортную модель. Интерфейс программы PTV VISUM представлена на рис. 4.

PTV VISUM отображает результаты расчета в графической и табличной форме и позволяет проводить разнообразные графические анализы.

Среди российских разработок можно выделить два программных продукта «Дорожный менеджер» и AnyLogic.

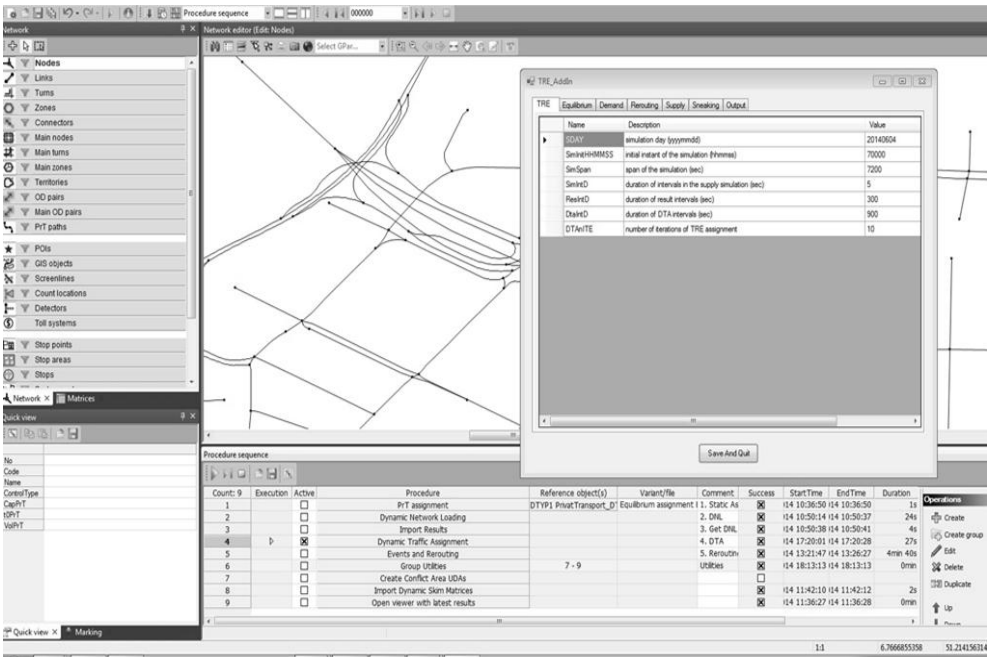


Рис. 4 – Интерфейс программы PTV VISUM

2. Дорожный менеджер – программа имитационного моделирования транспортных потоков улично-дорожной сети города или региона. Программа позволяет наглядно увидеть обстановку на улично-дорожной сети в случае различных дорожно-транспортных ситуаций или при изменении конфигурации сети. В качестве примера модели в программе «Дорожный менеджер» была взята организация движения перед РГУПСом (рис. 5).

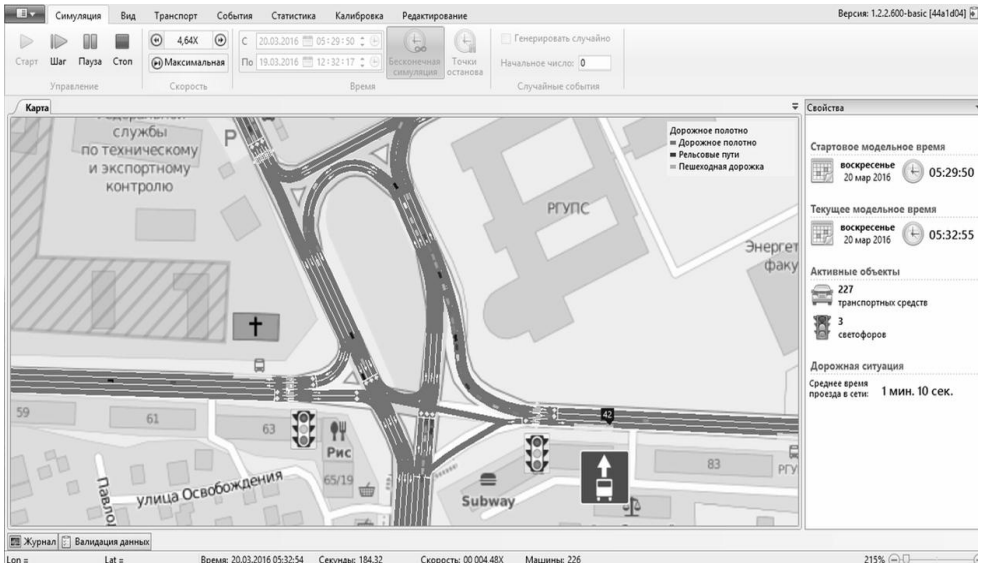


Рис. 5 – Имитация модели в «Дорожном менеджере»

3. Пакет AnyLogic является универсальным программным продуктом, что является одним из оснований для использования данного продукта в научной деятельности. Применяется AnyLogic не только для моделирования транспортных потоков, но и в таких областях как производство, склад и перевозки, логистика и цепочки поставки, железные дороги, стратегическое планирование, бизнес-процессы и системы обслуживания и т.д. (рис. 6).

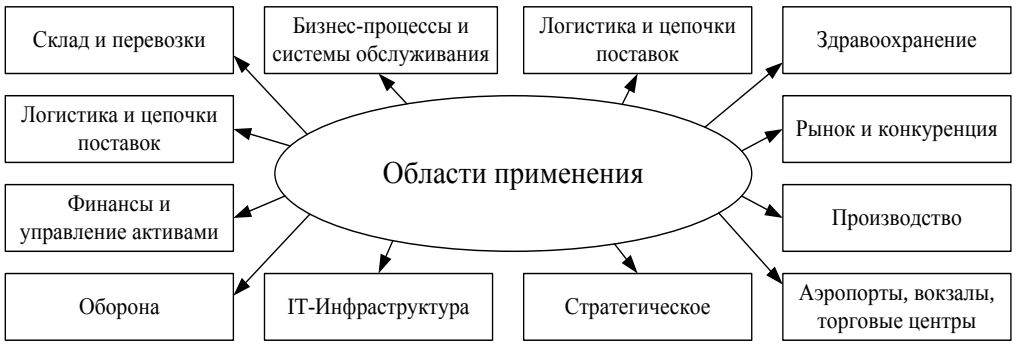


Рис. 6 – Области применения AnyLogic

На рис. 7 представлена транспортная модель перекрестка в программе AnyLogic.

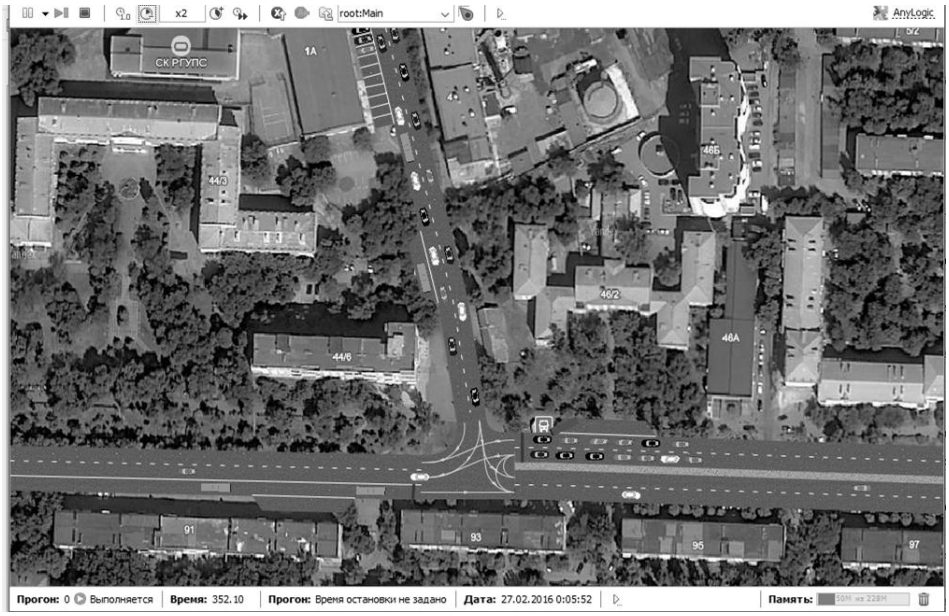


Рис. 7 – Транспортная модель в программе AnyLogic

Описанные программные средства решают задачи моделирования транспортных потоков на макроуровне и микроуровне, такие как прогноз корреспонденций и потоков, анализ параметров движения, задержек и пропускных способностей на локальных участках сети.

Вывод. На сегодняшний день существует большое количество программных продуктов для имитационного моделирования транспортных систем, поэтому важной задачей является выбор адекватного соответствующего программного продукта для решения разнообразных транспортных задач, чтобы получить качественный результат.

УДК 656.2 + 06

ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В РЕГИОНАЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО РЕГИОНА)

Е.А. Чеботарева, М.В. Бакалов
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Транспортный комплекс страны является катализатором развития народного хозяйства, он играет важнейшую роль в обеспечении внутренних потребностей страны и

регионов в перевозках, международной торговли и интеграции России в мировую экономическую систему. Известно, что транспортный комплекс представляет собой не только объединение взаимосвязанных видов транспорта, но и включает также совокупность путей сообщения, подвижного состава, средств управления и связи, разнообразное техническое оснащение, которое обеспечивает работу всех видов транспорта. Инновационное развитие железных дорог один из приоритетов в развитии транспортного комплекса страны. В настоящее время к стратегическим направлениям инновационного развития ОАО «РЖД» относятся [1]:

- совершенствование системы управления перевозочным процессом и транспортной логистики;
- обновление инфраструктуры и подвижного состава;
- повышение надежности работы и увеличение эксплуатационного ресурса технических средств;
- развитие высокоскоростного движения;
- внедрение инновационных спутниковых и геоинформационных технологий и др.

Особое место в производственно-транспортной структуре экономики Российской Федерации (РФ) занимает динамично развивающийся Южный регион, обслуживаемый в основном Северо-Кавказской железной дорогой (СКЖД). СКЖД имеет особенности функционирования, включая значительную долю экспортных перевозок, организуемых во взаимодействии с другими видами транспорта, большую долю сезонных пассажирских перевозок, географически дифференцированную грузовую базу, разнородную топологию составляющих в технологическом и организационном обеспечении перевозочного процесса.

В связи с этим рассмотрим развитие инновационной деятельности на железнодорожном транспорте в региональном разрезе на примере Южного региона с точки зрения обеспечения грузовых и пассажирских перевозок.

Транспортный комплекс Южного региона занимает одно из ключевых мест в транспортной системе России. Объем перспективных грузопотоков с участием железнодорожного транспорта в сообщении с портами региона оценивается к 2025 году в размере 101,2 млн т (рис. 1). Растущие объемы перевозок грузов в направлении Азово-Черноморского бассейна вызывают дефицит провозной мощности на лимитирующих направлениях СКЖД: Лихая – Разъезд 9 км., Краснодар – Крымская и Сальск – Тихорецкая. Особенно усложнилась организация пропуска грузопотоков в адрес портов на направлениях с интенсивным смешанным (грузовым и пассажирским) движением. В результате ежегодно наблюдается рост числа отставленных от движения поездов в адрес получателей дороги, а на участках с интенсивным движением пропуск большого количества пассажирских поездов вызывает значительные трудности в организации грузового движения [2]. Так большая пакетность в графике пассажирских поездов (8-12 поездов в пакете) приводит к потерям участковой скорости при их задержках и преимущественном пропуске. Дальнейшее увеличение объемов грузовых и пассажирских перевозок может привести к полному исчерпанию пропускной способности на отдельных направлениях дороги.

Рис. 1 – Роль Южного региона в обеспечении грузовых перевозок

Поэтому важную роль в развитии транспортного комплекса Южного региона занимают проекты по усилению пропускной способности и развитию высокоскоростного движения на полигоне СКЖД, предусмотренные Генеральной схемой развития сети железных дорог ОАО «РЖД» до 2020 и 2025 годов [3] и направлениями инновационного развития (рис.2).

Рис. 2 – Проекты по усилению пропускной способности и развитию высокоскоростного движения на перспективу на полигоне СКЖД

С учетом роста грузопотоков и пассажиропотоков в рамках инновационного развития транспортного комплекса Южного региона необходимо продолжить исследования по нескольким направлениям: разработка мероприятий по развитию железнодорожной инфраструктуры с целью освоения прогнозируемого роста объемов грузовых и пассажирских перевозок, развитие методов логистического управления перевозками, комплексное рассмотрение вопросов диспетчерского руководства на грузонапряженных направлениях с большой интенсивностью смешанного грузового и пассажирского движения.

Так создание Дорожных центров управления перевозками (ДЦУП) позволило сконцентрировать диспетчерское руководство каждой дороги и обеспечить более четкую организацию эксплуатационной работы. Кроме того, имеется положительный опыт работы Дорожных логистических центров (ДЛЦ), созданных на ряде дорог, по управлению грузопотоками в адрес портов и крупных предприятий регионов, в том числе и на СКЖД [2,4]. В настоящее время обсуждается вопрос о создании Регионального координационно-логистического центра для решения задач повышения эффективности перевозок и снижения затрат у всех заинтересованных участников перевозочного процесса. Создание данного центра должно значительно снизить перекосы в диспетчеризации управления порожним подвижным составом, снизить коэффициент порожнего пробега, повысить уровень выполнения коэффициента сдвоенных операций, сократить количество встречных порожних пробегов вагонов одного собственника, исключить несвоевременную доставку порожних вагонов на станции погрузки.

Важным шагом в развитии системы управления грузовыми перевозками является реализация полигонных технологий, эффективность применения которых подтверждается положительными результатами, достигнутыми при создании Центров управления тяговыми ресурсами (ЦУТР) [5]. Созданный ЦУТР южного полигона позволяет оптимизировать использование тягового подвижного состава и улучшает организацию работы локомотивных бригад трех магистралей: Северо-Кавказской, Приволжской и Юго-Восточной. Организация центра южного полигона именно на СКЖД обусловлена рядом особенностей дороги, в том числе наличием большого количества портов международного значения.

В рамках реализации полигонных технологий на дороге также организован пропуск грузовых поездов по расписанию с согласованным временем отправления и прибытия. Так, на сегодняшний день во взаимодействии с основными клиентами дороги организовано движение 16 поездов по специализированным расписаниям – четырех со строительными грузами, 10 с нефтепродуктами и двух с удобрениями, в том числе при перевозке грузов на припортовые станции [6]. К 2030 году переход от региональных принципов управления перевозочным процессом к планированию и организации движения поездов на полигонах сети согласно [5] позволит повысить участковую скорость на 23% к уровню 2014 года (+ 8,8 км/ч, до 46,5 км/ч), средний вес поезда на 7% (на 270 тонн, до 4200 тонн), обеспечить выполнение простоя транзитного вагона с переработкой на уровне не более 8 часов, без переработки – не более 1 часа. Однако выполнение этих параметров требует комплексного решения многих вопросов технического, технологического, информационного обеспечения перевозок. Так ниже в таблице приведено сравнение показателей работы СКЖД за прошлый период и целевых параметров работы сети в целом до 2030 г., что наглядно демонстрирует необходимость дальнейшего развития инновационных проектов в области управления эксплуатационной работой железнодорожного транспорта.

Таблица 1 – Сравнение текущих показателей и целевых параметров работы до 2030 г.

Показатели	Текущие показатели работы СКЖД	Целевые параметры до 2030 г. по сети [3]
Участковая скорость, км/ч	35,7	46,5
Средний вес поезда, т	3650	4200
Простой транзитного вагона без переработки, ч	5,04	1
Простой транзитного вагона с переработкой, ч	13,76	8

Развитие пассажирского транспортного комплекса также является важнейшей задачей развития Южного региона. Исследования показывают, что при большом количестве крупных городов в России недостаточно развиты межрегиональные и межагломерационные связи. При этом, например, в Китае пассажирские железнодорожные перевозки по уровню выручки сопоставимы с грузовыми. В последние годы за счет развития отечественных заводов и локализации производства на сети появились новые магистральные локомотивы, обновленные пассажирские вагоны габарита RIC, комфортабельные двухэтажные вагоны, пригородные электропоезда, что, безусловно, отвечает курсу на импортозамещение и развитие отечественного инновационного подвижного состава.

Рассмотрим перспективы инновационного развития железнодорожного транспорта в области пассажирских перевозок на примере Южного региона. Одним из значимых проектов на рассматриваемом полигоне стал проект создания транспортной системы для организации и проведения Олимпийских игр в г. Сочи, что потребовало нового инновационного подхода к созданию систем управления и обеспечения безопасности движения.

В ходе реализации стратегии развития холдинга «РЖД» до 2030 года в 2015 году была актуализирована и утверждена «Программа организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации» [7], согласно которой системообразующими проектами на перспективу являются ВСМ Москва – Казань – Екатеринбург, Москва – Санкт-Петербург, Москва – Ростов-на-Дону – Адлер. Важность последнего проекта с региональной точки зрения неоднократно подымалась в научных дискуссиях. Реализация крупнейшего инфраструктурного проекта Ростовской области – аэропортового комплекса «Южный» на территории Аксайского района [8] требует решения на перспективу задачи построения эффективного интермодального сообщения.

Перспективы решения данной задачи просматриваются только в комплексе со строительством высокоскоростной магистрали «Центр-Юг», призванной соединить Москву и Адлер, с проездом через Ростов-на-Дону. При этом необходимо строительство нескольких новых станций, в том числе, обслуживающей новый аэропорт. Несмотря на отдаленные перспективы указанного проекта [9] в настоящее время ведутся подготовительные работы в техническом и технологических аспектах. По прогнозу ожидается рост объемов пассажирских перевозок, прежде всего в период проведения чемпионата мира по футболу в 2018 году, при этом на Воронежском направлении в период летних пассажирских перевозок уровень заполнения наличной пропускной способности близкий к критическому, с коэффициентом от 0,92 до 0,96 и снизить его можно только при условии строительства третьих путей на лимитирующих перегонах. В связи с такой ситуацией предлагается разделение грузового и пассажирского движения с учетом усиления пропускной способности направления Котельниково – Тихорецкая – «9км» – Вышестеблиевская (рис. 3) [10].

Рис. 3 – Разделение грузовых и пассажирских ходов на СКЖД

В заключении выделим в качестве основных инновационных проектов в области грузовых и пассажирских железнодорожных перевозок на полигоне Южного региона:

– развитие полигонных технологий управления движением и логистических технологий доставки грузов с участием нескольких видов транспорта;

– разделение грузового и пассажирского движения, как первого этапа повышения скоростей пассажирских поездов и увеличения провозной способности направлений СКЖД;

– строительство специализированных скоростных железнодорожных линий.

Рассмотренные выше решения и проекты в региональном аспекте в целом направлены на достижение стратегических целей инновационного развития ОАО «РЖД».

УДК 656.2.003+06

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОЛИГОПОЛИИ – ПОДДЕРЖКА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

С.Г. Шагинян, Е.В. Радченко
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Реальный подход к методологии функционирования рыночных систем можно считать инновационным для российского транспортного комплекса, так как многолетние реформы и

их этапная результативность демонстрируют накопительство проблем и противоречий. Последние, на наш взгляд, порождены, в первую очередь, игнорированием научных подходов, в области экономики и управления.

Недооценка методологии в прикладной экономике, ссылка на практический опыт, который базируется на принципах организации другой экономической системы чреват бесперспективностью и высокими издержками не только транспортников, но и практически всей российской экономики.

Функционирование российского транспортного комплекса и его правительственное регулирование демонстрируют противоречивость практики науке и, таким образом, экономическую непросвещенность, вызывающие необоснованность корпоративных стратегий, тактических действий и неудовлетворенность потребителей.

Вышесказанное подтверждает структурная реформа железнодорожного транспорта и ее этапные итоги.

Реализуемая концепция игнорирует базовые положения методологии экономической науки, но повторяет большинство проблемных зон перехода к рынку крупных компаний других отраслей национальной экономики, опередивших трансформацию экономических отношений на транспорте более чем на десятилетие.

Например, на уровне корпорации ОАО «Российские железные дороги» остаются ведущими псевдорыночные показатели, такие как опережающие темпы роста производительности труда над темпами роста средней оплаты труда (данный показатель обеспечивается в первую очередь сокращением численности персонала) и рост объемов перевозок (критерий эффективности экономики дефицита).

Достижение эффективности по-прежнему сводится к требованиям постоянного снижения эксплуатационных расходов, а не к оптимизации объемов производства и издержек.

Бюджетирование, как инструмент финансового менеджмента абсолютизирован централизацией, породило новые формы противоречий компании, ее филиалов и структурных подразделений.

Экономическая инициатива на местах блокирована отсутствием прибыли и правом распоряжения ею, в том числе и по подсобно–вспомогательной деятельности.

В противовес советской практике – борьба за перевыполнение плана в первую очередь за счет его занижения, сегодня структурные подразделения завышают плановые бюджеты расходов для экономии на эксплуатационных расходах ради получения мотивационного фонда.

Не был учтен и до сих пор остается без внимания тип формирующейся рыночной структуры.

Например, сегмент конечных железнодорожных грузовых перевозок, объективно обусловленный транзитивностью от государственно-монополистического содержания Министерство путей сообщения к олигопольному рынку с доминирующей фирмой - ОАО «Российские железные дороги» [1,2].

В результате не создан эффективный механизм государственного регулирования рынка железнодорожных перевозок и не реализуется инструментарий экономического управления транспортных операторов и их структурных подразделений.

Правительственное воздействие на госкомпанию практически сведено к финансированию обновления основного капитала и инвестиционных проектов, порождая эффект иждивенчества.

Доказательством последнего можно считать определение компанией основной проблемы функционирования – недофинансирование.

Данные проблемные зоны и барьеры прогрессивности должны быть учтены в современных условиях, требующих перехода к новой экономической модели – трансформация методов управления и регулирования формирующегося и в очередной раз рецессионного рынка, состояние которого обусловлено не только известными факторами

внешней среды, но и методологическими, институциональными и методическими просчетами в его формировании и развитии.

Безусловно, санкционная обстановка оказывает свое влияние на транспортный рынок, в том числе международных перевозок.

Большинство рыночных сегментов российской макроэкономики – олигопольны, что, как мы уже отметили, обусловлено базисом их формирования и регулируемой поддержкой, особенно начиная с нулевых годов.

Так, например, рынок грузовых железнодорожных перевозок в России по методологии Шеферд типологичен олигополии с доминирующей фирмой, что доказывают следующие параметры данной рыночной структуры:

- доля одной компании в рыночном сегменте – пятьдесят -девяносто процентов;
- отсутствие достойных конкурентов, действия которых не согласованы;
- высокие экономические и институциональные барьеры входа в рынок;
- ценовое давление фирмы – доминанты;
- использование ведущей фирмой ценовой дискриминации всех степеней (сегодня элемент ценовой дискриминации представлен только третьей степенью).

Большинство этих характеристик были сформированы в условиях социалистической экономики, не реформировались в течение почти десяти лет перестройки, находят поддержку существования сегодня.

Рыночное позиционирование ОАО «РЖД» в сегменте железнодорожных грузовых перевозок подтверждает возможность его отнесения к доминирующей фирме в системе олигопольного взаимодействия.

Данная диагностика объясняет не только ограниченность конкурентных отношений операторов грузовых перевозок, но и отсутствие скрытого сговора, так как классическое картелирование подменяется добровольным следованием за лидирующей компанией, создающей выгодные условия для других.

Таким образом, рынок грузовых железнодорожных перевозок объективно рассматривать в краткосрочном периоде, растянувшемся почти на двадцать лет. В результате, монополизм не подрывается конкуренцией, которая в олигополии объективна в долгосрочном периоде.

Конкуренция, в свою очередь, спасает потребителей от картельных отношений постоянным совершенствованием ассортимента, качества и лояльности. В реалиях же российской ситуации конкретизируется противоречие: выгоды фирм-операторов грузовых железнодорожных перевозок порождают проблемы потребителей их услуг: низкое качество, рост тарифов, сокращение объемов предложения и т.д.

Действительно, в российских условиях олигопольное взаимодействие детерминирует инфляционные процессы и проблемы качества.

Ситуация усугубляется узким ассортиментом субститутов форм и видов транспортных услуг и низкой эластичностью, а по ряду направлений и видам грузов неэластичностью спроса.

Менеджмент качества и маркетинг в компаниях – перевозчиках трансформируются в директивное клиентоориентирование, что противоречит рыночному саморегулированию. В ОАО «РЖД» создан Департамент развития бизнеса и клиентоориентированности, подменяющий активный маркетинг.

Рыночные отношения, как известно, автоматически обеспечивают клиентоориентированность, иначе товар (услуга) не будет продан, так как не удовлетворяет потребность покупателя (клиента), то есть не будет разрешено противоречие свойств товара.

Или иначе, клиентоориентированность преследует любая компания в условиях рынка, а ее структурные подразделения, в том числе инфраструктурные, обеспечивают данный процесс.

Скрытые картельные отношения рынка грузовых железнодорожных перевозок практически не регулируются.

При этом упускаются внутренние противоречия картеля, которые могут быть использованы в системе косвенных инструментов воздействия на олигопольный рынок, базирующихся на побудительности субъектов олигопольного взаимодействия следовать в направлении выбранного варианта развития.

Отношения субъектов картеля, как правило, не имеют юридического оформления, а при наличии доминирующей фирмы олигопольное согласование упрощается и получает еще большую завуалированность.

Например, ценовое лидерство фирмы-доминанты не только поддерживается большинством продавцов олигопольного сегмента рынка, она и формирует технический и технологический тренд развития.

Монопольное сдерживание последнего получает поддержку других участников олигополии, так как он не обременен существенными инвестициями.

Результат очевиден - не соответствие услуг данного сегмента рынка качественным и количественным параметрам объема спроса на услуги железнодорожного транспорта.

Автоматизм восприятия диктуемых условий компании–доминанты четко проявляется в условиях стандартизированности товара (услуги, в том числе железнодорожных грузовых перевозок).

Наоборот, четко выраженная дифференцированность товара (услуги), например, в рассматриваемом сегменте рынка–скорость доставки, ассортимент сопутствующего сервиса, вызывают конкуренцию, опосредованную альтернативами выбора клиентов операторов грузовых перевозок.

Современный российский рынок грузовых железнодорожных перевозок демонстрирует отрицательный эффект олигопольного взаимодействия: скорость перевозок определяет собственник инфраструктуры (доминирующая фирма), а модификационные отличия прослеживаются преимущественно в качестве и объеме предпродажного сервиса, но и те на минимальном уровне.

Постулат экономической науки: нововведения фирм сдерживают картелирование, так как устоявшиеся рыночные тенденции устаревают.

Экономические реалии подтверждают: нововведения осуществляет только доминирующая фирма, но и ее инновационное поведение узконаправленно, вносит диспропорциональность в развитие ее структурных подразделений.

Ответная реакция «конкурентов» соответствующая – нововведения сводятся к обновлению парка подвижного состава.

Таким образом, регулирование олигополии может стать инструментом поддержки инноваций, которые сдерживают картелирование, а, следование за прогрессирующим лидером придаст позитивный импульс.

Формирование и поддержку инновационного климата следует рассматривать в качестве косвенного инструмента регулирования олигопольного рынка и его сегментов. Поиск инновационного потенциала сегодня, например, в ОАО «РЖД» малорезультативен из-за отсутствия конкуренции и по причине практического минимума субститутов и низкой эластичности спроса потребителей транспортных услуг.

Регулирующим инструментарием олигополии является и создание благоприятных условий входа в рынок новых предприятий.

В том числе, это позволит дополнить прямое ограничение цен (тарифов) косвенным воздействием.

Государственная поддержка доминирующей компании усугубляет ситуацию деинновационного развития, так как проблемы олигопольного лидерства дополняются отрицательным эффектом организационной монополии.

Государственное регулирование должно сдерживать слияние и поглощение в олигополии, в первую очередь доминирующей фирмой, а не наоборот, как это происходит сегодня, так как минимальное количество субъектов олигопольного взаимодействия упрощает достижение соглашений.

По нашему мнению, создание холдингов по видам транспорта можно рассматривать как усиление монопольного позиционирования ОАО «РЖД».

Формирование дочерних компаний создает только видимость конкуренции, так как рост концентрации в сегменте грузовых железнодорожных перевозок становится барьером становления конкурентных отношений.

От олигопольного содержания транспортной рыночной структуры в российских условиях не уйти, поэтому регулирование рынка грузовых железнодорожных перевозок должно преследовать цель формирования ограниченной олигополии.

По Шеферду она представлена сегментом рынка, в котором четыре фирмы занимают шестьдесят процентов и средние барьеры входа.

Важный момент. Экономическая наука подчеркивает, что в современном мире опираться на внутренние силы нет оснований. Успех ощутим только у тех стран и крупных компаний, которые исповедуют и проводят политику международной экспансии товаров и услуг.

Это те, кто включен в международную цепочку производства и реализации добавленной стоимости. У ОАО «РЖД» огромный потенциал. О его реализации говорят и пишут уже десятилетия.

Притормозила реализацию международных транспортных коридоров политика обоюдных санкций.

Необходим поиск новых экономических партнеров, новых условий взаимодействия, работающих на оздоровление экономики ОАО «РЖД» и национальной экономики.

Логика предлагаемого подхода к инновационному оздоровлению железнодорожного транспорта, таким образом, следующая: формирование, функционирование, развитие и регулирование рынка грузовых железнодорожных перевозок должны базироваться на достижениях экономической науки, изучении противоречий олигопольной формы сегмента транспортного рынка, поддержке их позитивных проявлений и последствий в интересах потребителей.

Кроме того назрела необходимость обеспечения глубины содержания экономической теории транспорта, базирующейся на достижениях экономической науки, ее школ и опыта реализации концепций.

Невостребованными, например, остаются теория производственной функции, теория внешних эффектов, теория рыночных структур и другие.

УДК 656.2 + 06

ПРИМЕНЕНИЕ АУТСОРСИНГА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

О.И. Веревкина, А.С. Кравец
ФГБОУ ВО Ростовский государственный университет путей сообщения

Появление аутсорсинга в России в первую очередь связано с изменением типа экономики, действующей в стране. Появление рыночной экономики в нашей стране взамен

плановой, определило необходимость внедрения инновационных технологий бизнеса для эффективного функционирования бизнес-структур. В России аутсорсинг развит в бухгалтерской сфере, обеспечении безопасности, уборке помещений, услугах переводчиков, рекламе, транспортной сфере и в IT-услугах. Необходимо отметить, что несмотря, на активное внедрение технологии аутсорсинга руководство многих компаний не понимает ее стратегическую значимость и использует аутсорсинг для выполнения одноразовых услуг, что, теоретически аутсорсингом не является, а определяется как однократное выполнение услуг.

Благодаря растущей конкуренции, услуги аутсорсинговых компаний становятся всё более доступными для малого бизнеса. Крупное предприятие может позволить себе и бухгалтерию, и IT-отдел, и рекламщиков, а также штат уборщиков, в то время как малый бизнес нацелен в первую очередь на работу в профильном для себя направлении и не имеет финансов для содержания лишних сотрудников. Российская экономика поддерживает развитие малого бизнеса в стране, что, соответственно, делает услуги аутсорсеров необходимыми и весьма популярными.

В настоящее время в стране происходит постоянное привлечение частных фирм к сотрудничеству с государственными компаниями, упрощается система кредитования малого бизнеса, а потому набирает обороты и развитие российского аутсорсинга. С каждым годом увеличивается число мелких компаний, и каждой из них нужно платить зарплату сотрудникам, обеспечивать безопасность и работу компьютерных систем в офисе, в конце концов, проводить ежедневную уборку помещений. И всем этим могут заниматься как личные, так и сторонние сотрудники, с одной лишь разницей, и она – в уровне профессионализма. Ни один знающий и высококлассный бухгалтер не пойдёт работать на малое предприятие – страна испытывает недостаток в таких специалистах даже на уровне крупных компаний, а ведь они могут предложить работнику гораздо более приемлемые условия труда и заработную плату.

Ключевыми заказчиками услуг аутсорсеров являются крупные организации, состоящие из много численных филиалов по всей территории страны, а также малый бизнес.

Аутсорсинг относится к бизнес-технологиям, которые активно внедряются на железнодорожном транспорте в течении последних пяти лет. С момента позиционирования ОАО «РЖД» в качестве бизнес-структуры появилась необходимость пересмотра технологии работы холдинга с точки зрения эффективности составляющих ее бизнес-процессов, а также формирования системы показателей, которая бы адекватно отражала результаты работы компании, в первую очередь экономические.

Необходимо отметить, что существует ряд негативных факторов внедрения аутсорсинга на предприятии, с которыми пришлось столкнуться и ОАО «РЖД», в частности восприятие сотрудниками компании новой технологии. Можно сказать, что, несмотря на то, что аутсорсинг на железнодорожном транспорте внедряется достаточно давно, он еще не успел в полной мере проникнуть во все сферы деятельности компании, зачастую из-за того, что не всегда возможно отделить в организации процесса перевозки грузов и пассажиров основные и вспомогательные бизнес-процессы.

С момента появления аутсорсинга и внедрения его в работу компаний, разработан комплекс нормативных документов, регламентирующих взаимодействие компании-заказчика и аутсорсера. В частности, в ОАО «РЖД» также разработан свод различных документов, определяющих алгоритмы деятельности компании при внедрении различных направлений аутсорсинга.

Таблица 1 – Перечень основных нормативных документов, регламентирующих внедрение технологии аутсорсинга в ОАО «РЖД»

№п\п	Название нормативного документа
1	Распоряжение от 4 сентября 2013 г. N 1899р «О принятии решения о прекращении

	выполнения отдельных видов работ (операций) с использованием трудовых ресурсов и средств труда ОАО "РЖД"»
2	Технология работы ОАО «РЖД» при оказании услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления перевозками приватных порожних вагонов от 28.12.2010 N 123
3	Технологический процесс взаимодействия ОАО "РЖД" с собственниками подвижного состава при технологическом аутсорсинге от 28.12.2010 N 122
4	Распоряжение от 21 апреля 2009 г. N 829р «О выводе на аутсорсинг работ по алюминотермитной сварке, наплавке концов рельсов и элементов стрелочных переводов» (в ред. распоряжения ОАО "РЖД" от 28.04.2009 N 891р)
5	Распоряжение от 17 февраля 2010 г. N 334р «О передаче на сетевой аутсорсинг работ (услуг) в области защитного лесоразведения, содержания земельных участков полосы отвода и охранных зон, озеленения и благоустройства, борьбы с нежелательной растительностью на эксплуатационных объектах инфраструктуры»
6	Распоряжение от 30 апреля 2013 г. N 1044р «О внесении изменений в классификатор платежей, осуществляемых с банковских счетов филиалов и подразделений ОАО "РЖД"
7	Методика отбора, оценки и ранжирования предложений функциональных филиалов ОАО "РЖД" по сокращению расходов 06.09.2012 г. N 1778р

Рассмотрим некоторые из них более подробно:

1) Распоряжение от 4 сентября 2013 г. N 1899р «О принятии решения о прекращении выполнения отдельных видов работ (операций) с использованием трудовых ресурсов и средств труда ОАО "РЖД"» определяет основные принципы и порядок принятия решения о прекращении выполнения отдельных видов работ (операций) с использованием трудовых ресурсов и средств труда ОАО "РЖД" и выборе эффективного варианта их дальнейшего выполнения для ОАО "РЖД".

Положение применяется в отношении работ (операций), при выполнении которых используются трудовые ресурсы ОАО "РЖД" с годовым фондом оплаты труда не менее 1 млн. рублей.

Обоснование принятия решения об использовании аутсорсинга осуществляется на основе выявления нецелесообразности по экономическим и технологическим причинам дальнейшего выполнения работ (операций) силами ОАО "РЖД", а также анализа возможностей аутсорсера выполнить работы (операции) на соответствующих условиях.

Решения о приобретении работ (операций), ранее выполнявшихся силами ОАО "РЖД", у третьих лиц на основе договора подряда или о создании обособленного от ОАО "РЖД" общества на основе разработки проекта бизнес- плана создания дочернего или зависимого общества ОАО "РЖД" и подготовки документов, необходимых для их создания, принимаются в установленном ОАО "РЖД" порядке.

После заключения с аутсорсером договора на выполнение работ (операций) расходы на оплату услуг по договору включаются в бюджет затрат по элементу "Прочие материальные затраты" и в платежный баланс ОАО "РЖД" с исключением их из соответствующих расходов по остальным элементам затрат.

В случае ненадлежащего выполнения аутсорсером договорных обязательств старший вице-президент, в ведении которого находятся вопросы корпоративного управления и стратегического развития (руководитель филиала ОАО "РЖД"), в установленном договором порядке может принять решение о его досрочном прекращении. Нарушение требований безопасности движения является достаточным основанием для прекращения договорных отношений.

Также в распоряжении представлены:

- методика расчета экономического эффекта от использования аутсорсинга;

- перечень работ (операций), по которым договор с аутсорсером заключается старшим вице-президентом ОАО "РЖД", в ведении которого находятся вопросы корпоративного управления и стратегического развития;

- перечень работ (операций), по которым договор с аутсорсером заключается руководителем филиала ОАО "РЖД";

- состав рабочей группы по рассмотрению предложений о передаче выполнения отдельных видов работ (операций) на аутсорсинг.

2) Технология работы ОАО «РЖД» при оказании услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления перевозками приватных порожних вагонов от 28.12.2010 N 123 определяет подходы к планированию перевозок приватных порожних вагонов и управлению погрузочными ресурсами на сети железных дорог ОАО "РЖД" на основе динамического распределения порожних вагонов к заказам Компании-собственника в условиях передачи Компанией-собственником процессов планирования и оперативного управления перевозками порожних вагонов на аутсорсинг ОАО "РЖД".

Область применения Технологии - оказание ОАО "РЖД" услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления порожними вагонами Компании-собственника, выделенными для этой цели на основе договора между ОАО "РЖД" и Компанией-собственником, в соответствии с порядком и правилами, применимыми для приватных парки вагонов. Полигоном применения Технологии является вся сеть железных дорог ОАО "РЖД".

Целью применения Технологии является:

- отработка перевозчиком (ОАО "РЖД") основных принципов оказания услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления перевозками приватных порожних вагонов;

- анализ изменения корреспонденции и мощностей струй груженых и порожних вагонопотоков на сети дорог ОАО "РЖД" при переводе порожних приватных вагонов на новые принципы управления;

- анализ изменения качественных и экономических показателей использования приватных вагонов при оказании Компании-собственнику услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления перевозками приватных порожних вагонов;

- выявления лимитирующих элементов инфраструктуры общего пользования и уровня их загрузки в условиях, изменяемых корреспонденции вагонопотоков;

- практическое применение принятых НТС ОАО "РЖД" от 16 сентября 2009 г. "Базовых принципов системы управления перевозками в условиях полностью приватных парков грузовых вагонов".

Для работы в рамках данной Технологии ОАО "РЖД" и Компания-собственник вагонов заключают договор на оказание услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления перевозками приватных порожних вагонов.

3) Технологический процесс взаимодействия ОАО "РЖД" с собственниками подвижного состава при технологическом аутсорсинге от 28.12.2010 N 122 разработан с целью расширения состава услуг, предлагаемых ОАО "РЖД" собственникам подвижного состава.

Для организации технологического аутсорсинга ОАО "РЖД" и Собственник заключают договор на оказание услуг технологического аутсорсинга процессов планирования и оперативного управления перевозками приватных порожних вагонов.

Условия передачи Собственником парка приватных вагонов в управление (аутсорсинг) ОАО "РЖД" Собственник отдает парк приватных вагонов в управление (аутсорсинг) ОАО "РЖД", если расчетные показатели доходности перевозок на один вагон прогнозируются на уровне не ниже (не хуже) -относительно установленной (усредненной) для данного парка вагонов, передаваемых для оказания услуг технологического аутсорсинга.

Отметим, что приведен не полный перечень нормативных документов, определяющих отношения между ОАО «РЖД» и компанией, предоставляющей аутсорсинговые услуги. К тому же, зачастую, такие разновидности аутсорсинга, как аутстаффиинг, т.е. привлечение человеческих ресурсов для выполнения определенных функций в компанию-заказчик, почему то аутсорсингом не называют, хотя в пиковые периоды, аутстаффинг применяется весьма часто.

Принимая решение о передаче некоторых функций на аутсорсинг, не стоит полагаться только лишь на опыт западных стран. Самобытность развития нашей страны определяет и отношение к новым технологиям, в том числе адаптации их к российским условиям.

Существуют и негативные особенности внедрения аутсорсинга - может потеряться контроль над выполнением переданных на аутсорсинг процессов. Руководство может потерять связующую нить между управлением и бизнес-практикой. Снижается управленческая гибкость.

Необходимо отметить, что одной из значительных проблем при внедрении новых технологий, в том числе аутсорсинга, является отсутствие четких моделей расчета их экономической эффективности. Универсальный сравнительный анализ затрат и доходности в случае с аутсорсингом не совсем адекватен предлагаемой технологии, также как и расчет отношения собственных затрат к результату. В нашем случае – технология аутсорсинга – является стратегией работы предприятия на долгий период, поэтому кроме финансовой эффективности необходимо учитывать факторы оценки конкурентоспособности компании в будущем, приобретаемые с помощью реализации аутсорсинга на предприятии.

Опасность концентрации технологических процессов в одном месте лишает компанию гибкости в определенных бизнес-процессах. Отсутствие четкой законодательной базы аутсорсинга. Кроме того, многие компании опасаются делегировать бизнес-процессы другим лицам из-за боязни утечки информации или возможного нарушения договорных отношений. Действующее законодательство РФ фактически никак не регламентирует применение таких форм занятости работников как аутсорсинг. Возможность применения работодателем аутсорсинговых схем вытекает из гражданского кодекса РФ, положения, устанавливают, что граждане и юридические лица свободны в заключении договора. Стороны могут заключать договор как предусмотренной, так и не предусмотренной законом или иными правовыми актами, также могут заключать смешанные договора, содержащие элементы форм различных договоров. Таким образом, можно сделать вывод, что в нашей стране, к сожалению, еще не до конца понята сущность аутсорсинга и его стратегическая значимость, а в результате и необходимость создания формы договора аутсорсинга.

В заключении отметим, что использование аутсорсинговых технологий может быть весьма полезно в структурных подразделениях ОАО «РЖД». Тем более стратегия развития компании существует и на ее основе было бы эффективно пересмотреть все бизнес-процессы, в которых использование аутсорсинга могло бы принести финансовый результат. Но, необходимо учесть, что необдуманное применение аутсорсинга в тех процессах, которые должны быть выполнены оперативно, будет существенно снижать их эффективность. Принятие решения об использовании аутсорсинга в бизнес-процессах на железнодорожном транспорте должно быть обдуманным и экономически просчитанным. Анализ возможных перспектив рынков транспортных и аутсорсинговых услуг необходимы при внедрении аутсорсинга.

СЕКЦИЯ 2
МЕХАНИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.45/.46+06

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ю.П. Булавин, И.В. Волков, О.А. Ворон, П.Ю. Коновалов
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»
г. Ростов-на-Дону, Россия

В настоящее время для перевозки к месту постоянной эксплуатации массивного энергетического оборудования используется, в том числе, и железная дорога. Наиболее часто в качестве подвижного состава применяют платформы, груз при этом специальным образом пакуют с помощью металлоконструкций и закрепляют. В конечном итоге упаковка представляет собой ферменную сварную конструкцию, условно называемую контейнером. Основная проблема такого рода перевозок – это соблюдение требований железной дороги по прочности упаковки и надежности закрепления грузов. Масса груза может достигать 25 тонн при массе упаковки около 3 тонн. Производитель оборудования изготавливает контейнеры на своих мощностях и пакует в них элементы конструкции. Исторически сложилось так, что упаковка после доставки груза на место сборки котла уничтожается в процессе извлечения из нее элементов изделия.

Таким образом, одной из важнейших задач, которая стоит перед производителем, является снижения расходов на упаковку путем снижения ее массы при обеспечении прочностных характеристик, удовлетворяющих соответствующим нормам.

Соответственно целью работы является выработка подходов для решения поставленной задачи.

Конструкции контейнеров, как видно из рисунка 1, представляют собой сложные комбинированные системы, состоящие из оснований рамного типа с продольными и поперечными элементами и вертикальных стенок, по геометрической структуре подобных плоским фермам, но отличающихся от них нецентрированным расположением наклонных элементов.

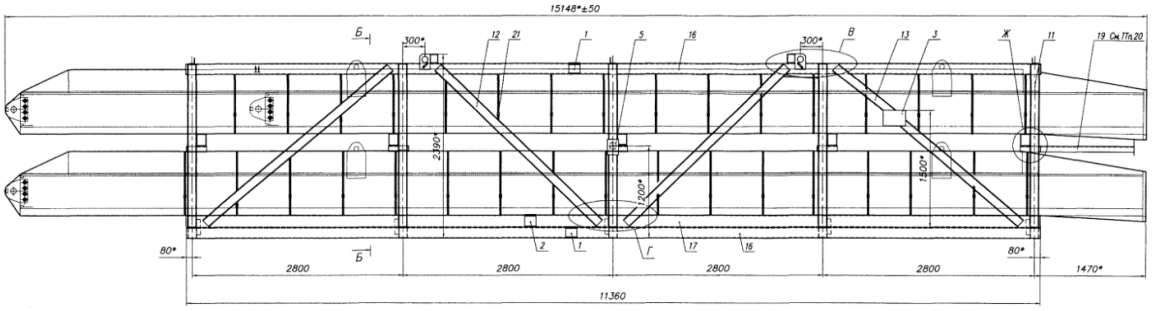


Рис. 1 – Вариант конструкции упаковки с энергооборудованием

К конструкциям контейнеров, предназначенных для перевозки узлов энергооборудования, предъявляются такие же требования, как и к подвижному составу [1, 2], так как в эксплуатационном режиме работы они подвергаются аналогичным нагрузкам.

При размещении и креплении груза учитываются следующие силы и нагрузки [3]:

- продольная инерционная сила, возникающая при движении в процессе разгона и торможения поезда, при соударении вагонов во время маневров и роспуске с сортировочных горок;
- поперечная инерционная сила, возникающая при движении экипажа и при вписывании его в кривые и переходные участки пути [4];
- вертикальная инерционная сила, вызывающаяся ускорением при колебаниях движущегося вагона;
- ветровая нагрузка;
- сила трения.

Точкой приложения инерционных сил является центр тяжести груза.

Точкой приложения ветровой нагрузки принимается геометрический центр наветренной поверхности груза.

Контейнеры закрепляются на платформе двумя способами: проволочными растяжками или клиньями, привариваемыми к рамам контейнера, которые вставляются в лесные скобы платформы. Вариант установки контейнера на платформе показан на рисунке 2.

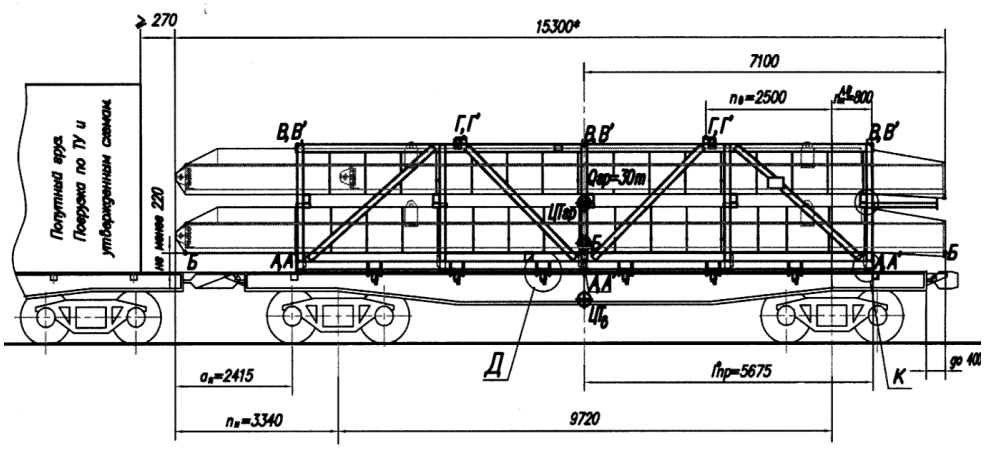


Рис. 2 – Установка контейнера на платформе

Упаковка при погрузке должна обладать достаточной прочностью при строповке согласно рисунку 3.

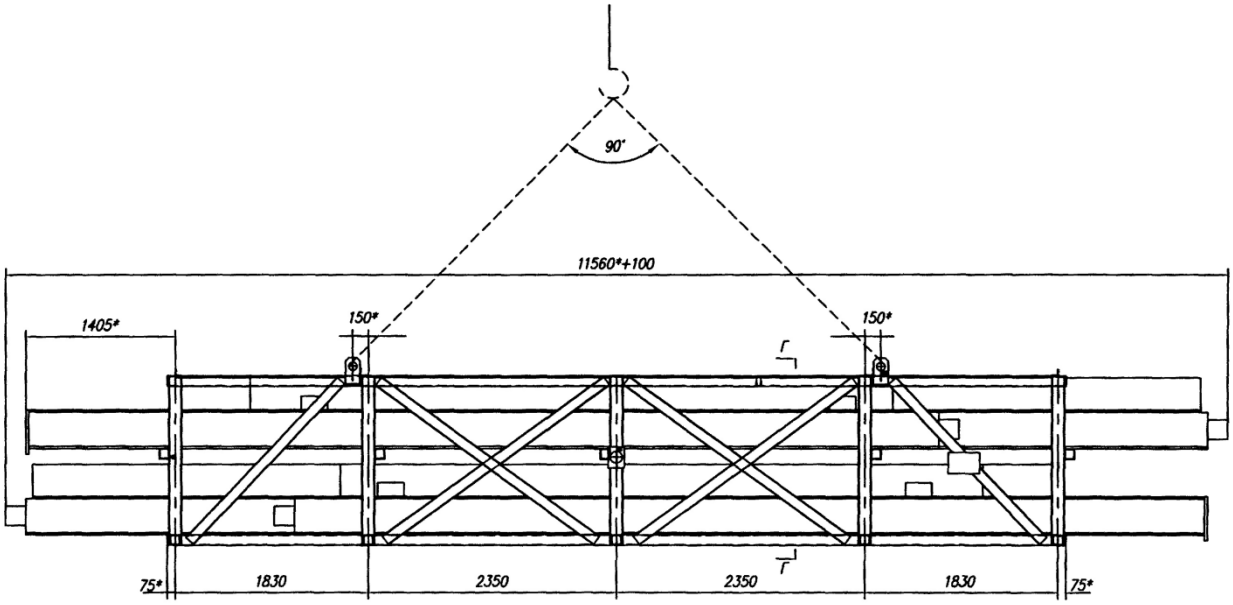


Рис. 3 – Схема строповки

Ввиду разнообразия перевозимых грузов, какой-либо единой универсальной упаковки не существует. В данном исследовании в качестве объекта выбрана наиболее часто используемая конструкция упаковки.

Для оценки возможности снижения массы упаковки расчеты проводились в два этапа. На первом оценено напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции для трехмерной модели полностью соответствующей реальной конструкции. Модель представлена на рисунке 4. Конструкция упаковки представлена на рисунке 1. В данном случае она состоит из швеллеров 12П, 10П, 16П, 14П, сваренных между собой. Вес изделия приложен на уголки. Результаты расчета приведены на рисунке 5.

НДС выполнялся с помощью SolidWorks, который имеет интуитивно понятный интерфейс и возможность построения твердотельных моделей. На этом этапе установлено, что упаковка имеет запас по прочности и допускает снижение массы.

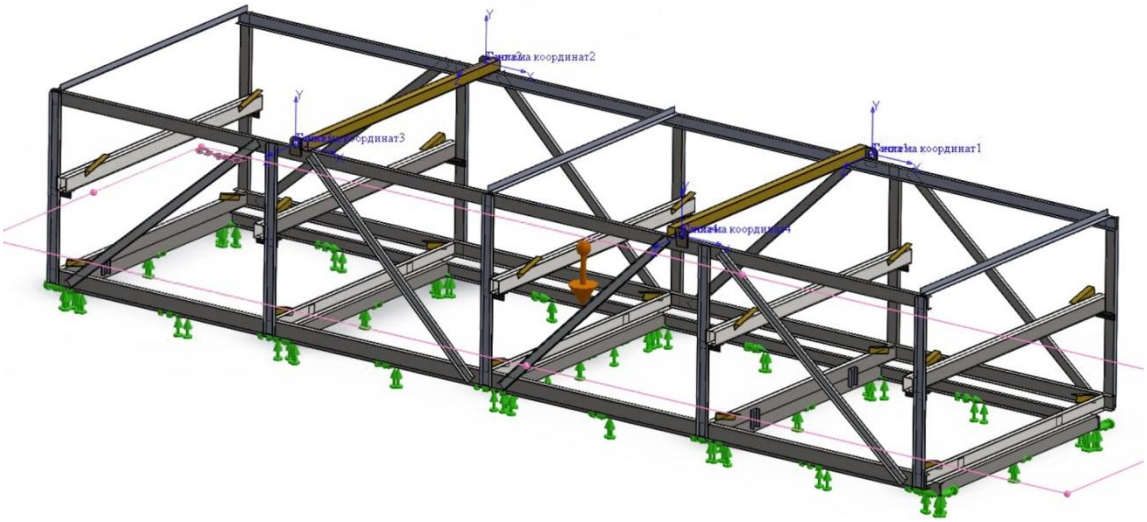


Рис. 4 – Твердотельная модель упаковки, подготовленная к расчету напряжений от веса изделия

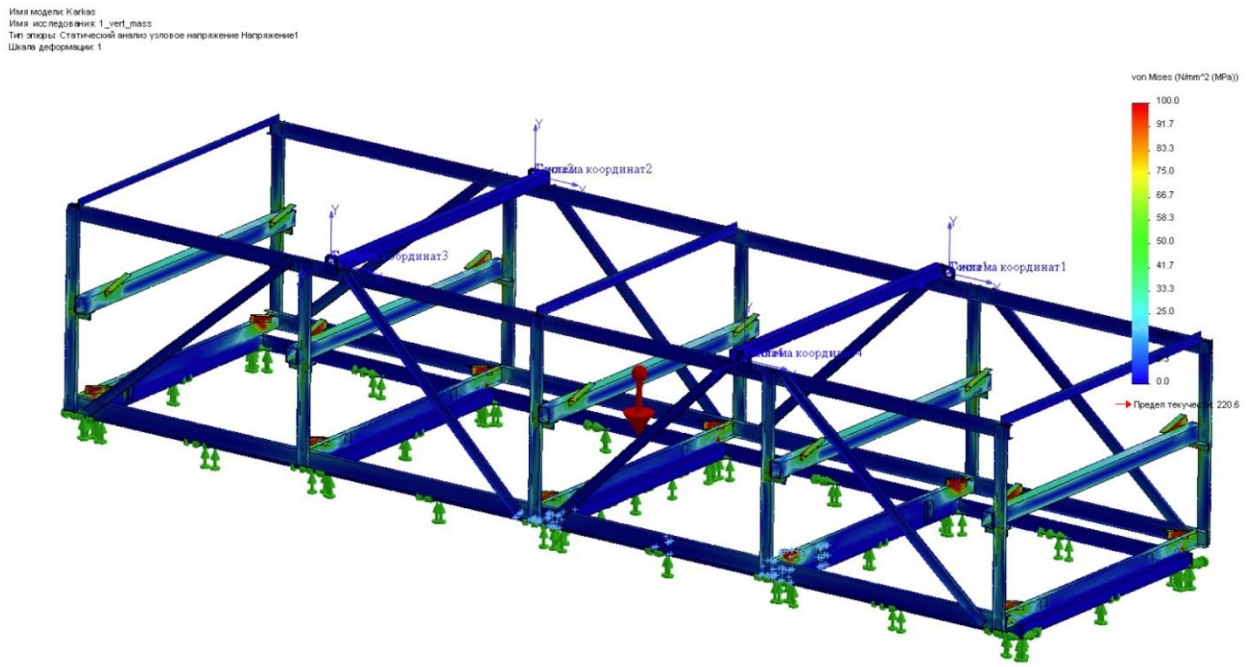


Рис. 5 – Напряжения по Мизесу при действии веса изделия

На следующем этапе был проведен расчет НДС при подъеме изделия краном за специальные проушины. На рисунке 6 показаны векторы сил, а результаты расчета представлены на рисунке 7.

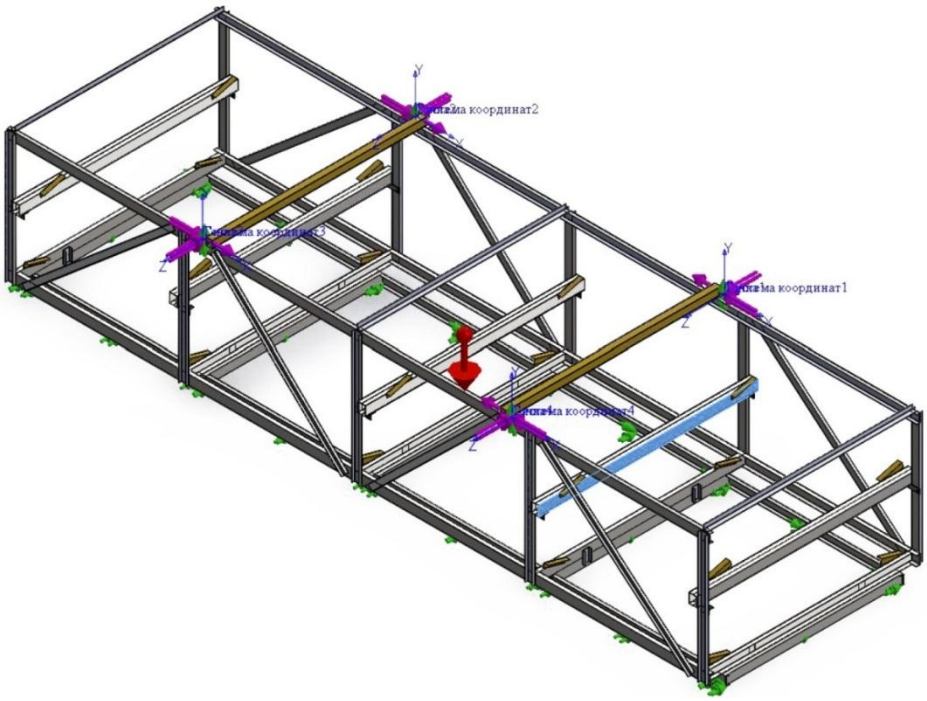


Рис. 6 – Расчетная схема для расчета НДС при подъеме краном

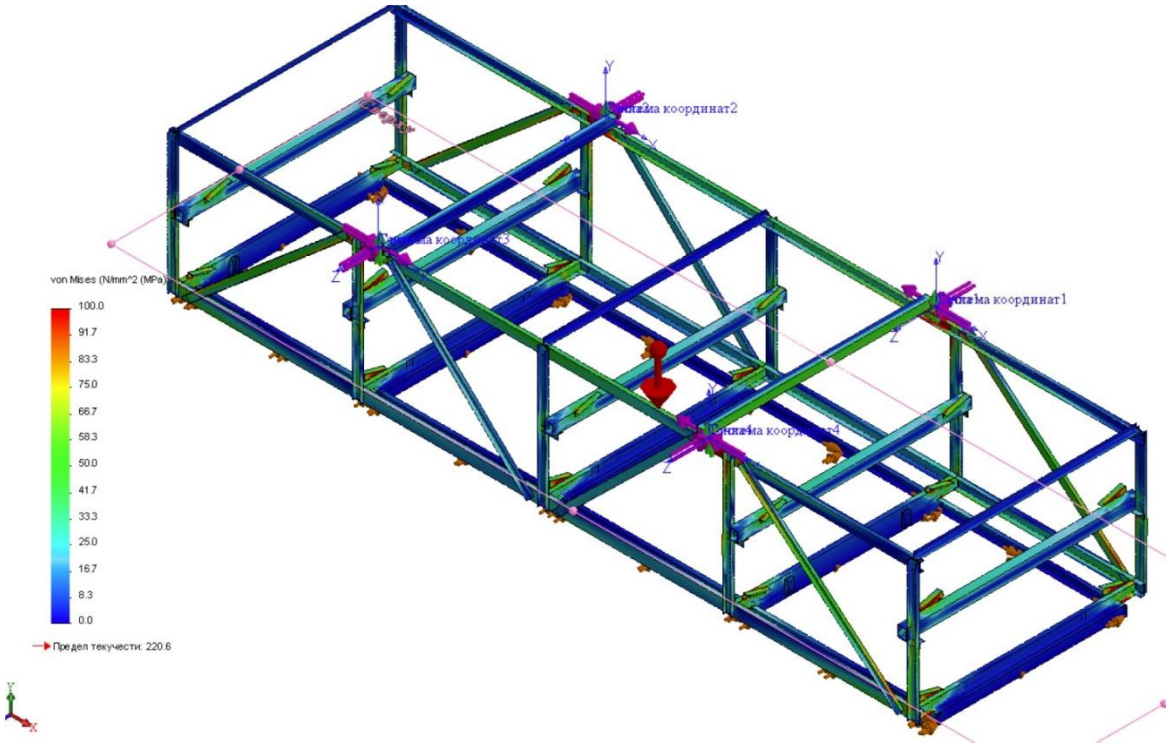


Рис. 7 – Напряжения по Мизесу при подъеме упаковки

На третьем этапе была построена модель на языке программы Ansys, которая позволяет проводить оптимизацию конструкции по различным критериям с указанием целевых балок. Пример реализации модели показан на рисунке 8. Результаты расчета эпюр продольных сил показан на рисунке 9.

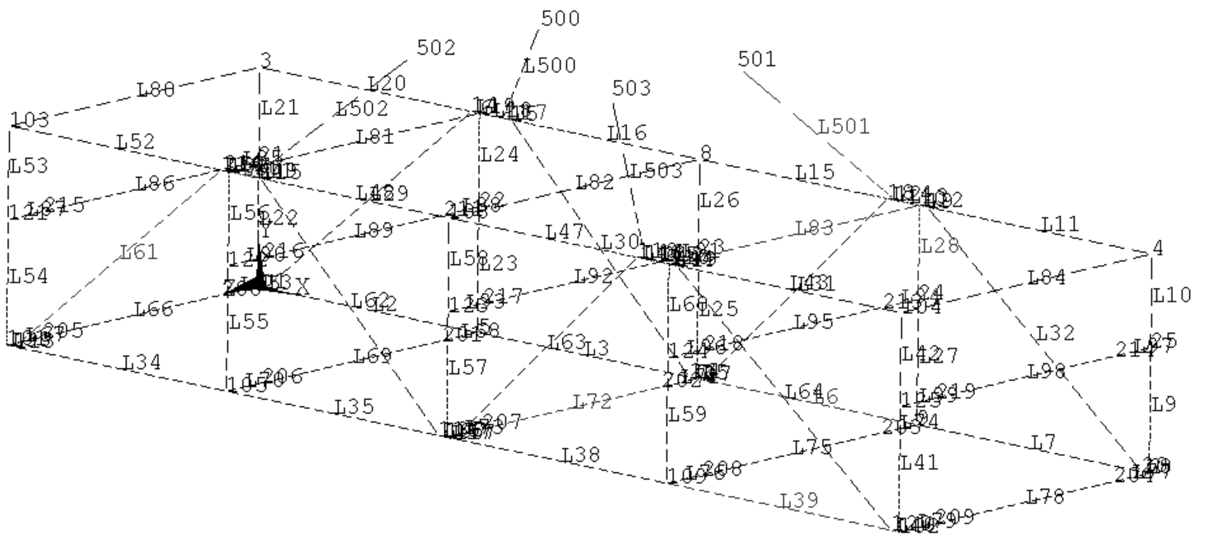


Рис. 8 – Модель в программе Ansys

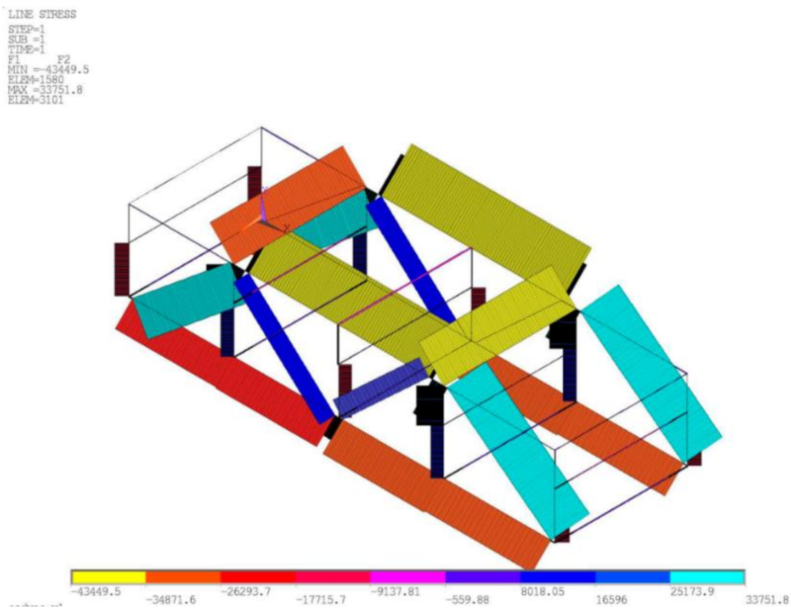


Рис. 9 – Эпюры продольных сил

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Сформирован общий подход к анализу НДС различных конструкций упаковок.

На основе твердотельной модели упаковки для элементов конструкции энергетического оборудования созданы модели в программах SolidWorks и Ansys для проведения расчетов НДС методом конечных элементов.

Установлено, что напряжения в балках редко превышают 60 МПа, что позволяет рассчитывать на возможность уменьшения массы упаковки.

Выявлено, что значительные напряжения в модели возникают в местах сварных соединений, в связи с чем требуется уточнение расчетных подходов в этом компоненте с привлечением экспериментальных данных.

Ввиду того, что изделие закрепляется в упаковке с помощью сварки и, по сути, представляет собой единую с ней конструкцию, это следует учитывать при оптимизации массы металлоконструкции.

УДК 629.423.1 + 06

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ

А.А. Зарифьян мл.
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»
г. Ростов-на-Дону, Россия

Введение

Проблема недоиспользования доступной мощности локомотива при легком профиле пути и небольшой скорости движения, для неполновесных и порожних составов, неоднократно поднималась в связи с грузовыми перевозками [1-4 и др.]. Многие участки железных дорог характерны неравномерностью грузопотоков в четном и нечетном направлениях, особенно в местах зарождения грузов с энергетическим, рудным и т.п. сырьем, а также на подходах к морским экспортным портам.

Отмечалось, что лишь 4-5% продолжительности тягового режима реализуется с мощностью, близкой к номинальной, 70-75% – с нагрузками 0,5…0,8 номинальной, остальное время использование силы тяги и мощности локомотивов не превышает 0,5 номинальных значений. Таким образом, все возрастающая мощность многосекционных локомотивов усиливает проблему ее полной реализации в эксплуатации, а следовательно, и проблему повышения эксплуатационного КПД электрической тяги.

Диапазон изменения КПД в режиме тяги охватывает значения от 0,3 до 0,875. Численные значения КПД функционально зависят от значений касательной силы тяги $F_к$, скорости движения V и мощности P, реализуемой на движущих колесных парах, которая равна произведению силы тяги на скорость. С увеличением силы тяги, скорости и мощности повышается эффективность преобразования энергии. Оптимальным по КПД является использование мощности в диапазоне от 0,6P до P длительного режима работы локомотива.

Было установлено, что одним из способов повышения энергетической эффективности является частичное отключение тяговых тележек (или секций) электровоза в периоды работы с явным недоиспользованием его силы тяги и мощности.

Идея отключения части тяговых двигателей нашла свое воплощение в системе оптимального регулирования мощности локомотива (ОРМЛ) [5]. Посекционное регулирование применялось на электровозах ВЛ80С, работающих по системе многих единиц, и других. Мощность регулировалась за счет оперативного отключения/включения тяговых двигателей по группам. Машинисту во время движения приходилось вручную отключать или подключать группы тяговых двигателей, подбирая мощность локомотива под вес поезда, профиль пути и заданный режим движения, то есть регулирование числа тяговых двигателей было полностью возложено на машиниста. Экономия электрической энергии при этом составляла до 15-20%.

В [6] отмечается, что проблема использования мощности грузовых электровозов при вождении порожних и неполновесных поездов остается нерешенной в течение длительного времени, и при этом средний эксплуатационный КПД электровозов ВЛ80 снижается до 0,6.

Приведенные выше данные указывают на наличие больших неиспользованных резервов экономии электроэнергии на электровозах переменного тока, которые могут быть реализованы повышением коэффициента использования мощности электровозов на тягу и сокращением затрат мощности на собственные нужды.

В настоящей работе представлен анализ эксплуатационных показателей энергетической эффективности новых грузовых электровозов 2ЭС5 «Скиф» с асинхронным тяговым приводом в реальных режимах движения на полигоне Северо-Кавказской ж.д. при питании от сети переменного тока.

1 Грузовой электровоз 2ЭС5 «Скиф»

В настоящее время на путях ОАО «РЖД» работают оснащённые асинхронным тяговым приводом грузовые электровозы 2ЭС5 (рис. 1). Они питаются от сети переменного тока, имеют осевую формулу $2(2_o\text{-}2_o)$, мощность часового режима на валах тяговых двигателей составляет 8800 кВт, продолжительного режима – 8400 кВт.

Рис. 1 – Грузовой электровоз 2ЭС5 «Скиф»

Двухсекционный электровоз 2ЭС5 обеспечивает ведение поезда массой 6000 т со скоростью 45 км/ч на подъеме 10‰, что позволяет ему выполнять работу трехсекционных электровозов 3ЭС5К «Ермак» или же 1,5ВЛ80С. Электровоз имеет систему поосного (индивидуального) регулирования силы тяги, благодаря чему он имеет лучшие тягово-энергетические характеристики, и оборудован бортовым регистратором, который ведет запись более 1000 параметров. Тяговая характеристика электровоза показана на рис. 2.

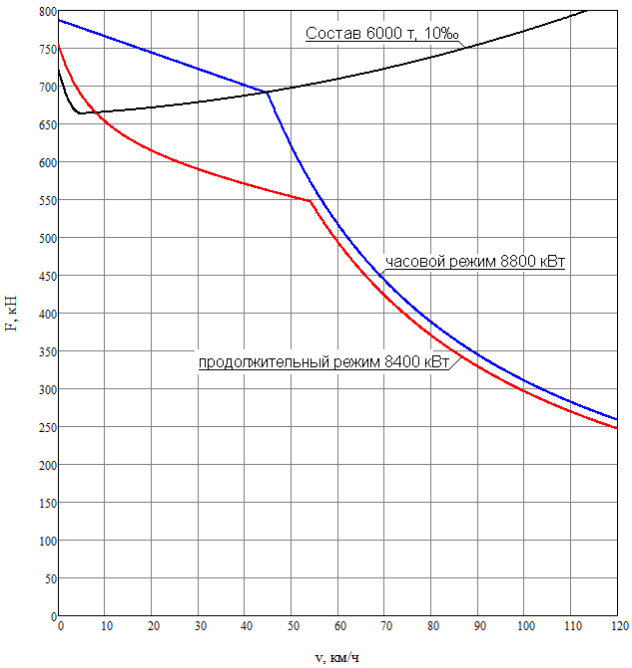


Рис. 2 – Тяговая характеристика электровоза 2ЭС5

Проект электровоза 2ЭС5 разработан ООО «ТРТранс». К настоящему времени Новочеркасский электровозостроительный завод (ПК «НЭВЗ») выпустил 5 машин. За период коммерческой эксплуатации электровозов 2ЭС5 на Северо-Кавказской ж.д. в 2016 г. проводился сбор статистической информации о результатах поездок всех электровозов.

Полученные данные позволили выполнить детальный анализ расхода электроэнергии на тягу, потери и собственные нужды, а также возврат в режиме рекуперации.

Функциональная схема тяговой системы одной секции электровоза показана на рис. 3, как видно, она имеет четыре независимых канала, чем обеспечивается индивидуальное (поосное) регулирование тяговых двигателей: мощность каждого ТЭД может плавно регулироваться от 0 до 100%. Каждый канал имеет в своем составе входной 4qs-преобразователь, звено постоянного тока и автономный инвертор напряжения, выполненные на IGBT-транзисторах.

Энергетическая диаграмма электровоза 2ЭС5 в продолжительном режиме показана на рис. 4. Как видно, в продолжительном режиме обеспечивается значение КПД не менее 0,86.

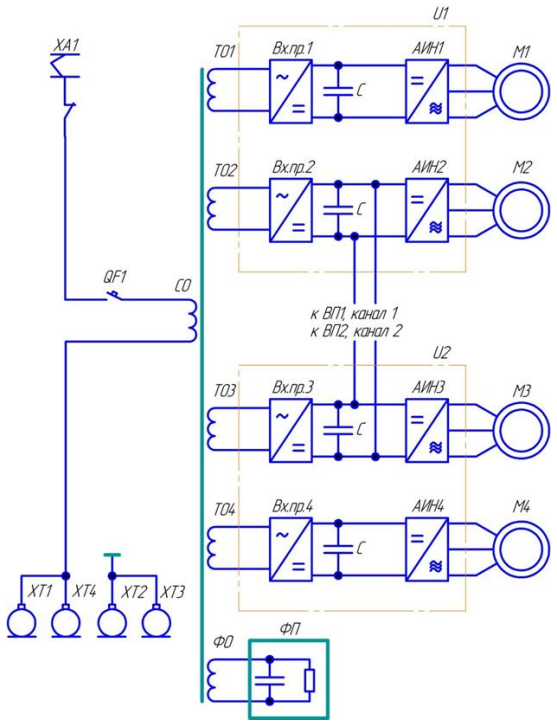


Рис. 3 – Функциональная схема тяговой системы одной секции электровоза

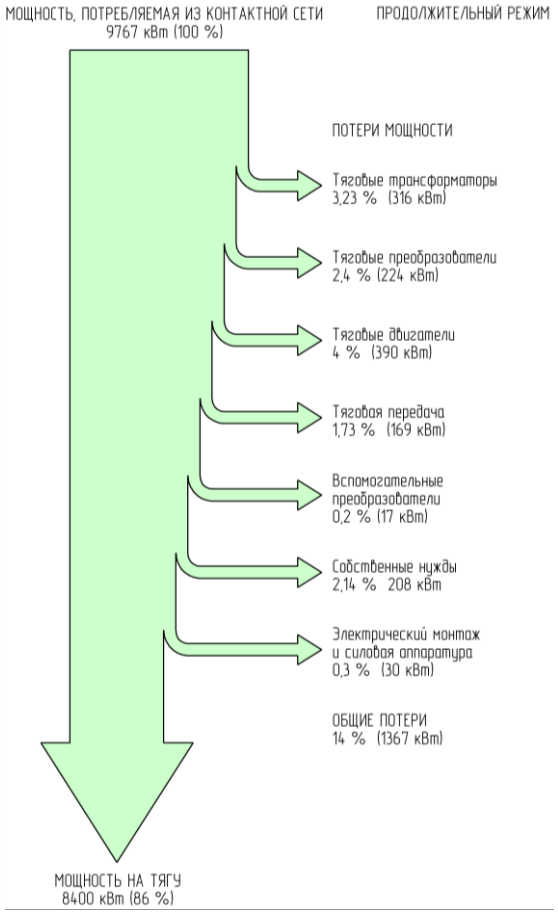


Рис. 4 – Энергетическая диаграмма электровоза

2 Использование мощности электровоза 2ЭС5 при работе с полновесным поездом

Перейдем к рассмотрению результатов, полученных 16.07.2016 при работе электровоза 2ЭС5 с полновесным поездом № 2563/2327, общей массой 5226 т (в том числе 200 т – масса электровоза и 5026 т – масса состава) на перегоне Тимашевская – разъезд 9-й километр – перевал – Новороссийск. Если от Тимашевской до разъезда 9-й километр профиль пути является равнинным, то затем следует подъем на перевал с последующим спуском до станции Новороссийск.

На рис. 8 показаны графики скорости (красная пунктирная линия) и силы тяги (синяя сплошная линия) в функции пройденного пути. С 40-го по 70-й км поезд поднимается на перевал, а затем с него спускается, и электровоз переходит в режим электрического торможения с рекуперацией энергии (сила тяги имеет отрицательные значения, то есть является силой торможения).

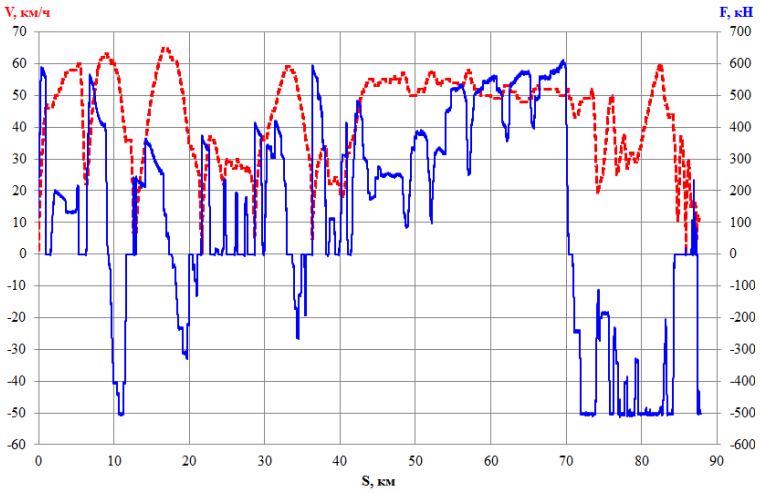


Рис. 8 – Скорость (красная пунктирная линия) и сила тяги (синяя сплошная линия) в функции пройденного пути

Мощность на тягу $P_т$, кВт, представляет собой произведение силы тяги электровоза *F*, кН, на его скорость *V*, выраженную в м/с. На рис. 9 показаны мощность, потребляемая из контактной сети и мощность на тягу. Видно, что в режиме тяги потребляемая мощность больше мощности на тягу, а при электрическом торможении с рекуперацией отдаваемая в контактную сеть мощность меньше (по модулю), чем механическая мощность тормозного усилия в контакте колесо-рельс.

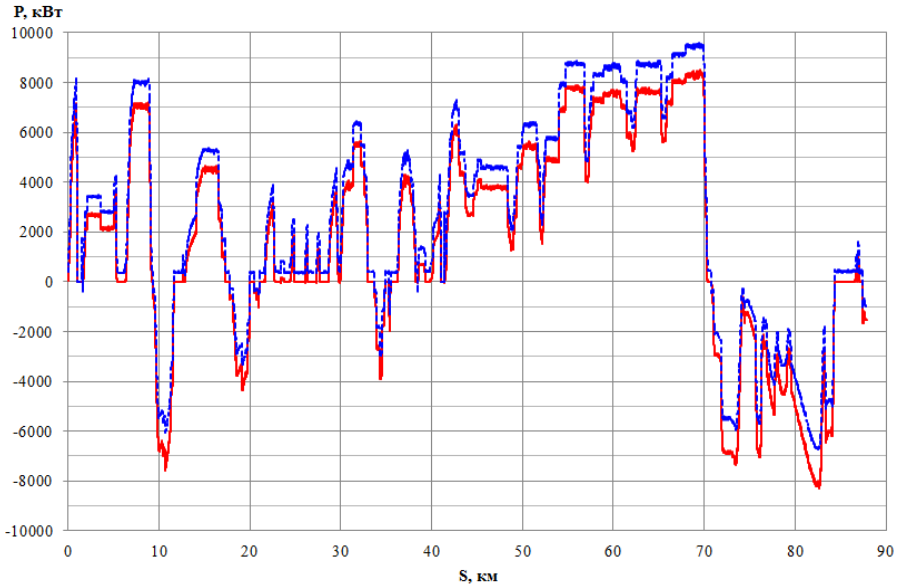


Рис. 9 – Мощность, потребляемая из контактной сети (синяя пунктирная линия) и мощность на тягу (красная сплошная линия)

Опираясь на информацию, приведенную на рис. 9, получаем график изменения КПД электровоза при движении по маршруту Тимашевская – разъезд 9-й километр – перевал – Новороссийск (рис. 10). Обратим внимание на тот факт, что при подъеме с полновесным поездом на перевал, с 50-го по 70-й км, значение КПД электровоза находится в диапазоне 0,85…0,90, то есть оно практически равно своему паспортному значению.

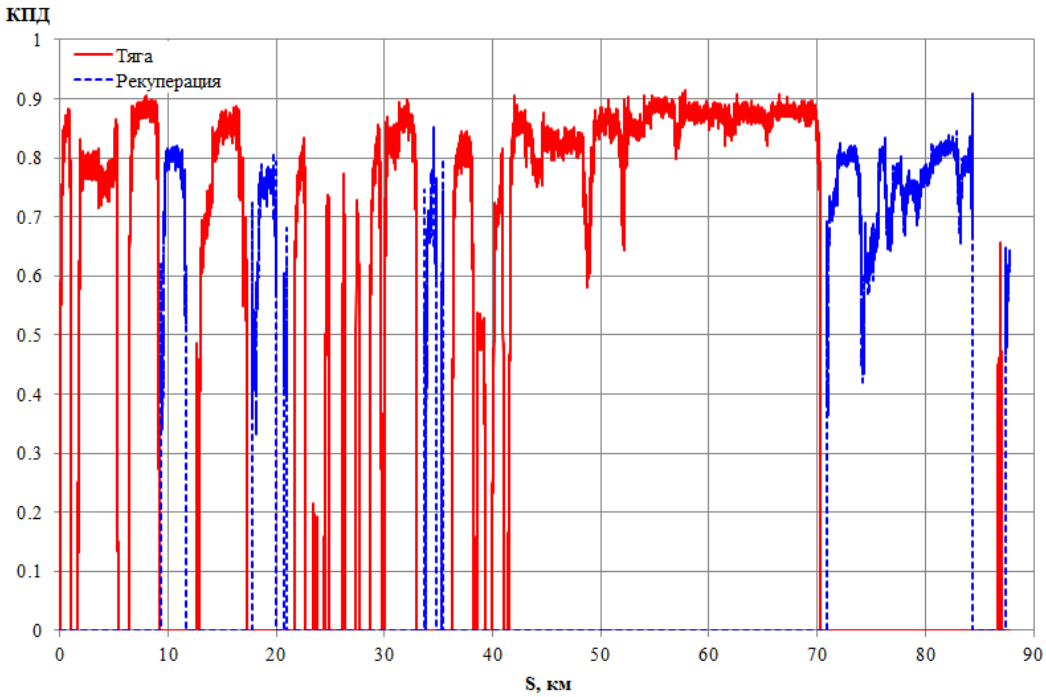


Рис. 10 – КПД электровоза в функции пройденного пути: в режиме тяги – красная линия, в режиме рекуперации – синяя линия

Поскольку электровоз работает в переменных режимах, представим его КПД в зависимости от мгновенной мощности (рис. 11), где по горизонтальной оси отложены мгновенные значения мощности на тягу поезда $P_т$, а по вертикальной – КПД электровоза при работе в режиме тяги η. Здесь показаны результаты, полученные не только для поезда массой 5226 т (красные метки), но также для поездов массой 5790 т (синие) и 2192 т (черные) на равнинном профиле.

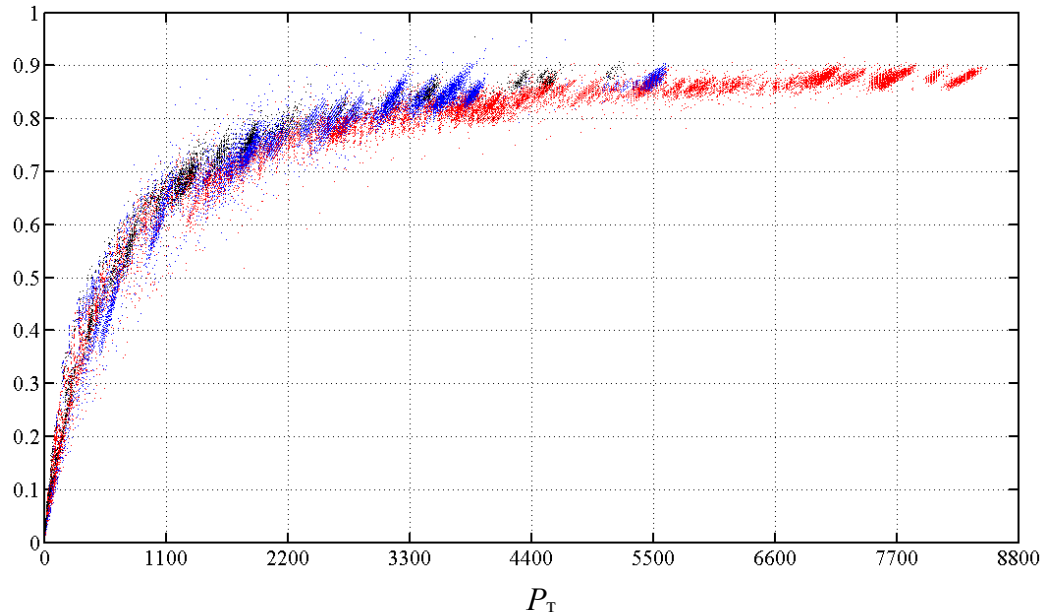


Рис. 11 – КПД электровоза в зависимости от мгновенной мощности

Аналитическая аппроксимация всех показанных на рис. 11 данных имеет вид $\eta = \eta(P_т)$ (применен пакет MatLab Simulink)

$$\eta = \frac{P_т}{aP_т + b}. \quad (1)$$

Коэффициенты a, b равны (с 95% доверительным интервалом):

a = 1,055 (1,054, 1,056);

b = 564,2 (563,1, 565,3).

График аналитической аппроксимации зависимости КПД от мощности вида (1) показан на рис. 12.

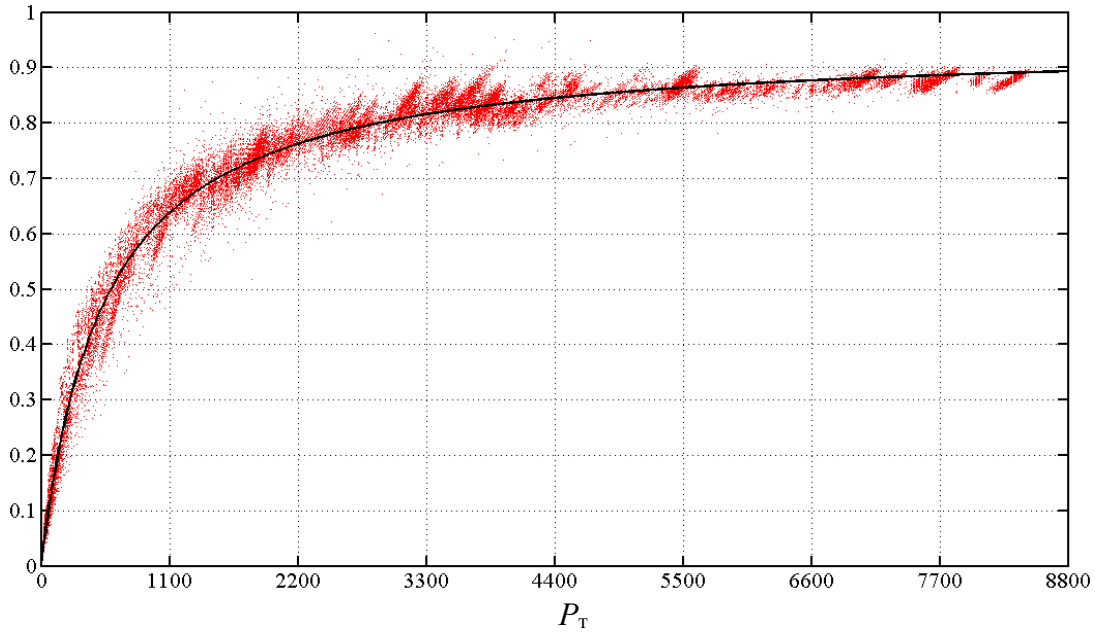


Рис. 12 – Аналитическая аппроксимация зависимости КПД от КИМ

В ряде случаев вместо мощности $P_т$ целесообразно применять коэффициент использования мощности γ (КИМ), равный отношению мгновенной мощности локомотива к его часовой мощности:

$$\gamma = \frac{P_т}{P_{час}}. \quad (2)$$

3 Повышение энергетической эффективности электровоза 2ЭС5

Кривая $\eta = \eta(P_т)$ получена в результате обработки записей бортового регистратора. Здесь учитывается работа преобразователей и двигателей, тепловые и электромагнитные потери, затраты на собственные нужды. Можно сказать, что это результат натурного эксперимента, условия которого определены условиями эксплуатации.

Вид зависимости $\eta = \eta(P_т)$ – или, что то же самое, $\eta = \eta(\gamma)$ – для грузового электровоза 2ЭС5 с асинхронным тяговым приводом, представленный на рис. 12, оказался аналогичен полученному в [7] для пассажирского электровоза ЭП20.

По этой причине, для улучшения эксплуатационных показателей электровоза 2ЭС5 представляется возможным применение алгоритма адаптивного автоматического управления энергетической эффективностью электровоза [7]. Алгоритм обеспечивает стабилизацию мгновенных значений КПД электровоза при работе с частичной нагрузкой на уровне его номинального значения, имеющего место при полной нагрузке. Поскольку тяговый привод электровоза 2ЭС5 является многодвигательным, с возможностью индивидуального

регулирования мощности каждого двигателя вплоть до его отключения, необходимо разработать систему регулирования числа одновременно работающих тяговых осей, реализующую указанный алгоритм. Работа этой системы должна быть построена таким образом, чтобы оставшиеся в тяге оси обеспечивали максимально возможный КПД электровоза, опираясь на диаграмму рис. 12.

Выводы

Выполнен анализ показателей энергетической эффективности грузовых электровозов 2ЭС5 с асинхронным тяговым приводом в реальных условиях эксплуатации. Приведены графики скорости, силы тяги, полной потребленной мощности и мощности на тягу, а также эксплуатационного КПД электровоза, полученные при помощи бортового регистратора. Получена зависимость КПД электровоза от мгновенной мощности. Обоснована возможность применения алгоритма адаптивного автоматического управления энергетической эффективностью электровоза.

УДК 621.810

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРИГИНАЛЬНОЙ МУФТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ КОЗЛОВОГО КРАНА

К.О. Кобзев, Б.Ч. Месхи
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

Современные тенденции развития машиностроения подразумевают получение технических конструкций нового, более высокого качественного уровня, выражающегося в улучшении эксплуатационных параметров, снижении затрат на производство и эксплуатацию производимых машин. Применительно к крановым конструкциям это означает необходимость создания грузоподъемных кранов, имеющих более высокие грузоподъемность, параметры обслуживаемой зоны, производительность, охрану труда, точность позиционирования, безопасность производства работ; а также требующих меньших затрат материалов, энергии, труда на их производство и эксплуатацию.

Изучение и проектирование козловых кранов делится на следующие разделы:

- несущая металлическая конструкция,
- механизм подъема груза,
- механизм передвижения крана и точность позиционирования,
- механизм передвижения грузовой тележки и точность позиционирования,
- несущая металлическая конструкция грузовой тележки,
- проектирование кабины управления козлового крана.

Помимо компоновки механизма передвижения необходимо учитывать возможность применения различных вариантов кинематической схемы привода. Кинематические схемы отличаются:

- во-первых, применением отдельно установленных двигателя и редуктора, соединенных с помощью упругой втулочно-пальцевой муфты, или моторaредуктора;
- во-вторых, способом соединения редуктора (мотор-редуктора) с валом колесной установки: с помощью зубчатой муфты, или посредством посадки вала колесной установки

внутрь полого тихоходного вала редуктора (мотор-редуктора) с передачей крутящего момента с помощью шпоночного или шлицевого соединения.

В последнем случае, как правило, необходимо использовать оригинальную конструкцию колесной установки, поскольку обычно параметры полого тихоходного вала редукторов и мотор-редукторов, а также шпоночной или шлицевой передачи не соответствуют параметрам выходного вала серийно выпускаемых колесных установок. Таким образом, каждая из рассмотренных выше компоновок механизма может сочетаться с 6-ю различными вариантами приводам (Рис. 1):

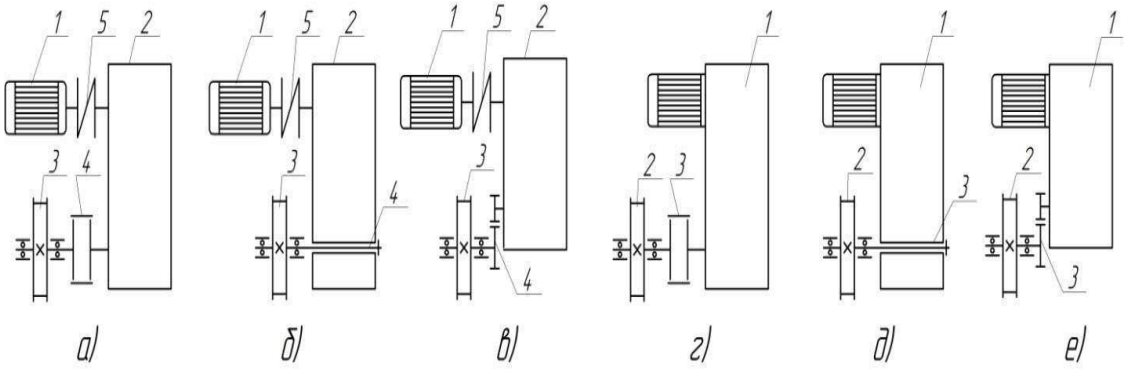


Рис. 1. - Варианты кинематических схем приводов механизмов передвижения

1 вариант – двигатель *1* соединяется с редуктором *2* упругой втулочнопальцевой муфтой *5*, редуктор с валом колесной установки *3* – зубчатой муфтой *4* (Рис. 1 *а*);

2 вариант – двигатель *1* соединяется с редуктором *2* упругой втулочнопальцевой муфтой *5*, редуктор с валом колесной установки *3* – посадкой вала колесной установки внутрь полого тихоходного вала редуктора *4* (Рис. 1 *б*);

3 вариант - двигатель *1* соединяется с редуктором *2* упругой втулочнопальцевой муфтой *5*, редуктор с валом колесной установки *3* – открытой зубчатой передачей *4* (Рис. 1 *в*);

4 вариант – мотор-редуктор *1* соединяется с валом колесной установки *2* с помощью зубчатой муфты *3* (Рис. 1 *г*);

5 вариант - мотор-редуктор *1* соединяется с валом колесной установки *2* посредством посадки вала колесной установки внутрь полого тихоходного вала (Рис. 1 *д*);

6 вариант - мотор-редуктор *1* соединяется с валом колесной установки *2* открытой зубчатой передачей *3* (Рис. 1 *е*).

В каждой из кинематических схем могут быть использованы различные варианты редукторов или мотор-редукторов (цилиндрические вертикальные или горизонтальные, коническо-цилиндрические, червячные и планетарные). Тут необходимо отметить, что далеко не у всех серийно выпускаемых редукторов или мотор-редукторов имеется исполнение с выходным валом в виде полого вала, поэтому варианты №2 и №5 могут быть применены не для всех серийно выпускаемых редукторов и мотор-редукторов.

Принципиальным отличием рассматриваемой предохранительной муфты является изменяемая в процессе работы величина коэффициента усиления в зависимости от текущего значения коэффициента трения и передаваемой нагрузки. При этом происходит автоматическое изменение величины угла давления тел качения управляющего устройства в результате взаимного перемещения элементов управляющего устройства.

Конструкция муфты приведена на рис.2, где

1) Входной вал

2) Полумуфта входного вала
3) Прижимная шайба
4) Диск с внутренним зацеплением
5) Диск с внешним зацеплением
6) Фрикцион
7) Барабан
8) Шарик предохранительного механизма
9) Обойма предохранительного механизма
10) Прижимная обойма
11) Игольчатый подшипник
12) первая пружина предохранительного механизма
13) вторая пружина предохранительного механизма
14) Прижимная пружина
15) Прижимная шайба
16) Регулировочная гайка
17) Контргайка
18) Шарик упорный

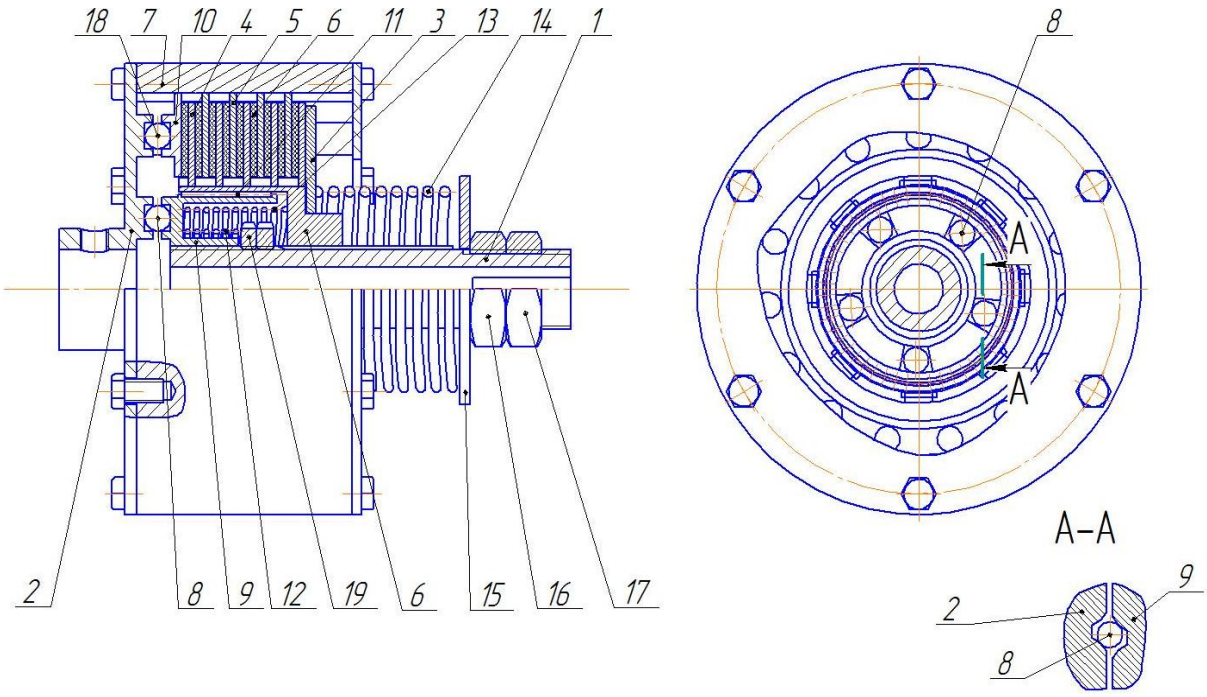


Рис.2. - Конструктивная схема муфты

При передачи вращающего момента свободно установленный нажимной диск 3 поворачивается под действием момента сопротивления со стороны дисков 4 и 5, что происходит при моменте, значительно меньшем предельного значения. Также начинает передавать крутящий момент барабан 7 и в результате трения муфты распорная сила управляющего устройства будет передаваться на нажимной диск посредством осевой деформации пружины 13. Часть распорной силы управляющего устройства будет замыкаться на ступицу полумуфты посредством осевой деформации пружины 12. Поскольку значение коэффициента усиления должно увеличиваться нелинейно при увеличении коэффициента трения, боковые стенки гнезд под тела качения 8 управляющего устройства очерчены образующими в виде кривых линий, выпуклых по отношению к телам качения[1-3].

В связи с этим, методика расчета и проектирования предохранительной муфты должна предусматривать:

– расчет и проектирование управляющего устройства в целом и его отдельных элементов;

– расчет и проектирование основной и дополнительной фрикционных групп;

– расчет и проектирование нажимного узла.

Основой расчета управляющего устройства является проектирование профиля боковых стенок гнезд на базе полученного в работе уравнения кривой, очерчивающей профиль. Поскольку в уравнение входят значения осевых жесткостей пружин 12 и 13, необходимо согласовать их с диаметром тел качения 8, т. к. эти параметры определяют максимальное осевое перемещение опорной втулки 9. При этом должен учитываться вывод о влиянии на практическую точность позиционирования предохранительной муфты значений осевых жесткостей пружин 12 и 13 [3].

Минимальный угол давления α_{min} должен быть согласован с начальной силой натяжения пружины 12, номинальным вращающим моментом предохранительной муфты и с величиной угла трения в подвижном соединении «нажимной диск 7 – направляющая шпонка 11» (для предотвращения заклинивания соединения) и иметь ограничение снизу.

Максимальный угол давления α_{max} должен иметь ограничение сверху, что обусловлено:

– необходимостью выполнения условия возврата опорной втулки 9 под действием усилий пружин 12 и 13 в исходное положение после снятия приложенной к муфте внешней нагрузки;

– необходимостью выполнения условия не превышения максимального значения коэффициента усиления его предельной величины.

Диаметр тела качения 8 выбирается по условию контактной прочности, с учетом передаваемой им локальной нагрузки.

Размеры гнезда под тело качения 8 должны строго соответствовать диаметру тела качения, как по глубине, так и по минимальному поперечному сечению.

При расчете и проектировании основной и дополнительной фрикционных групп необходимо:

– учитывать требования к радиальным и осевым габаритам предохранительной муфты, задаваемые в качестве исходных данных;

– использовать математическую модель предохранительной муфты для расчета числа пар трения основной и дополнительной фрикционных групп, с учетом номинальной нагрузки, передаваемой муфтой. Число пар трения дополнительной фрикционной группы, превышающее единицу, принимать только в том случае, когда при ограниченных осевых и радиальных габаритах предохранительной муфты необходима передача повышенной номинальной нагрузки;

– при выборе числа пар трения основной и дополнительной фрикционных групп необходимо учитывать данные расчета уравнения образующей боковой стенки гнезда управляющего устройства;

– обоснованно выбирать сочетание материалов пар трения фрикционных узлов предохранительной муфты, учитывая при этом необходимость обеспечения ее высокой нагрузочной способности при сохранении особо высокой точности срабатывания, а также высокой степени достоверности об их физико-механических характеристиках.

При расчете и проектировании нажимного узла необходимо:

– учитывать в конструкции нажимного узла возможность настройки предохранительной муфты на необходимый номинальный вращающий момент с обеспечением точности регулирования силы натяжения пружины 14 в пределах ±3 %;

– учитывать схему и соотношение усилий упругих элементов управляющего устройства и нажимного узла при расчете необходимого усилия натяжения пружины 14 для настройки предохранительной муфты на необходимый номинальный вращающий момент.

Таким образом, при оптимальном проектировании механизмов передвижения следует рассматривать все возможные сочетания компоновок механизма и вариантов кинематической схемы привода и муфты, при этом некоторые из сочетаний могут оказаться несуществующими, если не удастся подобрать элементы привода таким образом, чтобы выполнялись все накладываемые условия.

УДК 629.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШКВОРНЕВОГО УЗЛА РАМЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЛУВАГОНА

В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, Д.Ю. Расин, С.Г. Шорохов
Брянский государственный технический университет

Методами математического моделирования проведено исследование прочности и усталостной долговечности сварной несущей конструкции кузова полувагона. Установлены причины возникновения трещиноподобных дефектов в шкворневом узле вагона. Предложены варианты совершенствования несущей конструкции шкворневых узлов вновь производимых полувагонов и ремонта вагонов с обнаруженными дефектами. Для доработанного варианта конструктивного исполнения шкворневого узла полувагона выполнен комплекс расчетов, подтверждающих его работоспособность.

В процессе эксплуатации универсальных полувагонов модели 12-9085 в шкворневой зоне рамы были обнаружены усталостные повреждения в виде трещин в листах шкворневой коробки. В связи с этим появилась необходимость установления причин возникновения повреждений, разработки конструкторско-технологических мероприятий по ремонту и усилению шкворневых узлов вагонов с обнаруженными дефектами и создания усовершенствованной конструкции, обеспечивающей прочность и усталостную долговечность шкворневого узла.

Проведенный анализ современных подходов к исследованию прочности и усталостной долговечности несущих конструкций грузовых вагонов показал, что наиболее рациональным с точки зрения трудоемкости, материальных затрат, времени проведения исследования, а также обеспечения точности и достоверности получаемых результатов является компьютерное моделирование с подтверждением адекватности их данными натурных экспериментов [1, 2].

На первом этапе исследования оценка динамической нагруженности несущей конструкции кузова полувагона в эксплуатации выполнена методами твердотельного компьютерного моделирования. В качестве инструмента для исследования принят программный комплекс моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» [3]. При моделировании рассматривалось движение груженого и порожнего полувагона по реальным неровностям пути в диапазоне скоростей от 20 до 120 км/ч с шагом 20 км/ч. Рассмотрено движение вагона по прямым участкам пути, кривым с радиусами 350 – 1200 м и стрелочным переводам Р65 марки 1/11. Также рассматривались маневровые соударения вагона с подпором массой 300 т со скоростями до 14 км/ч. По результатам моделирования определялись динамические усилия, действующие на несущую конструкцию кузова полувагона.

Исследование прочности несущей конструкции кузова выполнено методом конечных элементов в статической и динамической постановке на основе разработанных детализированных динамических упруго-диссипативных конечно-элементных моделей кузова полувагона. Расчеты в статической постановке проводились от действия нагрузок, рекомендованных нормативной документацией на проектирование вагонов. В динамической постановке расчеты проводились от действия спектров динамических усилий, полученных

при моделировании динамики движения полувагона. Расчеты выполнены с использованием современного промышленного программного комплекса, реализующего метод конечных элементов, Siemens PLM Software Femap [4].

Уточнение напряженно-деформированного состояния несущей конструкции полувагона в зоне шкворневого узла проведено с использованием метода последовательного выделения областей и детализированной конечно-элементной модели шкворневой зоны рамы вагона.

Верификация разработанных математических и компьютерных моделей проведена на основе результатов статических и динамических ходовых испытаний.

Анализ усталостной долговечности выполнен в рамках модели многоцикловой усталости с использованием линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений при неустановившихся режимах нагружения. В качестве исходных данных при исследовании усталостной долговечности использованы результаты оценки динамической нагруженности шкворневой зоны в динамической постановке, полученные с использованием детализированной конечно-элементной модели.

Оценка динамической нагруженности полувагона проводится на основе разработанной динамическая твердотельная модель полувагона представляет собой кузов в виде абсолютно твердого тела с реальными геометрическими и инерциальными характеристиками, связанного контактными элементами и вращательными шарнирами с подсистемами «тележка», и специальными шарнирами с подсистемой «автосцепное оборудование» [5]. При анализе динамических характеристик вагона рассматривались варианты порожнего и груженного кузова вагона. Груз в модели представлен абсолютно твердым параллелепипедом, расположенный на полу вагона. Связь груза с кузовом моделировался с использованием обобщенного шарнира, исключающего перемещение груза относительно кузова в любом направлении.

В результате моделирования были получены спектры динамических нагрузок, возникающих вследствие взаимодействия несущей конструкции кузова с элементами ходовых частей и автосцепного оборудования.

Адекватность полученных при моделировании результатов подтверждена их удовлетворительным соответствием данным натурных ходовых испытаний и испытаний на соударения, проведенных при сертификации вагона.

Анализа напряженно-деформированного состояния несущей конструкции кузова полувагона выполнена на основе конечно-элементной модели, представляющей собой пространственную пластинчатую расчетную систему, образованную трех- и четырехузловыми изотропными пластинчатыми элементами со средним размером 30×30 мм. Моделирование толстостенных литых элементов кузова вагона (пятник, передний упор, объединенный с розеткой автосцепки, и задний упор) осуществлялось 52 тыс. четырех-, пяти- и шестигранных пространственных объемных элементов. Конечные элементы схемы объединены в 189 тыс. узлах, число степеней свободы конечно-элементной модели составило 1 млн. 134 тыс.

Для уточнения напряженно-деформированного состояния в зоне шкворневого узла вагона из пластинчатой конечно-элементной модели кузова вагона был выделен фрагмент рамы, включающий в себя пятниковый узел, для которого разработана детализированная упруго-диссипативная конечно-элементная модель, сформированная из 131 тыс. четырех-, шести- и восьмиузловых объемных элементов, объединенных в 53 тыс. узлах. Степень детализации конечно-элементной расчетной схемы позволила моделировать геометрию сварных швов. К узлам модели на границе выделенной области прикладывались динамические нагрузки, полученные из пластинчатой конечно-элементной модели кузова в целом.

В результате анализа напряженно-деформированного состояния несущей конструкции кузова вагона в целом и шкворневой зоны в динамической постановке были получены осцилограммы изменения напряжений во времени для всех рассмотренных режимов эксплуатации полувагона.

В качестве примера на рис. 1 представлены осцилограммы изменения напряжений в шкворневой зоне при движении груженого полувагона по прямому участку пути и в кривой со скоростью 80 км/ч.

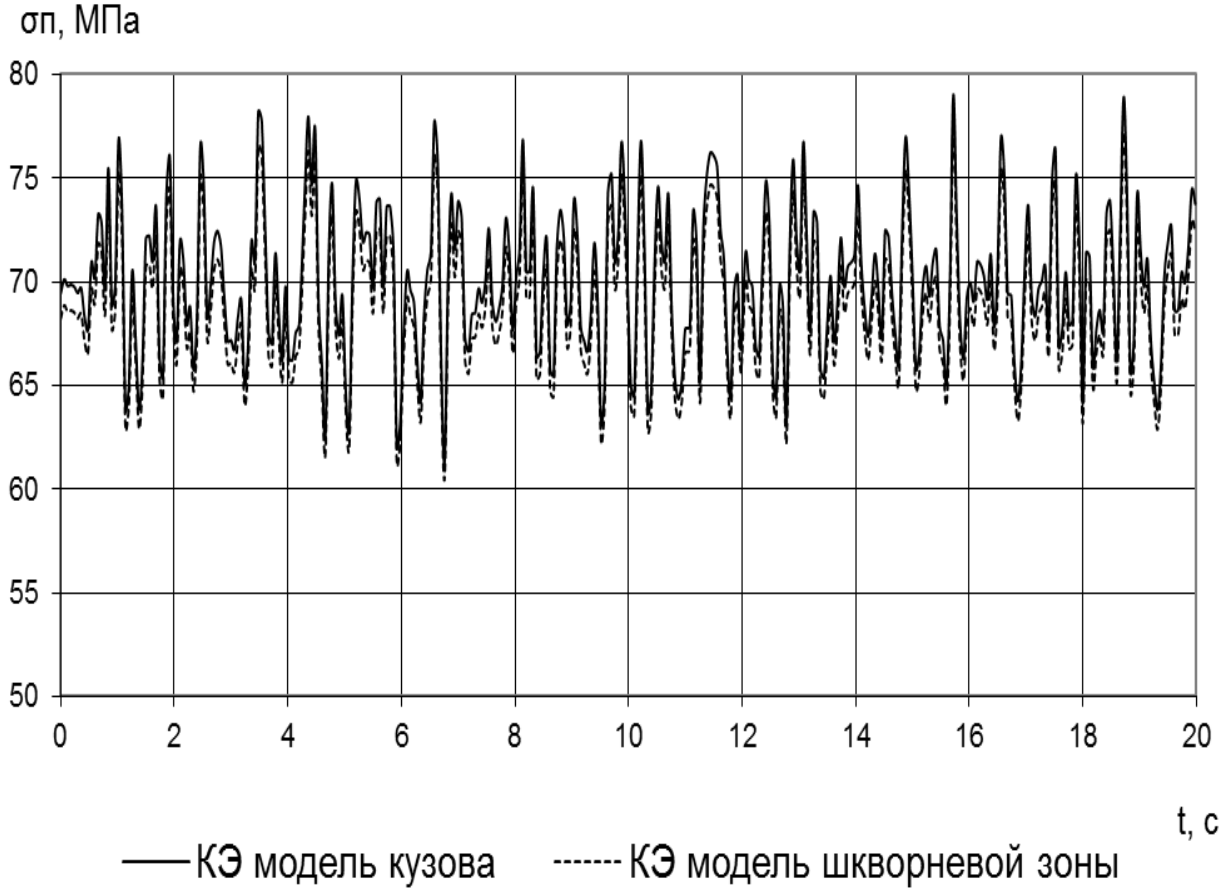


Рис. 1. - Осцилограммы изменения напряжений при движении груженого полувагона со скоростью 80 км/ч по прямому участку пути

Оценка усталостной долговечности несущих конструкций шкворневой зоны выполнялась на основе скорректированной линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений, степенной аппроксимации кривой усталости материалов и схематизации действующих на конструкцию динамических напряжений методом полных циклов. В рамках методики история нагружения представлялась в виде ступенчатой функции. Полученный в результате расчетов срок службы элементов шкворневого узла составил от 4,2 года до 8,6 лет, что согласуется со сроками эксплуатации полувагонов до обнаружения трещиноподобных повреждений.

Детальный анализ динамического напряженно-деформированного состояния несущей конструкции шкворневого узла показал, что низкий уровень усталостной долговечности шкворневого узла вагона объясняется сочетанием в нем нескольких негативных факторов: изгибных волнообразных деформаций стенок зетовых профилей хребтовой балки зоны надпятника в следствие ее недостаточной изгибной жесткости, а также высокого уровня концентрации напряжений, вызванного сосредоточением пересекающихся сварных швов.

Для устранения приведенных негативных факторов предложен вариант доработки узла, направленный на:

- исключение искривления силовых потоков, воспринимаемых и передаваемых шкворневой балкой, обусловленных расположением в разных плоскостях ребер шкворневых балок и поперечных диафрагм надпятников;

- исключение или существенное уменьшение изгибных волнообразных деформаций стенок зетовых профилей хребтовой балки, являющихся следствием горизонтального изгиба шкворневых балок при действии на вагон продольных нагрузок;

- исключение пересекающихся сварных швов в верхних углах профилей хребтовой балки (зоны соединений ребер шкворневых балок и соединительных планок с профилями хребтовой балки);

- исключение или уменьшение доли сварных швов, располагаемых в одном поперечном сечении хребтовой балки.

При разработке конструктивных решений также была поставлена задача – минимизировать объемы вносимых в конструкцию изменений и трудоемкости изготовления узла.

С учетом изложенных выше требований предложены три варианта модернизации шкворневого узла (рис. 2).

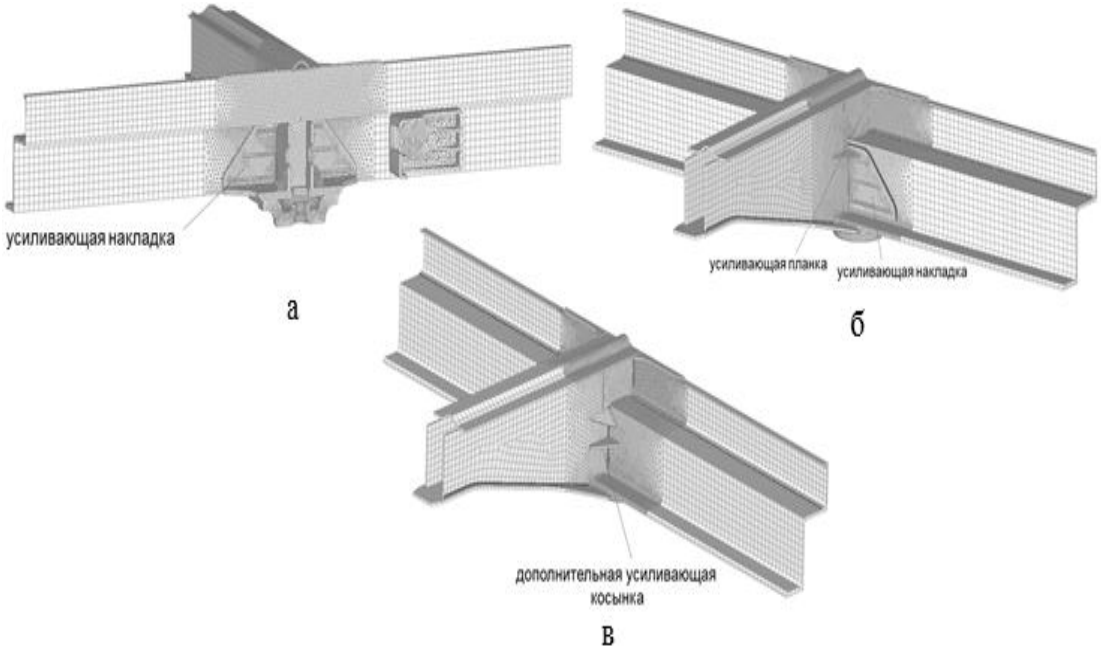


Рис. 2. - Детализированные конечно-элементные модели модернизированных конструктивных исполнений шкворневого узла: a – вариант 1; b – вариант 2; c – вариант 3

Для каждого из вариантов модернизации разработаны соответствующие детализированные конечно-элементные модели шкворневой зоны, на основе которых проведен анализ прочности и усталостной долговечности. По анализу результатов расчетов и учету технологичности изготовления пятникового узла в качестве наиболее рационального рекомендован вариант модернизаций, представленный на рис. 2 с.

Для рекомендуемого варианта по методикам, описанным выше, проведен комплекс расчетов, подтверждающих его работоспособность и эффективность. В частности, модернизация шкворневого узла по предлагаемому варианту позволила снизить максимальные действующие напряжения в шкворневом узле на 27% и увеличить срок службы элементов сварного соединения до 29 лет.

УДК 629.423 + 06

АНАЛИЗ РАСХОДА СИСТЕМ ПЕСКОПОДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ

И.В. Волков, Ю.П. Булавин, П.Ю. Коновалов
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Современные тенденции развития железнодорожного транспорта направлены на повышения весовых норм в грузовом движении и скорости в пассажирских перевозках. Указанные направления предъявляют более высокие требования к безопасности перевозочного процесса, что влечет за собой, как следствие, повышение надежности тягового подвижного состава с увеличением тяговых свойств грузовых и конструкционной скорости пассажирских локомотивов. В связи с чем внедряются новые и проводится модернизация эксплуатируемых тяговых единиц. Для реализации высокой эффективности подвижного состава в современных условиях эксплуатации особое внимание уделяется сцепным и тормозным свойствам тяговых единиц. Разрабатываются усовершенствованные системы контроля величины относительного проскальзывания движущих колес, однако наиболее распространенным способом стабилизации величины сцепления является подача частиц кварцевого песка в струе сжатого воздуха в зону контакта колес с рельсами.

Основным преимуществом пневматической системы пескоподачи на эксплуатируемых локомотивах является простота конструкции и возможность подавать песок под колеса дистанционно, как в автоматическом режиме при срабатывании систем защиты от боксования и юза, так и вручную из кабины машиниста. Однако несмотря на положительные качества существующие системы подачи песка имеют ряд недостатков:

– В эксплуатации наблюдается частичное засорение или полное закупоривание пневматических элементов частицами кварцевого песка в корпусе форсунки песочницы или воздуховоде подсыпного рукава. Данные неисправности проявляются при взаимодействии песка с влагой из окружающей среды, особенно в холодное время года при низких температурах, когда происходит смерзание образовавшейся песчаной пробки.

– Песок из системы пескоподачи локомотивов оказывает негативное влияние на окружающую среду и на элементы верхнего строения железнодорожного пути. Интенсивная непрерывная подача в местах наиболее частого использования песка для увеличения сцепных свойств локомотива на лимитирующем подъеме приводит к «запесочиванию» и засорению балластной призмы. На кривых участках пути рекомендуется ограничить применение песка, т.к. он приводит к затруднению вписывания тележек состава за счет увеличения коэффициента трения и уменьшения поперечного крипа, а на стрелочных переводах вообще запрещено, т.к. попадание песка в подвижные элементы конструкции пересечения рельсовых путей приводит к выходу их из строя.

– Кварцевый песок на поверхности катания головки рельса приводит к увеличению сопротивления движения поезда, а его избыточное количество к интенсивному изнашиванию материала трущихся поверхностей. Известны случаи самопроизвольного разрегулирования в процессе эксплуатации пескоподающей системы и безконтрольной подачи избыточного количества песка в зону контакта колес с рельсами, в разы превышающей нормативную.

– Сезонная регулировка количества песка, подаваемого под колеса без возможности регулирования его расхода в реальном времени с учетом фактических условий полигона эксплуатации (температура и влажность воздуха, наличие осадков в виде дождя или снега, наличие на поверхности рельса наледи или масляных загрязнений, скорости движения поезда, уклона профиля пути и радиуса кривых участков и т.д.). Регулировка расхода проводится в деповских условиях за счет положения регулировочного болта в корпусе

форсунки песочницы. Из опыта эксплуатации известно, что на электровозах количество подаваемого песка имеет среднее значение в теплое время года 400-700 г/мин и в зимний период – от 900 г/мин до 1,5 кг/мин, на тепловозах данная величина несколько выше в среднем от 2 до 5 кг/мин и на некоторых сериях достигает до 10 кг/мин под первую колесную пару по ходу движения [1].

У серийных локомотивов передняя колесная пара всегда находится в наихудших условиях по реализации величины сцепления. Это связано с перераспределением динамических нагрузок между осями движущих колес при разгоне и трогани с места. Известно, что у подвижного состава со шкворневой системой передачи тягового усилия с рамы тележки на раму кузова передние колесные пары тележек и секций всегда разгружены, а задние – догружены. Первая по ходу движения колесная пара всегда проходит по более влажным или загрязненным рельсам. В процессе применения системы пескоподачи, если работают все форсунки расположенные по направлению движения электровоза, то у каждой следующей по ходу тележки слой песка под колесными парами будет больше. А длина участков рельсов, не посыпанных песком, у каждой следующей тележки будет короче [2].

На эффективность применения песка оказывает влияние характер загрязнения и увлажнения рельсов. Из опыта эксплуатации магистральных железных дорог и результатов исследований различных авторов известно, что на дорожке катания головки рельса всегда находится тонкий слой поверхностного загрязнения, состоящий преимущественно из полидисперсных частиц окислов кремния и железа размером от 0,1 до 0,3 мк., а также воды и смазки. Основную части загрязнений составляют твердые частицы. На сильно замасленных рельсах песок не дает заметного повышения коэффициента сцепления колес с рельсами. Изменение коэффициента сцепления тягового подвижного состава с рельсами при различных погодных условиях и количественная оценка степени увлажнения рельсов на характер боксования колес локомотива показывает, что наиболее неустойчивое его влияние наблюдается на мокрых рельсах [3].

Многолетний опыт эксплуатации рельсового транспорта и исследования влияния характеристик материалов подаваемых под колеса локомотивов для предотвращения избыточного проскальзывания колес с рельсами при разгоне и трогании с места, не позволили найти альтернативных материалов, способных в полной мере заменить кварцевый песок, частицы которого имеют повышенную твердость около 2,5 г/см^3. Поэтому к песку, применяемому на магистральных железных дорогах, выдвигаются особые требования по гранулометрическим, химическим и механическим свойствам. Так песок должен быть просеянный, просушенный с содержанием частиц размером от 0,2 до 0,5 мм с концентрацией не менее 50% без каких-либо примесей и содержанием глинистых включений в своем составе на более 3%. Обычно применяют речной намывной песок окатанный или малоокатанный среднезернистый – частицы, которого имеют форму, приближенную к сферической.

При подаче песка на поверхность рельса уже после прохождения одной колесной пары частицы сильно измельчаются, что приводит к увеличению поверхностной энергии образованного слоя. Однако дальнейшего размола песка под следующими набегающими колесными парами не происходит, а средний размер песчинок составляет 0,071-0,1 мм. Такой слой песка представляет собой дисперсную систему, способную проявлять структурно-реологические свойства, а вновь образованная поверхность обладает повышенными сорбционными свойствами способная образовывать связи, по энергии близкие к химическим [3].

Из теории механики грунтов известно, что кварцевый песок имеет наибольшее сопротивление на сдвиг и обладает высокой устойчивостью на срез за счет своей твердости. Это придает частицам песка на поверхности рельса определенные прочностные характеристики, которые эффективно использовались паровозами (вес которых в 2-2,5 меньше современного подвижного состава и составлял около 100 т) и используются сегодня малонагруженным рельсовым транспортом. Однако увеличение осевых нагрузок привело к

большему дроблению песка и снижению его механических свойств твердого тела, образуя активную дисперсную пыль с повышенной поверхностной энергией и проявлением реологических свойств «третьего тела» на поверхности трения между колесом и рельсом, что позволило проявить новые адгезионные и сорбционные свойства.

Из существующих гипотез механизма повышения сцепления для кварцевого песка применялась чисто механическая теория, когда считалось, что твердые частицы кварца продавливали слой поверхностного загрязнения рельса, под действием осевой нагрузки внедрялись в трущиеся тела и благодаря высокому сопротивлению на срез, образовывали более шероховатую поверхность, способную повысить значение коэффициента сцепления в пятне контакта между колесом и рельсом. Проявление структурно-реологических свойств слоя измельченного кварцевого песка дает возможность объяснить механизм его действия с точки зрения увеличения площади фактического контакта за счет заполнения микровпадин микронеровностей шероховатых поверхностей материалов колеса и рельса, размеры которых соизмеримы, с минеральными частицами раздавленного в пыль кварца и проявить высокие адгезионные и адсорбирующие свойства. Так вновь образованная поверхность представляет собой плотно сложенную гексагональную упаковку однородных приблизительно сферичных дисперсных частиц кварцевого песка с наиболее вероятным диаметром 0,1 мм. На сегодняшний день считается, что такая упаковка шарообразных элементов имеет плотность заполнения объема твердой фазы равный 74% с пористостью 0,26. Монодисперстный слой с такими свойствами способен удержать в своем объеме определенное количество влаги и сохранять прочность под действием капиллярных сил, сжимающих частицы кварцевого песка за счет сконденсированной жидкости в местах контакта твердых частиц и образования жидких манжет, пока не произойдет смыкание между собой соседних манжет и жидкость не займет 23% объема пор. Возможное увеличение объема влаги в слое песка приведет к уменьшению его вязкости и ухудшит величину сцепления, т.к. поверхностная структура приобретает свойства коллоидного раствора типа пасты [3]. Увеличение же концентрации твердого вещества также негативно может сказаться на характере сцепления колес локомотива с рельсами, т.к. приведет к увеличению толщины слоя песка, в котором будет наблюдаться проскальзывание частиц кварца друг по другу, в силу их высокой и одинаковой твердости [4].

На основании вышеописанных дисперсных свойств слоя кварца можно сделать вывод, что существуют оптимальные нормы расхода песка с учетом взвешенного количества влаги на дорожке катания рельса и плотности водяных паров в воздухе около его поверхности.

Известна зависимость коэффициента трения по дорожке катания поверхности рельса в широком диапазоне увлажнения на которой видно, что наименьшая величина коэффициента трения реализуется с момента насыщения воздуха парами воды в диапазоне от «точки росы» до наличия влаги 2 мг/см^2, а также даны рекомендации по количеству песка на погонный метр рельса при характеристике увлажнения в зависимости от толщины эквивалентной водяной пленки. Так в понятие сухие рельсы следует включать их увлажнение от нуля до появления на них "точки росы" или эквивалентного слоя воды толщиной 0,0001-0,01 мм, слегка увлажненными с толщиной слоя воды 0,01-0,12 мм. Сильно увлажненные при толщине слоя воды 0,12-15 мм. Повышение эффективности величины коэффициента сцепления колес локомотива с рельсами достигается тем, что по предлагаемому способу песок подают при толщине эквивалентной водяной пленки поверхностного слоя рельсов 0,0001-0,01 мм и 0,12-15 мм – 0,5-2 г на погонный метр рельса, при толщине пленки 0,01-0,12 мм, а также при наличии ледяного покрытия – 3-10 г на погонный метр рельса. При этом нижние пределы значений пескоподачи относятся к наименее загрязненным поверхностям трения, что соответствует содержанию смазки в поверхностном слое до 5% (по весу). Верхние пределы – начиная с 20% и выше [3]. Данные рекомендации по верхним пределам интервалов можно соотнести с подачей указанного количества песка под первую по ходу движения колесную пару, как работающую в наихудших условиях по сцеплению, а нижние – для остальных колес в составе локомотива.

Мы утверждаем, что необходимо переходить на понятие определения расхода подаваемого песка под колеса локомотива для стабилизации величины сцепления с рельсом в граммы на погонный метр рельса, т.к. существующая система определения расхода массы и объема песка в локомотивном хозяйстве (измеряемая в г/мин или кг/мин) удобна лишь для максимальной настройки форсунок песочницы в дискретных системах пескоподачи, используемых на подвижном составе, и не позволяет определять и регулировать количество песка с учетом фактических условий эксплуатации, таких как скорость движения поезда и увлажнения рельса.

Несмотря на то, что в попытке регулирования количества песка внедрялись системы с импульсной подачей. Установлено, что более эффективна непрерывная, а не импульсная подача песка, которая позволяет увеличить коэффициент сцепления до 70 %. Однако, избыточная неконтролируемая подсыпка песка при разрегулированной системе пескоподачи приводит к его перерасходу и повышению сопротивления движению поезда до 20 %, не оказывая должного стабилизирующего эффекта [5]. Так существующие системы подвода песка имеют избыточную пескоподачу при трогании поезда и низкой скорости движения и недостаточную – при скоростях движения уже свыше 30 км/ч. С целью реализации возможности плавной непрерывной подачи песка под колеса локомотивов, предлагается усовершенствованная система пескоподачи с сервоприводом для регулирования количества песка забираемого из корпуса форсунки и подвода необходимого количество песка с учетом реальных условий эксплуатации [2].

По методике определения оптимального количества песка при действии наибольших капиллярных сил при заполнении 23% порового пространства в плотной гексагональной упаковке однородных сферичных дисперсных частиц кварцевого песка с диаметром 0,1 мм удалось построить зависимость (рис. 1) количества песка на погонный метр пути при ширине дорожки трения колеса с рельсом 7 см от количества влаги [3]. Из полученной диаграммы видно, что для абсорбации количества влаги с наименьшим значением коэффициента трения 0,2 (толщина эквивалентной водяной пленки 0,005 мм) необходимо разместить на поверхности рельса 10 г песка на погонный метр (при 0,5 мг/см^2), что хорошо укладывается с представленными выше интервалами, рекомендуемого количества песка.

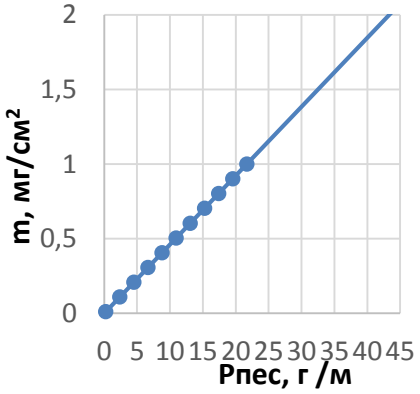
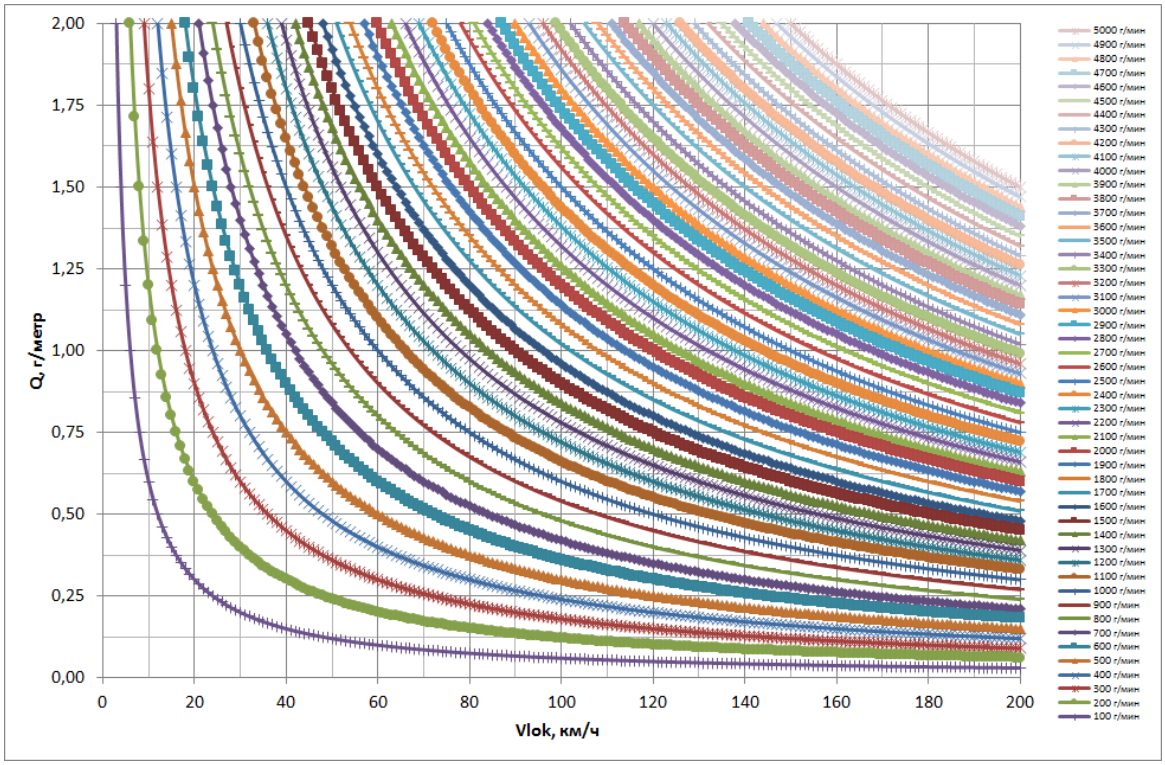


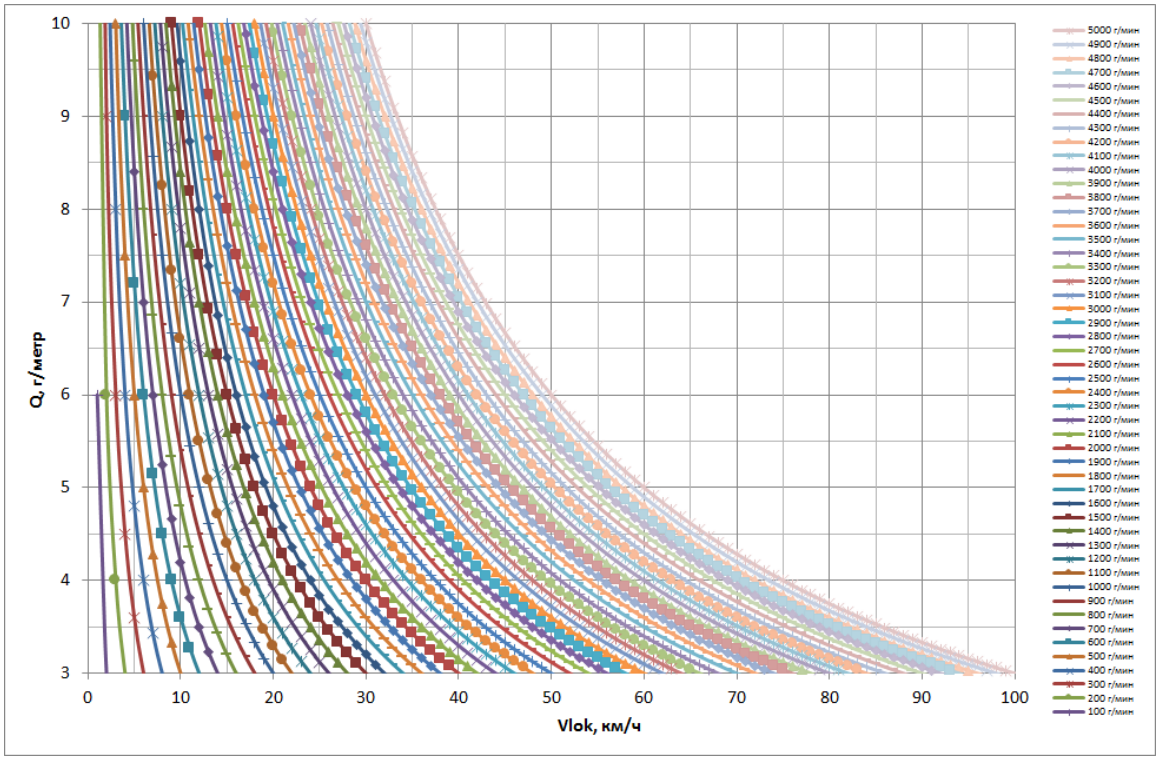
Рис. – 1 Зависимость количества песка на погонный метр пути от количества влаги
m – масса воды на единицу площади поверхности рельса в пересчете от толщины эквивалентной водяной пленки, Рпес – масса песка на поверхности погонного метра рельса

Из рисунка 1 также видно, что для удержания количества влаги 2 мг/см^2 при котором коэффициент трения приближается к удовлетворительному необходимо на один погонный метр поверхности рельса разместить 45 г кварцевого песка. С целью определения зависимости необходимых расходных характеристик форсунок песочниц, измеряемых по принятой системе г/мин или кг/мин, был произведен расчет количества песка на погонный метр в зависимости от скорости движения поезда (рис 2.) [1].

а


Q, г/метр
Vlok, км/ч
2,00
1,75
1,50
1,25
1,00
0,75
0,50
0,25
0,00
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
5000 г/мин
4900 г/мин
4800 г/мин
4700 г/мин
4600 г/мин
4500 г/мин
4400 г/мин
4300 г/мин
4200 г/мин
4100 г/мин
4000 г/мин
3900 г/мин
3800 г/мин
3700 г/мин
3600 г/мин
3500 г/мин
3400 г/мин
3300 г/мин
3200 г/мин
3100 г/мин
3000 г/мин
2900 г/мин
2800 г/мин
2700 г/мин
2600 г/мин
2500 г/мин
2400 г/мин
2300 г/мин
2200 г/мин
2100 г/мин
2000 г/мин
1900 г/мин
1800 г/мин
1700 г/мин
1600 г/мин
1500 г/мин
1400 г/мин
1300 г/мин
1200 г/мин
1100 г/мин
1000 г/мин
900 г/мин
800 г/мин
700 г/мин
600 г/мин
500 г/мин
400 г/мин
300 г/мин
200 г/мин
100 г/мин

б


Q, г/метр
Vlok, км/ч
10
9
8
7
6
5
4
3
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
5000 г/мин
4900 г/мин
4800 г/мин
4700 г/мин
4600 г/мин
4500 г/мин
4400 г/мин
4300 г/мин
4200 г/мин
4100 г/мин
4000 г/мин
3900 г/мин
3800 г/мин
3700 г/мин
3600 г/мин
3500 г/мин
3400 г/мин
3300 г/мин
3200 г/мин
3100 г/мин
3000 г/мин
2900 г/мин
2800 г/мин
2700 г/мин
2600 г/мин
2500 г/мин
2400 г/мин
2300 г/мин
2200 г/мин
2100 г/мин
2000 г/мин
1900 г/мин
1800 г/мин
1700 г/мин
1600 г/мин
1500 г/мин
1400 г/мин
1300 г/мин
1200 г/мин
1100 г/мин
1000 г/мин
900 г/мин
800 г/мин
700 г/мин
600 г/мин
500 г/мин
400 г/мин
300 г/мин
200 г/мин
100 г/мин

в

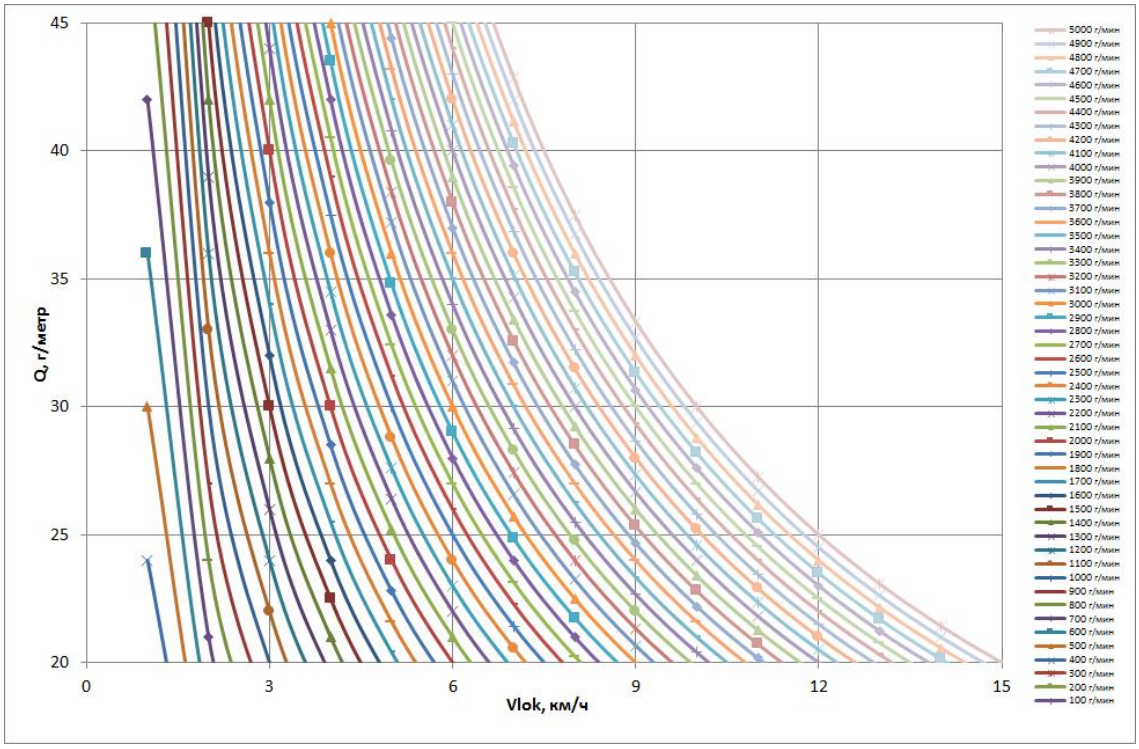


Рис 2. – Зависимость количества песка Q на погонный метр рельса от скорости движения локомотива Vlok при различном расходе системы пескоподачи с учетом возможности плавного регулирования забора песка из корпуса форсунки песочницы максимальном расходе 5000 г/мин и минимальном 100 г/мин
а – масштаб для подачи песка 0,5 до 2 г/м; б – масштаб для подачи песка 3 до 10 г/м; в – масштаб для подачи песка 20 до 45 г/м;

Из представленных диаграмм видно, что реализовать подачу рекомендованного количества песка можно в строго определенных диапазонах скоростей движения локомотива и определенно лимитирующем расходе форсунки песочницы (таблица 1):

Таблица 1 – Определение предельных скоростей движения локомотивов на которых возможна реализация подачи песка в заданных интервалах

Количество песка Q, г/м	Скорость локомотива Vlok, км/ч	Расход песка из корпуса форсунки, кг/мин
0,5	В любо диапазоне скоростей до 200 км/ч даже при максимальном расходе песка из корпуса форсунки 1,7 кг/мин	
2	150	5
	75	2,5
3	100	5
	50	2,5
10	30	5
	15	2,5
20	15	5
	7	2,5
45	7	5
	3,5	2,5

УДК 625.143

НАГРУЖЕННОСТЬ УПРУГИХ КЛЕММ РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ АРС-4 НА УЧАСТКАХ ДВИЖЕНИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ

В.С. Коссов, А.Л. Бидуля, О.Г. Краснов, М.Г. Акашев
АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» («ВНИКТИ»), г. Коломна, Россия

Опыт эксплуатации железнодорожного пути с анкерным рельсовым скреплением АРС-4 показал, что имеют место случаи разрушения упругих клемм [1–5]. Разрушения наблюдаются в зонах технологических перегибов – на внешнем или внутреннем радиусах скруглений. Излом клемм происходит под углом 45°, что характерно для доминирования в данных зонах напряжений кручения.

Для установления причин разрушения клемм выполнена оценка напряженно-деформированных состояния клемм АРС-4 ø17 мм и АРС-4 ø16 мм, изготовленных по ТУ 3185-001-00115863-204 [6] путем компьютерного моделирования, тензометрирования при нагружении на стенде и в условиях эксплуатации.

Для проведения компьютерного моделирования с учетом работ [7–10] разработана конечно-элементная модель и проведены расчеты с использованием программного комплекса Marc. Конечно-элементная модель набрана из 19808 хекс-элементов и имеет 22687 узлов для клеммы ø16 мм и 20507 хекс-элементов и 23192 узлов для клеммы ø17 мм.

Конечно-элементная модель упругой клеммы устанавливалась на две контактные площадки, служащие опорными поверхностями, имитирующими с одной стороны верхнюю поверхность подошвы рельса, с другой – шпалу. Вертикальная нагрузка прикладывалась через пуансон или монорегулятор к «усам» клеммы (два варианта). Моделирование выполнялось при задании вертикальных перемещений пуансона в диапазоне 0…10 мм с шагом 2 мм

Для клемм зависимости силы от перемещения имеют практически линейный характер при небольших деформациях. С увеличением прогиба зависимости принимают форму, близкую к параболе, определяя нелинейную жесткость клемм при прогибах «усов» более 8 мм.

На конечно-элементных моделях упругих клемм анкерного скрепления АРС-4 ø16 и 17 мм выполнены расчеты осевых σ_{xx}, σ_{yy}, σ_{zz}, касательных τ_{xy}, эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$. Анализ расчетных данных, полученных методом компьютерного моделирования с использованием программного комплекса Marc, показал, что в зонах технологических перегибов клемм имеет место сложное деформированное состояние, определяющее максимальные уровни касательных изгибных напряжений на поверхности прутка при вертикальном перемещении концов («усов») клеммы. При перемещении «усов» на 7,8…8 мм, что соответствует III позиции монорегулятора, в зонах технологических перегибов возникали соответственно значения касательных напряжений $\tau_{xy}^{ø17}$ =874 МПа, $\tau_{xy}^{ø16}$ =839 МПа, напряжения от изгиба $\sigma_{zz}^{ø16}$ =588 МПа, $\sigma_{zz}^{ø17}$ =544 МПа.

При монтажном поджатии «усов» клемм монорегулятором в зонах технологических перегибов возникает сложное напряженное состояние с высокими уровнями напряжений кручения и изгиба.

Сложное напряженное состояние клемм в сочетании с высокими уровнями напряжений кручения и изгиба определяет значительные величины эквивалентных напряжений, близкие к пределу текучести материала.

Для верификации расчетных данных, полученных на конечно-элементной модели, проведены стендовые испытания с определением уровней касательных и изгибных

напряжений в наиболее нагруженных зонах упругой клеммы – зона внешнего радиуса и на продольном участке сопряжения внешнего и внутреннего радиусов. В указанных зонах наклеивались 5-миллиметровые тензодатчики. Для определения напряжения от кручения тензодатчики наклеивались по полумостовой схеме под углом 45° на диаметрально противоположных сечениях относительно оси прутка по боковым поверхностям прутка. Для регистрации напряжений от изгиба датчики наклеивались вдоль прутка на внешнем радиусе в том же сечении, что и на кручение.

Анализ опытных данных подтвердил вывод о высоких значениях изгибных и касательных напряжений при перемещении «усов» клемм до 10 мм.

Сравнительный анализ опытных данных показал, что наибольшие расхождения наблюдаются при небольших вертикальных перемещениях 2…4 мм и составляют до 15…18%. При вертикальных перемещениях 8…10 мм расхождение между расчетными значениями и экспериментальными данными не превышали 10%.

Для оценки нагруженности упругих клемм рельсовых скреплений АРС-4 при движении поездов повышенного веса и длины в кривой R=355 м были оборудованы упругие клеммы с наружной и внутренней сторон наружного и внутреннего рельса тензометрическими датчиками на перегоне Майкоп – Ханская Северо-Кавказской ж. д.

Напряженное состояние упругих клемм рельсовых скреплений АРС-4 определялось при движении тяжеловесных сдвоенных поездов весом 12000 т, 12600 т в режимах торможения и разгона при проследовании по кривой R=355 м с возвышением h=115 мм. Испытания проводились в светлое время суток при температуре окружающей среды 0…15°С.

Оценивалось совместное действие монтажных и динамических нагрузок. Монтажные усилия определяют прижатие рельса к шпале, которое регламентирует инструкция на сборку, укладку, эксплуатацию и ремонт пути с бесподкладочным рельсовым скреплением АРС на железобетонных шпалах, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 31 декабря 2013 г. № 2986р. Для упругих клемм скрепления АРС-4 с диаметром прутка 16 мм на III позиции монорегулятора усилие прижатия рельсов к шпале должно соответствовать 770…970 кг, для клемм с диаметром прутка 17 мм – 960…1160 кг;

Для определения напряжений, которые возникают в упругих клеммах при реализации регламентируемого усилия прижатия, проведены следующие опыты. Монорегуляторы устанавливались в нулевое положение, что определяло положение упругих клемм в свободном состоянии и соответствовало нулевому значению напряжений со стороны монтажных усилий. При повороте монорегулятора наблюдался рост касательных и изгибных напряжений.

Анализ величин монтажных напряжений в упругих клеммах скрепления АРС-4 показал:

- средняя величина касательных напряжений во внешнем радиусе клемм составляет $\sigma_{кр}$= 686,2 МПа;
- величина касательных напряжений во внутреннем радиусе клеммы составляет $\sigma_{кр}$= 202,4 МПа;
- величина изгибных напряжений в зоне внешнего радиуса $\sigma_{изг.}$=671,6 МПа;
- величина изгибных напряжений в зоне внутреннего радиуса $\sigma_{изг.}$=455,3 МПа;
- уровни напряжений на III ступени монорегулятора (рекомендуемая согласно ТУ-ЦПТ-58) имели разброс до 15% для восьми клемм, подверженных испытаниям.

Таким образом, упругие клеммы имеют достаточно высокий уровень статических монтажных напряжений на третьей ступени установки монорегулятора. По уровню напряжений наиболее нагруженным местом является внешний радиус клеммы.

Динамические напряжения в упругих клеммах исследовались при движении тяжеловесных поездов на перегоне Майкоп – Ханская Северо-Кавказской ж. д. в режимах торможения и разгона в кривой R=355 м.

Анализ опытных данных показал, что напряжения кручения на внешнем радиусе упругих клемм скреплений, установленных с наружной стороны наружного рельса, находятся в диапазоне -31,8...20,9 МПа и имеют наиболее высокие значения при проезде локомотива. При этом в основном значения напряжений лежат в отрицательной области значений, что обусловлено режимом разгружения клемм при воздействии колес подвижного состава.

Напряжения кручения на внешнем радиусе упругих клемм скреплений, установленных с наружной стороны наружного и внутреннего рельсов, имеют доминирующий отрицательный знак и работают в основном на разгружение клеммы; диапазон значений касательных напряжений варьируется -30,4…19,0 МПа.

Напряжения кручения на внешнем радиусе упругих клемм скреплений, установленных с внутренней стороны наружного и внутреннего рельсов (внутри колеи), имели более высокие значения и находились в пределах -25,5...61,6 МПа. Характер изменения осциллограмм показал, что клеммы испытывают переменный характер нагружения относительно монтажной статической нагрузки с доминированием дополнительной нагружающей (раскантовочной) нагрузки.

Изменения напряжений изгиба упругих клемм имеют пределы изменения -11,4...41,2 МПа, а также переменный характер. Под действием вертикальной поездной нагрузки принимают разгружающий характер, т.е. динамические изгибные напряжения имеют отрицательный знак по отношению к монтажным напряжениям.

В кривых малого радиуса наиболее высокий уровень динамических напряжений испытывали упругие клеммы внутренних скреплений внутреннего рельса, что связано с переразмеренным по условиям движения тяжеловесных поездов возвышением наружного рельса. Максимальные величины касательных напряжений дополнительно повысились до 64,9 МПа.

На клеммах наружных скреплений как наружного, так и внутреннего рельсов при наезде колесной пары имел место знакопеременный режим, определяющий разгружение – нагружение упругих клемм. При этом величина от воздействия колес локомотивов находилась в пределах 26,5…-32,6 МПа, а от колес вагонов 15,3…-20,4 МПа.

На внутренних скреплениях наружного рельса напряжения от колес как локомотивов, так и вагонов изменялись от -25,5 до 36,7 МПа и существенно зависели от режима ведения поезда и направления действия боковых сил.

Уровни динамических изгибных напряжений были несколько ниже динамических напряжений от кручения и находились в пределах -30,4…8,5 МПа.

Динамические напряжения в клеммах определяются уровнями боковых и вертикальных сил, действующих от колес подвижного состава на рельсы, местом расположения клемм на шпале, направлением действия боковых сил, режимом ведения поезда.

С учетом полученных экспериментальных данных о нагружении упругой клеммы выполнен расчет коэффициента запаса сопротивления усталости. Коэффициент запаса по сопротивлению усталости определялся по формуле:

$$n = \frac{\tau_{-1}}{K_\tau \cdot \tau_V + \Psi \cdot \tau_m},$$

где τ_{-1} – среднее значение предела выносливости стандартного образца при симметричном цикле нагружения, равное 0,22 $\sigma_в$ ($\sigma_в$=16000 кгс/см^2 – предел прочности стали марки 60С2А, из которой изготовлена упругая клемма);

τ_v – амплитуда напряжений цикла (τ_v=(649+343)/2=496 кгс/см^2);

τ_m – среднее напряжение цикла (τ_m=6862+(649-343)/2=7015 кгс/см^2);

ψ – коэффициент, характеризующий влияние асимметрии цикла (при $\tau_m>0$ ψ=0,3);

K_τ – коэффициент, характеризующий понижение предела выносливости конструкции по отношению к пределу выносливости стандартного образца.

Значение коэффициента понижения предела выносливости определяется из выражения:

$$K_\sigma = \frac{K_1 \cdot K_2}{\lambda \cdot m} \cdot \beta_K,$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий влияние неоднородности материала детали (для проката K_1=1,1);

K_2 – коэффициент, учитывающий влияние внутренних напряжений в детали и зависящий от поперечных размеров детали (до 250 мм K_2=1);

m – коэффициент, учитывающий состояние поверхности детали (для поверхности с окалиной m=0,65...0,8, принимаем m=0,72);

γ – коэффициент, учитывающий влияние размерного фактора (при диаметре поперечного сечения прутка 16 мм γ=1);

β_K – эффективный коэффициент концентрации напряжений в узлах сложного очертания, концентрация в которых определяется только их геометрией (учитывая наличие в клемме угловых сопряжений R=28 мм, β_K=1,4...1,7, принимаем β_K=1,55).

Таким образом, мы получим:

$$K_\tau = \frac{1{,}1 \cdot 1}{1 \cdot 0{,}72} \cdot 1{,}55 = 2{,}368,$$

$$n = \frac{0{,}22 \cdot 1600}{2{,}368 \cdot 49{,}6 + 0{,}3 \cdot 701{,}5} = 1{,}073.$$

Таким образом, расчетным путем установлено, что при данном уровне монтажных и динамических напряжений, зарегистрированных от действия колес тяжеловесных поездов, коэффициент запаса сопротивления усталости упругих клемм достаточный для их надежной работы. Изломы упругих клемм возможны из-за некачественной термообработки и дефектов поверхности прутка.

УДК 629.463.077-592-52

О НОРМИРОВАНИИ ВЕЛИЧИНЫ ВЫХОДА ШТОКА ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С РАЗДЕЛЬНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ

В.В. Синицын
АО «Управляющая компания «Брянский машиностроительный завод» (АО «УК «БМЗ»)

Эксплуатационная нормативная документация содержит требования, выполнение которых может создавать опасные состояния при движении подвижного состава. В частности, в [1] при выполнении технического обслуживания тормозного оборудования грузовых вагонов требуется регулировка рычажной передачи на поддержание выхода штока тормозного цилиндра на нижнем пределе установленных норм.

Для некоторых типов вагонов [2] в тормозной системе с раздельным торможением и композиционными колодками поддержание выхода штока на минимальном уровне 25 мм невозможно. При этом регулировка зазоров между колодками и колесами на уровне 8 мм в

ряде случаев приводит к существенному превышению верхнего предела нормативного выхода штока.

Как известно, уменьшение среднего значения зазора между колодкой и колесом ниже нормативного значения может приводить к прижатию колодок к колесам и созданию сопротивления движению вагона. Превышение верхнего предела норматива выхода штока может приводить к отбору силы на штоке (при сверхнормативном сжатии оттормаживающей пружины), повышению риска изгиба и заклинивания штока, а также выключению тормоза вследствие упора поршня в крышку цилиндра.

В связи с этим пересмотр нормативных значений выхода штока и применение их на практике в рычажной передаче грузового вагона с раздельным торможением актуален.

Определим параметры схем рычажных передач тормоза вагона с раздельным торможением, предполагающие как наименьший, так и наибольший выход штока. Давление в цилиндрах регулируется с помощью авторежима. Применяются тележки двухосные тип 2 ГОСТ 9246-2013 с типовыми буксами (без адаптеров), композиционные колодки малогабаритные тормозные цилиндры.

Для определения нижнего предела и наименьшего диапазона выхода штока рычажная передача должна удовлетворять следующим ограничениям:

- иметь наименьшее из возможного передаточного отношения;
- наименьшее количество элементов;
- обладать наибольшей жесткостью своих элементов, в том числе иметь наименьшую податливость износоустойчивых втулок;
- средний зазор между колодкой и колесом $\delta_к$ =5-8 мм.

На вагоностроительных предприятиях согласно руководству [3] в тормозной системе применяют втулки из композиционного прессовочного материала. В настоящее время в РФ применяются большей частью втулки КПМ ТУ 2292-011-56867231-2007.

Минимальный и максимальный выходы штока для систем с раздельным торможением, обеспечивающий зазор между колодкой и колесом

$$l_{шт.min} = l_{шт.у} + l_{шт.св.min}; \quad l_{шт.max} = l_{шт.у} + l_{шт.св.max}$$

где $l_{шт.у}$ - упругая составляющая;

$l_{шт.св.min}$ =5n – минимальный свободный выход штока определяется как произведение минимального зазора между колодкой и колесом (5 мм) и передаточного отношения рычажной передачи;

$l_{шт.св.max}$ =8n – максимальный свободный выход штока.

Для некоторых типов вагонов, с массой брутто меньшей 94 тс (осевой нагрузкой 23,5 тс) и, соответственно, пониженной грузоподъемностью имеют место наименьшие из возможного передаточного отношения. Согласно [4] таких типов около 80. Определим минимальные передаточные отношения для таких вагонов при нормативных регулировках.

После анализа характеристик существующих моделей грузовых четырехосных вагонов с пониженной грузоподъемностью определяем:

- диапазон разброса величин тары вагонов с учетом ГОСТ 9246-2013 (21 – 42,23 т) (исключение составляет 4-осный крытый вагон с поднимающимися полукрышами для перевозки автомобилей, с тарой 49 т), не рассмотрены коксотушильные вагоны;
- процентное отношение к таре грузоподъемностей вагонов (минимум/максимум) для данной выборки может быть ниже тары на 63% и выше на 153%.

Минимальная грузоподъемность в рамках регулируемых давлений для вагонов на тележках двухосных тип 2 ГОСТ 9246-2013 с гибкостью рессорного комплекта $\lambda=1{,}29\cdot10^4$ мм/Н (1,29 мм/тс) определяется по формуле

$$P = S/0{,}5\lambda,$$

где S – максимальный ход штока авторежима 265А-4 [5].

При таре до 27 т – грузоподъемность должна быть не менее 54,3 тс (201,1 % от тары), при таре от 27 до 32 т – не менее 42,3 т (132,2 % от тары); от 32 до 36 т – не менее 33,5 т (93,1% от тары); от 36 до 45 т – не менее 21,1 т (46,9 % от тары). При отсутствии норматива по регулировке штока авторежима условно примем, что при таре 49 т – грузоподъемность не менее 21,1 т (46,9 % от тары).

Ряд минимальных передаточных отношений для максимальных диапазонов разброса полезных нагрузок вагонов с пониженной грузоподъемностью при давлении, соответствующем среднему режиму воздухораспределителя показан в табл. 1. Минимальное передаточное отношение n=4,4.

Таблица 1. Минимально возможные передаточные отношения рычажной передачи с цилиндром диаметром 254 мм, при нормативных регулировках давлений в цилиндрах для вагонов, имеющих расчетную грузоподъемность в соответствии с минимальным ходом штока авторежима

Тара 21-27 т; Грузоподъемность 54,3 т; p=0,13/0,16 МПа		Тара 27-32 т; Грузоподъемность 42,3 т; p=0,15/0,19 МПа		Тара 32-36 т; Грузоподъемность 33,5 т; p=0,18/0,22 МПа		Тара 36-45 т; Грузоподъемность 21,1 т; p=0,21/0,24 МПа		Тара 49 т; Грузоподъемность 21,1 т; p=0,21/0,24 МПа
Ниж. предел	Верх. предел	Ниж. предел	Верх. предел	Ниж. предел	Верх. предел	Ниж. предел	Верх. предел	
4,4	5,75	4,8	5,8	4,6	5,25	4,6	5,65	6,25

Упругую составляющую определим для рычажной передачи полувагонов и платформ (рис. 1) [6] с наименьшим количеством элементов, наименьшей длиной тормозной тяги, устанавливаемой на регулятор, короткой (имеющей значительную жесткость) серьгой мертвой точки. Податливостью серьги «мертвой» точки и тяги Т1 пренебрегаем, как элементами, обладающими значительной жесткостью.

Схема на рис. 1 включает в себя один рычаг, соединенный концами со штоком цилиндра и регулятором, средней частью с серьгой «мертвой» точки. Если принять длину рычага равной 660 мм (типовой размер), определим плечи этого рычага с помощью системы:

$$\mathrm{d} + \mathrm{c} - 660 = 0$$
$$n_{\text{т}} d/c = 4{,}4,$$

где c, d – плечи ведущего рычага;

n=4,4 – минимальное передаточное отношение для вагона массой брутто 75,3 т;

$n_{\text{т}}$ =7 – передаточное отношение тележки.

Получим следующие размеры плеч рычагов: d=255 мм, c=405 мм.

Минимальную упругую составляющую определим согласно методике [2]. При этом учтем в расчете следующие факторы, влияющие на величину упругой составляющей и носящие вероятностный характер.

1. Во всех шарнирных соединениях кроме тележки (в рычагах и затяжке тележек установлены втулки КПМ, в распорке – втулка из стали) запрессованы втулки КПМ. Втулки внутренним диаметром 40,2 мм имеют меньшую податливость, чем

втулки диаметром 30,2 мм. В средней части рычага и серьге принимаем втулки внутренним диаметром 40,2 мм.

2. В кронштейне «мертвой» точки втулки не устанавливаются.
3. Деформация пружины авторегулятора за счет выбирания зазора между гайкой тяговой и стаканом $\Delta_{\text{Ар.з}}$=1-3 мм (принимаем $\Delta_{\text{Ар.з}}$=1 мм).
4. Давление в цилиндре $p_{\text{ц}} = 0{,}30/0{,}34\text{МПа}\ (3{,}0/3{,}4\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2})$. Принимаем $p_{\text{ц}} = 0{,}30\text{МПа}\ (3{,}0\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2})$.

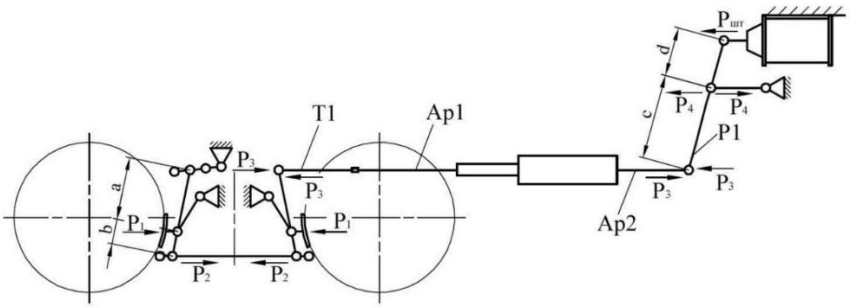


Рис. 1 Типовая схема рычажной передачи полувагонов и платформ

Согласно расчету, суммарная упругая составляющая выхода штока

$$l_{\text{шт.у}} = \sum l_{\text{шт.у}n}\ ;\ l_{\text{шт.у}} = 8{,}6_{\text{мм.}}$$

Получим границы выхода штока для вагона с минимальным передаточным отношением и максимальной жесткостью ее элементов $l_{\text{шт.min}} \approx 31$ мм; $l_{\text{шт.max}} \approx 44$ мм.

Определим верхний предел выхода штока для вагонов с осевой нагрузкой 25 тс.

При этом рычажная передача должна удовлетворять следующим ограничениям:

- передаточное отношение не должно превышать максимального (при расчете возможности юза) для массы брутто вагона 100 т (25 тс/ось) при нормативных регулировках давлений в цилиндрах в зависимости от тары вагона;

- регулятор выхода штока устанавливается таким образом, чтобы расчетное усилие, действующее на него, не превышало допускаемого по ТУ 24.05.928-89, а именно 9000 кгс (88,3 кН). Расчетное усилие определяется согласно Нормам [7]. Здесь расположение регулятора имеет большое значение для величины выхода штока.

Согласно табл. 2 максимальное передаточное отношение для вагона массой брутто 100 тс составляет *n*=8. Для такого вагона рассмотрим наиболее известные и применяемые на практике схемы рычажных передач, определим плечи рычагов и выход штока с учетом упругой составляющей.

Таблица 2. Максимально возможные передаточные отношения рычажной передачи с цилиндром диаметром 254 мм, при нормативных регулировках давлений в цилиндрах для вагонов, имеющих массу брутто 100 т

Тара 21-27 т; p=0,13/0,16 МПа		Тара 27-32 т; p=0,15/0,19 МПа		Тара 32-36 т; p=0,18/0,22 МПа		Тара 36-45 т; *p*=0,21/0,24 МПа	
Нижний предел	Верхний предел	Нижний предел	Верхний предел	Нижний предел	Верхний предел	Нижний предел	Верхний предел
5,5	7,2	5,9	7,1	6,05	6,9	6,25	8

Для определения наибольшего выхода штока выберем максимальные из возможных, конструктивно обоснованные длину тяги и серьги «мертвой» точки в рычажной передаче вагона. Для размещения рычажной передачи на вагоне строгих критериев нет. На вагонах с плоской рамой, как правило, проектировщики имеют возможность располагать цилиндры как можно ближе к тележке. На вагонах с высокой хребтовой балкой тяга располагается внутри балки, а в стенке балки необходимо выполнить отверстие для соединения рычага с тягой и перемещения рычага. Отверстие располагают, как правило, на участке балки с постоянным сечением. В связи с этим, основываясь на опыте проектирования рычажных передач, выберем вариант с наиболее удаленным расположением от тележки цилиндром.

В качестве характерного примера рассмотрим длиннобазную платформу (база 19700 мм) для крупнотоннажных контейнеров модели 13-3115 производства БМЗ с применением раздельного торможения. Схема рычажной передачи платформы показана на рис. 2 [8]. От схемы на рис. 1 она отличается наличием промежуточного рычага, предназначенного для вынесения регулятора из полости хребтовой балки. Длина стержневой части тяги Т1 на этой платформе составляет 5626 мм. Длина стержневой части серьги «мертвой» точки в этой схеме составляет 245 мм. Следует отметить, что серьга может иметь значительно большую длину, но, как правило, не превышает 500 мм.

Примем указанные длины тяги и серьги в качестве исходных данных. Примем длины рычагов, равными 660 мм, определим плечи этих рычагов. Передаточное отношение рычага Р2 определим так, чтобы расчетное усилие, действующее на регулятор, не превышало допускаемого (88,3 кН), но было наиболее близко к нему. При этом упругая составляющая выхода штока, от регулятора будет максимальной. Согласно Нормам [7] максимальное усилие определяется по формуле:

$$P_{\text{шт}} = p_{\text{ц max}} \frac{\pi d_{\text{ц}}^{2}}{4},$$

где $p_{\text{ц max}}$=450 кПа – максимальное расчетное давление воздуха в тормозном цилиндре. КПД рычажной передачи принимается равным единице.

Для данного случая определяем $P_{\text{шт}}$=22,8 кН. При этом плечи рычага Р2: *e*= 524 мм, *f*= 136 мм. Учитывая, что передаточное отношение рычажной передачи *n*=8, плечи рычага Р1: *c*= 465 мм, *d*=195 мм. Следует отметить, что размещение такой системы на раме платформы конструктивно допустимо.

Учтем, в расчете следующие факторы.

1. В средней части рычага, серьге, кронштейне «мертвой» точки устанавливаются втулки диаметром 40,2 мм.
2. Деформация пружины регулятора максимальна 3 мм.

Согласно результатам расчетов, суммарная упругая составляющая

$l_{\text{шт.у}} = \sum l_{\text{шт.у}_n}$; $l_{\text{шт.у}} = 55{,}9$ мм.

Выход штока $l_{\text{шт.min}} \approx 96$ мм; $l_{\text{шт.max}} \approx 120$ мм.

Согласно полученным значениям при выполнении регулировки [1] для любого вагона неизбежно получаем зазор $\delta_{\text{к}} < 5$ мм. Во избежание прижатия колодок к колесам и в нарушение [1] регулировку выхода штока на предприятиях подбирают опытным путем, однако максимальный зазор не контролируется.

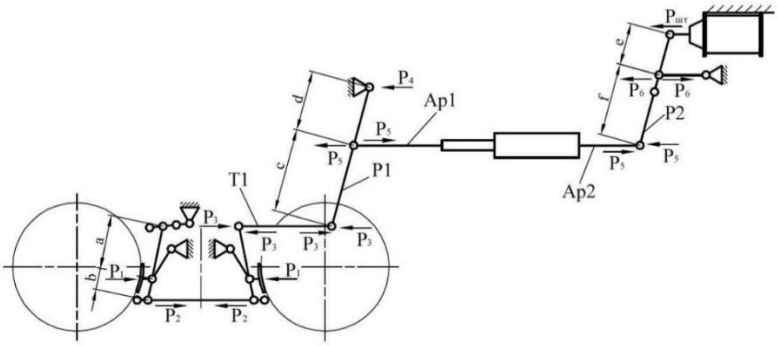


Рис. 2 Схема рычажной передачи платформы 13-3115

При этом следует отметить, что на практике получаются разные пределы минимальных и максимальных значений для разных типов рычажных передач при практически одинаковых передаточных числах. Для находящегося в эксплуатации вагонного парка эти пределы могут существенно отличаться, учитывая значительный разброс значений передаточных чисел, различное расположение мест установки авторегулятора, различные материалы износоустойчивых втулок и др. Уточнение этих пределов требует детальной проработки, однако очевидно, что руководствоваться одним значением как минимального, так и максимального выхода штока при его регулировке невозможно.

Применение адаптеров в буксовых узлах [9] существенно увеличит упругую составляющую выхода штока и использование цилиндров 008 и 710 будет практически невозможно. В связи с чем, общее руководство [3] необходимо откорректировать в части норматива выхода штока для вагонов с раздельным торможением.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Нижняя граница норматива 25 мм меньше минимально возможного расчетного выхода штока и регулировка штока на это значение для всех типов вагонов приведет к уменьшению среднего зазора $\delta_к$ менее 5 мм.

2. Получен минимальный (31 мм) и максимальный (120 мм) расчетные выходы штока для цилиндров 710 или 008 при регулировке рычажной передачи на композиционные колодки с массой брутто 75,3-100 т с тележками, имеющими типовые буксы. С учетом того, что современные тележки оборудуются буксами с адаптерами, на вагонах с раздельным торможением применение цилиндров с увеличенным ходом должно быть обязательным. Распространение применения таких цилиндров для всех вагонов с раздельным торможением (как на тележках с буксами, оборудованными адаптерами так и без) позволит избежать опасных состояний подвижного состава в эксплуатации.

УДК 629.423.3 + 06

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ80^{С} ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОПРОСОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

В.В. Сироткин
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Введение. Состояние вопроса

Одной из стратегических задач ОАО «Российские железные дороги», которые приводятся в [1, 2], является значительное сокращение электрической энергии на тягу поездов.

Вот уже несколько десятков лет обсуждается способ экономии электроэнергии − выведение (отключение) некоторой части тяговых двигателей, тележек, секций при работе с частичной нагрузкой и небольшой скорости движения на легких профилях пути. По этому техническому решению было опубликовано не только множество печатных работ, но и защищено несколько диссертаций. На электровозах постоянного и переменного тока − ВЛ10, ВЛ80 − была предложена система ОРМЛ, с помощью которой можно было отключить (принудительно) тяговые двигатели во время движения. В работе [3] сказано, что данная система включала в себя отключатель двигателей, который устанавливался в высоковольтной камере, а также тумблеры, расположенные на пульте машиниста. Дальнейшего развития эта система не получила: во-первых, отсутствовала возможность плавного регулирования, в отличие от более современных электровозов − ЭП20, 2ЭС5, 2ЭС10, а во-вторых − не было количественного критерия, опираясь на который, можно было бы определять необходимое и достаточное число работающих тяговых двигателей в зависимости от нагрузки локомотива.

Электровоз ВЛ80^{С} со ступенчатым регулированием напряжения является самым распространенным локомотивом, выполняющим грузовые перевозки. Опыт эксплуатации показывает, что положительный эффект от отключения некоторого числа тяговых электродвигателей можно достигнуть именно на грузовых электровозах. Предпринимались неоднократные попытки сокращения электроэнергии путем принудительного отключения двигателей при вождении легковесных поездов. Считаем необходимым отметить, что не был решен вопрос обеспечения наддува воздухом отключенных тяговых электродвигателей при реализации вышеприведенного способа (данный режим использовался в течение ограниченного времени).

Исходя из вышесказанного, необходимо вернуться к исследованию энергетической эффективности за счет отключения части тяговых электродвигателей при работе с неполной нагрузкой (на примере электровоза ВЛ80^{С}). Первым этапом нашего исследования будет формулировка задач для построения компьютерной модели электровоза как управляемой электромеханической системы.

Постановка задач компьютерного моделирования электровоза для изучения вопросов энергоэффективности

Для решения данной задачи целесообразно применить комплексное компьютерное моделирование электровоза ВЛ80^{С}. В настоящее время в области компьютерных моделей для исследования электромеханических процессов в тяговом приводе локомотивов накоплен достаточный опыт.

Основные вопросы, которые изучаются на комплексных компьютерных моделях, следующие [4]:

− динамические процессы в электрической и механической частях, определение характера изменения и предельных значений возникающих механических нагрузок, токов, напряжений;

− анализ поведения локомотива в нестационарных штатных и аварийных режимах, таких как трогание с места, разгон, торможение, отключение при перегрузках по току и др.;

− срыв сцепления в контакте «колесо-рельс»;

− **исследование влияния выбранных принципов и алгоритмов управления на тяговые свойства и энергопотребление локомотива, на работу его электрооборудования;**

− взаимодействие экипажа и пути в связи с необходимостью уменьшения износа профилей колес рельсов.

Для более подробного изучения вопросов, касающихся энергоэффективности, сформулируем основные задачи моделирования:

1. Создать полноразмерную компьютерную модель электровоза ВЛ80^{С} как управляемую электромеханическую систему: модель механической системы в ПК «Универсальный механизм», а модель силовой системы с изменениями, обеспечивающими

потележечное отключение тяговых электродвигателей, − в MatLab/Simulink. Параметры электрического оборудования (рис. 1) − тягового трансформатора (Тр), выпрямительных установок тяговых электродвигателей 1-ой и 2-ой тележек (ВУ1, ВУ2), сглаживающих реакторов (СР1, СР2) 1-го и 2-го тяговых двигателей, индуктивных шунтов типа ИШ-95, тормозных резисторов и т.д. − должны в полной мере соответствовать реально установленному на электровозе.

2. В схему вспомогательного привода (рис. 1) добавить блок питания мотор-вентиляторов, который обеспечит питание асинхронных электродвигателей мотор-вентиляторов трёхфазным напряжением пониженной частоты $\left(16\frac{2}{3}\ \text{Гц}\right)$, так как нельзя отключать вспомогательные машины на электровозе ВЛ80^{С} при использовании режима отключения части тяговых двигателей с целью недопущения загрязнения со стороны окружающей среды.

3. Построить модель грузового поезда, включающего электровоз ВЛ80^{С} и состав, которая будет воспроизводить режим ведения поезда.

4. Выполнить компьютерное моделирование движения грузового поезда на участке Лихая − Батайск − Новороссийск.

5. Исследовать переходные процессы, которые происходят при изменении числа работающих тяговых электродвигателей.

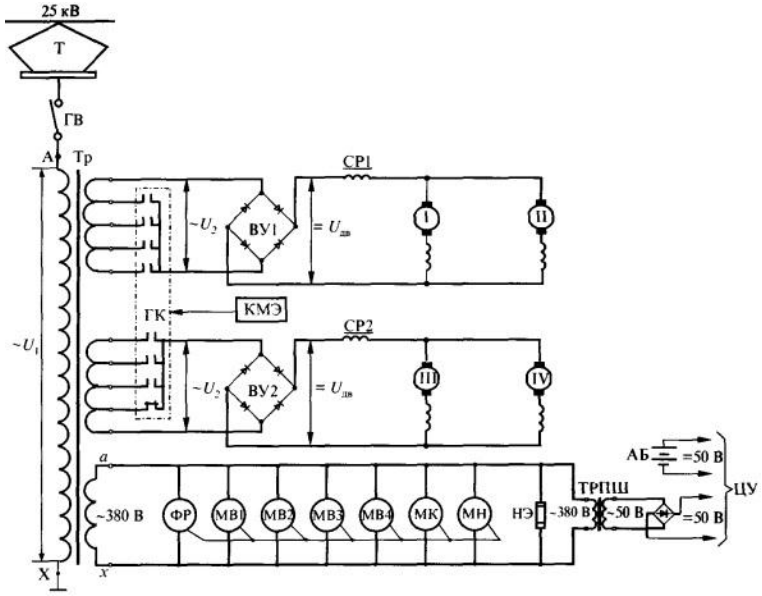


Рис. 1 − Упрощенная схема электрического и вспомогательного оборудования электровоза ВЛ80^{С} для одной секции [5]

Использование электронных систем ослабления возбуждения тяговых электродвигателей

В последнее время на железных дорогах Российской Федерации участились случаи хищения индуктивных шунтов (в них содержится большое количество меди). Они играют важную роль при переходных процессах в тяговых электродвигателях, их отсутствие в эксплуатации приводит к перерасходу электрической энергии на тягу поездов [6, 7].

На электроподвижном составе, который предназначен для эксплуатации с номинальным напряжением 25 кВ, используется шунтирование обмотки возбуждения тяговых электродвигателей сопротивлением (рис. 2).

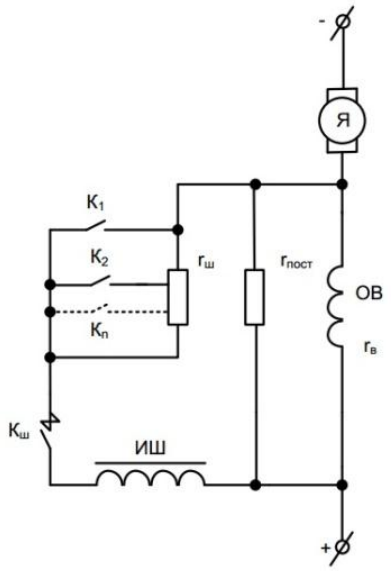


Рис. 2 − Схема шунтирования обмотки возбуждения тяговых электродвигателей электрического подвижного состава переменного тока [7]

Решение данной проблемы отражено в статье М.В. Калинина [7], им было предложено совершенствование систем регулирования возбуждения ТЭД на электровозе ВЛ80^{С} (ВЛ80^{Т}). Автор статьи предлагает использовать два альтернативных варианта: первый вариант включает в себя замену индуктивного шунта (ИШ-95) на безындуктивный шунт с использованием транзистора (рис. 3), второй − на основе однооперационного тиристора (рис. 4).

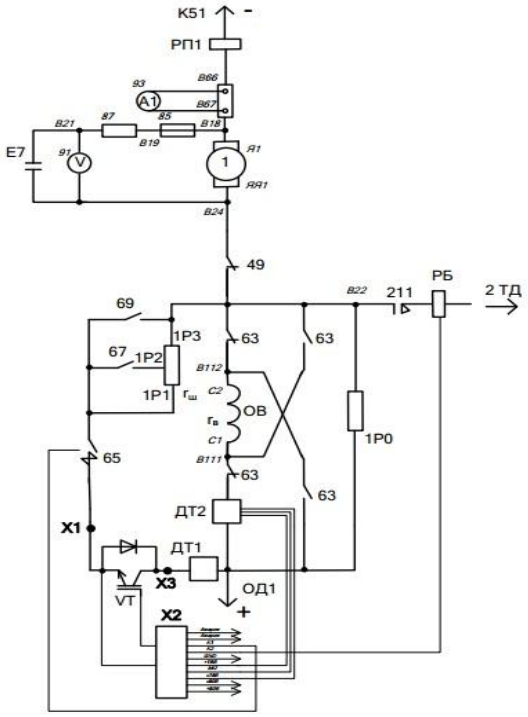


Рис. 3 - Схема безындуктивного шунта на основе транзисторного модуля [7]

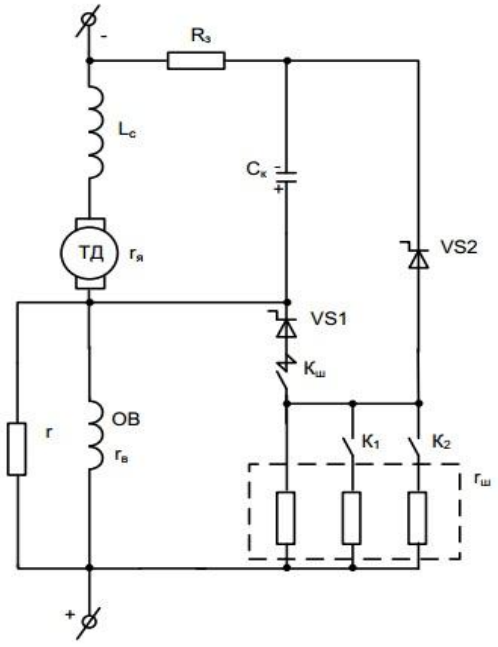


Рис. 4 − Схема подключения безындуктивного шунта на основе тиристоров [7]

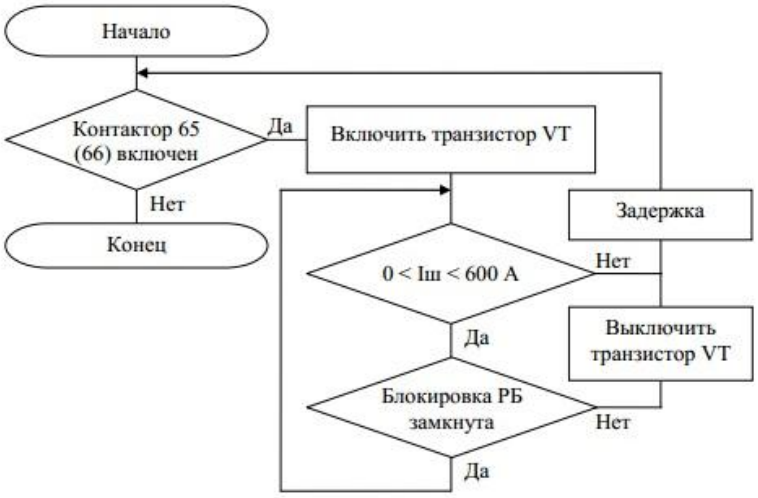


Рис. 5 − Алгоритм работы системы [7]

Схема, представленная на рис. 3, работает следующим образом: когда замыкается контактор 65 (66), то в систему управления, которая предназначена для проверки необходимых условий (ток не менее 600 А (ДТ1), замкнутое реле боксования (РБ), подается специальный сигнал на открытие транзистора. Если вышеуказанные условия не выполняются, то, в этом случае, алгоритм работы (рис. 5) предусматривает переход в полное возбуждение.

Рассмотрим работу безындуктивного шунта на основе однооперационного тиристора. В процессе пуска тяговых электродвигателей растет напряжение на обкладках конденсатора. Для того чтобы перейти в режим ослабления возбуждения по схеме, изображенной на рис. 4, отпирается тиристор VS1, коэффициент, учитывающий регулирование возбуждения, будет определяться не только величиной сопротивления резисторов, но и напряжением на полупроводниковом ключе. Если увеличивается напряжение питания в режиме ослабленного возбуждения поля, то ток в шунтирующей цепи начинает интенсивно нарастать (достигая заданной величины). Сигнал управления подается на тиристор VS2, что приводит к запиранию тиристора VS1. После его отключения, а также перезарядки конденсатора током, двигатель возвращается в режим нормального возбуждения.

Схемы, предусматривающие замену индуктивных шунтов на безындуктивные, прошли испытания, получили положительную оценку. При применении данных электронных систем ослабления возбуждения можно добиться повышения показателей эксплуатационной работы, увеличить количество поездов повышенного веса.

Выводы

1. Обоснована актуальность исследования по повышению энергетической эффективности за счет отключения некоторого числа тяговых двигателей.

2. Сформулированы задачи компьютерного моделирования электровоза ВЛ80^{С} для изучения вопросов энергоэффективности, решен вопрос обеспечения наддува воздухом отключенных тяговых двигателей.

3. При разработке электрической части компьютерной модели электровоза необходимо рассмотреть три схемы ослабления возбуждения: штатную, схему с использованием транзистора, схему на основе однооперационного тиристора.

УДК 534.014,621.802

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ НЕНАРУШЕНИЯ КОНТАКТА С НЕУДЕРЖИВАЮЩИМИ СВЯЗЯМИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

А.В. Елисеев[1], И.С. Ситов[2], С.В. Елисеев[3]
[1,3]ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия
[2]ФГБОУ ВО Братский государственный университет, Братск, Россия

Введение. К работам, содержащих результаты исследований контактных взаимодействий в колебательных системах, могут быть отнесены исследования в области виброперемещения [1] и виброударных процессов [2], теории механизмов и машин, динамики машинных агрегатов, в которых существование контакта обусловлено составным характером механической системы, задачами использования полезных свойств вибрационных процессов [3]. Для решения задач с односторонними или неудерживающими связями разработан широкий спектр методов [4].

В дополнении к исследованиям [5-8] полезной может оказаться разработка методологии по определению полных контактных реакций между элементами механических системы с учетом неудерживающего характера связей и оценки зависимости условий контакта от детализированных характеристик составного твердого тела, внешней среды, кинематического или силового возмущения.

1.Общие положения. Постановка задачи. Рассматривается механическая система, содержащая составное твердое тело, образованное двумя фрагментами с массами m_1 и m_2 в соответствии с рисунком 1.

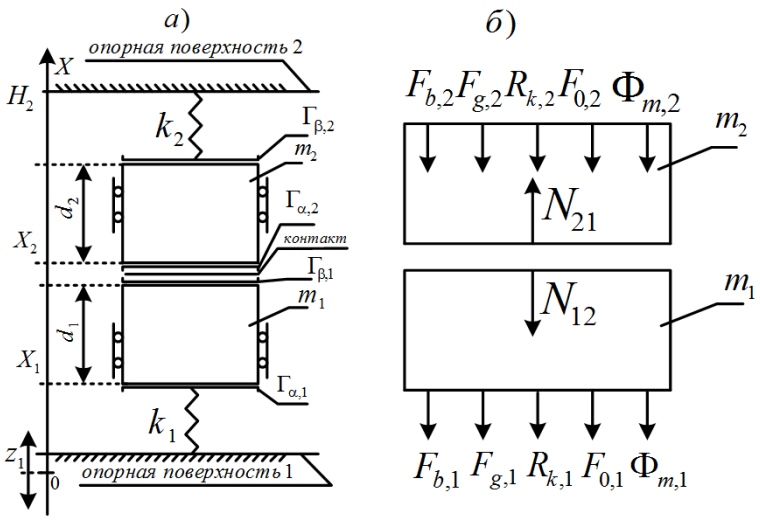


Рис. 1. Составное твердое тело с одной поверхностью контакта. а) Конструктивная схема. $\Gamma_{\beta,1}$, $\Gamma_{\alpha,2}$ - контактные поверхности, Z_1 - координата поверхности колебания, m_i - элементы составного твердого тела, k_i - упругий элемент, $i=1,2$. б) Учитываемые силы: $F_{b,i}$ - силы вязкого трения, $F_{g,i}$ - силы тяжести, $F_{0,i}$ -постоянные силы, $R_{k,i}$ -реакция со стороны упругого элемента, $\Phi_{m,i}$ -силы инерции, N_{12}, N_{21} - полные контактные реакции, опорная поверхность 1 - подвижна, опорная поверхность 2 - неподвижна

Составное твердое тело посредством упругих элементов с жесткостями k_1, k_2 и длинами в ненагруженном состоянии l_{01}, l_{02} помещено между опорными поверхностями 1 и 2. Предполагается, что составные элементы твердого тела, смещаясь в вертикальном направлении, имеют только одну степень свободы. Продольные размеры элементов равны d_1 и d_2. Фрагменты составного твердого тела с массами m_1 и m_2 образуют неудерживающий контакт. Плоскость контакта перпендикулярна линии действия сил. В качестве координат X_1, X_2 фрагментов твердого тела служат проекции плоскостей контакта $\Gamma_{\alpha,1}, \Gamma_{\alpha,2}$ на ось координат OX с началом в точке O.

Предполагается, что до момента времени $t=0$ система находится в положении статического равновесия и неподвижна. Начиная с момента времени $t=0$, опорная поверхность 2 совершает гармонические колебания $Z_1 = A_1 \sin \omega_1 t$ относительное начала координат O, вызывая колебание составного твердого тела. Параметры системы выбраны таким обрезом, что при нулевых или достаточно малых амплитудах и частотах колебания фрагменты составного твердого тела находятся в контакте. Предполагается, что рассматриваемая система устойчива.

На каждый составной элемент твердого тела действует сила вязкого трения $F_{b,i}$, сила тяжести $F_{g,i}$ и дополнительная постоянная сила $F_{0,i}$, которая не зависит от массы твердого тела:

$$F_{b,i} = -b_i \dot{X}_i, \quad F_{g,i} = -m_i g, \quad F_{0,i} = f_{0i}, \text{ где } i = 1,2. \tag{1}$$

Выражение неудерживающей связи для координат фрагментов имеет вид:

$$X_1 + d_1 \le X_2. \tag{2}$$

Состояние соприкосновения фрагментов выражается равенством:

$$X_1 + d_1 = X_2. \tag{3}$$

Предполагается, что гармоническое колебание опорной поверхности вызывает переходный процесс. В данном исследовании рассматривается исключительно стадия установившегося процесса.

Для определения безотрывного режима движения в фазе установившегося колебания за критерий сохранения контакта берется положительность полной контактной реакции $N_{21} > 0$ на интервале установившегося движения.

Задача заключается в определении условий безотрывного колебания составных элементов твердого тела в процессе установившегося движения в зависимости от параметров механической системы.

Для обозначения полной величины реакции, силы или смещения используется верхний индекс - Π, для статической компоненты индекс Σ, индекс Δ - для динамической.

2. Определение статической компоненты реакции. Предполагается выполнение условий реализации контакта для параметров системы:

$$X_{01} + d_1 - X_{02} + \frac{F_{g,1} + F_{0,1}}{k_1} - \frac{F_{g,2} + F_{0,2}}{k_2} \ge 0. \tag{4}$$

Статическая компонента реакции определяется из системы:

$$\begin{cases} R_{k,1}^{\Sigma} + F_{g,1} + F_{0,1} + N_{12}^{\Sigma} = 0, \\ R_{k,2}^{\Sigma} + F_{g,2} + F_{0,2} + N_{21}^{\Sigma} = 0. \end{cases} \tag{5}$$

Реакции $R_{k,i}^{\Sigma}$ упругих элементов для $i=1,2$ в зависимости от положения статического равновесия X_i^{Σ} имеют вид:

$$R_{k,1}^{\Sigma}=-k_1(X_1^{\Sigma}-X_{01}),\ R_{k,2}^{\Sigma}=-k_2(X_2^{\Sigma}-X_{02}), \tag{6}$$

где $X_{01}=l_{01}$, $X_{02}=H_2-d_2-l_{02}$.

Реакции $R_{k,1}^{\Sigma}$, $R_{k,2}^{\Sigma}$ со стороны упругих элементов в зависимости от величины N^{Σ} имеют выражение:

$$R_{k,1}^{\Sigma}=-F_{g,1}-F_{0,1}+N^{\Sigma},\ R_{k,2}^{\Sigma}=-F_{g,2}-F_{0,2}-N^{\Sigma}. \tag{7}$$

В соответствии с выражением (7), если силы веса и дополнительные постоянные силы равны нулю, то контактная реакция равна по модулю реакции со стороны упругого элемента.

Для обозначения свойств N_{21}^{Σ}, N_{12}^{Σ} вводится N^{Σ}:

$$N_{21}^{\Sigma}=N^{\Sigma},\ N_{12}^{\Sigma}=-N^{\Sigma}. \tag{8}$$

Статическая компонента может быть представлена в виде:

$$N^{\Sigma}=\frac{k_2k_1}{k_2+k_1}\left(X_{01}+d_1-X_{02}+\frac{F_{g,1}+F_{0,1}}{k_1}-\frac{F_{g,2}+F_{0,2}}{k_2}\right). \tag{9}$$

Статическая контактная реакция определяется метрическими характеристиками системы, представленными исходными размерами элементов, относительным положением опорных поверхностей и силовыми факторами.

3. Определение динамической компоненты реакции. Анализ состояний. Для нахождения величины динамической компоненты полная контактная реакции представляется в виде суммы статической и динамической компонент:

$$N_{21}^{\Pi}=N_{21}^{\Sigma}+N_{21}^{\Delta}. \tag{10}$$

Аналогично, полные смещения X_1^{Π}, X_2^{Π} представляются в виде суммы статической и динамической компоненты:

$$X_1^{\Pi}=X_1^{\Sigma}+X_1^{\Delta},\ X_2^{\Pi}=X_2^{\Sigma}+X_2^{\Delta}. \tag{11}$$

С учетом представления (11) условие реализации контакта (3) для динамических компонент смещения принимает вид:

$$X_1^{\Delta}=X_2^{\Delta}. \tag{12}$$

Система дифференциальных уравнений относительно динамического смещения X_i^{Δ} имеет вид:

$$\begin{cases} m_1\ddot{X}_1^{\Delta}+b_1\dot{X}_1^{\Delta}+k_1X_1^{\Delta}=f_{z_1}-N^{\Delta}, \\ m_2\ddot{X}_2^{\Delta}+b_2\dot{X}_2^{\Delta}+k_2X_2^{\Delta}=N^{\Delta}, \\ \dot{X}_1^{\Delta}(0)=0,\ \dot{X}_2^{\Delta}(0)=0, \\ X_1^{\Delta}(0)=0,\ X_2^{\Delta}(0)=0, \end{cases} \tag{13}$$

где величины $N_{12}^{\Delta}=-N^{\Delta}$, $N_{21}^{\Delta}=N^{\Delta}$ отражают свойство контактных реакций.

Система (13) представляет движение в зависимости от контактной реакции N^{Δ} связи, наложенной в виде условия на динамические компоненты (12).

Для определения характеристик движения в контакте производится преобразование Лапласа полученной системы (13) дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 p^2 \overline{X}_1 + b_1 p \overline{X}_1 + k_1 \overline{X}_1 = \bar{f}_{z_1} - \overline{N}^{\Delta}, \\ m_2 p^2 \overline{X}_2 + b_2 p \overline{X}_2 + k_2 \overline{X}_2 = \overline{N}^{\Delta}. \end{cases} \tag{14}$$

Функции $\overline{X}_1, \overline{X}_2, \bar{f}_{z_1}, \overline{N}^{\Delta}$ комплексной переменной p являются изображениями функций $X_1^{\Delta}, X_2^{\Delta}, f_{z_1}, N^{\Delta}$ преобразования Лапласа:

$$\overline{X}(p) = \int_0^{\infty} X^{\Delta}(t) e^{-pt} dt \quad . \tag{15}$$

Предполагается, что все необходимые требования для преобразования выполнены.

Изображение динамической компоненты контактной реакции имеет вид:

$$\overline{N}^{\Delta} = \frac{m_2 p^2 + b_2 p + k_2}{(m_1 + m_2) p^2 + (b_1 + b_2) p + k_1 + k_2} \bar{f}_{z_1} \quad . \tag{16}$$

Учитывая представление $\bar{f}_{z_1} = k_1 \overline{Z}_1$, где $\overline{Z}_1$ - изображение функции кинематического возмущения Z_1, может быть введена передаточная функция $W(p)$ с кинематического возмущения $\overline{Z}_1$ на динамическую компоненту контактной реакции $\overline{N}^{\Delta}$:

$$W_{\frac{N^{\Delta}}{Z_1}}(p) = \frac{k_1 (m_2 p^2 + b_2 p + k_2)}{(m_1 + m_2) p^2 + (b_1 + b_2) p + k_1 + k_2} \quad . \tag{17}$$

Таким образом, динамическая компонента контактной реакции может быть охарактеризована передаточной функцией $W_{\frac{N^{\Delta}}{Z_1}}(p)$.

Амплитудно-частотная характеристика передаточной функции $W(p)$ определяется соотношением:

$$A(\omega_1) = \left| W_{\frac{N^{\Delta}}{Z_1}}(j\omega_1) \right|, \text{ где } j^2 = -1. \tag{18}$$

Явное выражение амплитудно-частотной характеристики имеет вид:

$$A(\omega_1) = k_1 \sqrt{\frac{(k_2 - m_2 \omega_1^2)^2 + (b_2 \omega_1)^2}{(k_1 + k_2 - (m_1 + m_2)\omega_1^2)^2 + ((b_1 + b_2)\omega_1)^2}} \quad . \tag{19}$$

В основе оценки свойств динамического контакта лежит неравенство:

$$A_1 \cdot A(\omega_1) < N^{\Sigma}, \tag{20}$$

где A_1 - амплитуда колебания, N^{Σ} - статическая реакция, $A(\omega_1)$ - амплитудно-частотная характеристика.

Функция $A_1^{KP} = N^{\Sigma} / A(\omega_1)$, характеризующая критические значения, называется функцией критических амплитуд. Пример характерного множества амплитуд и частот, при которых реализуется контакт, представлен в соответствии с рисунком 2.

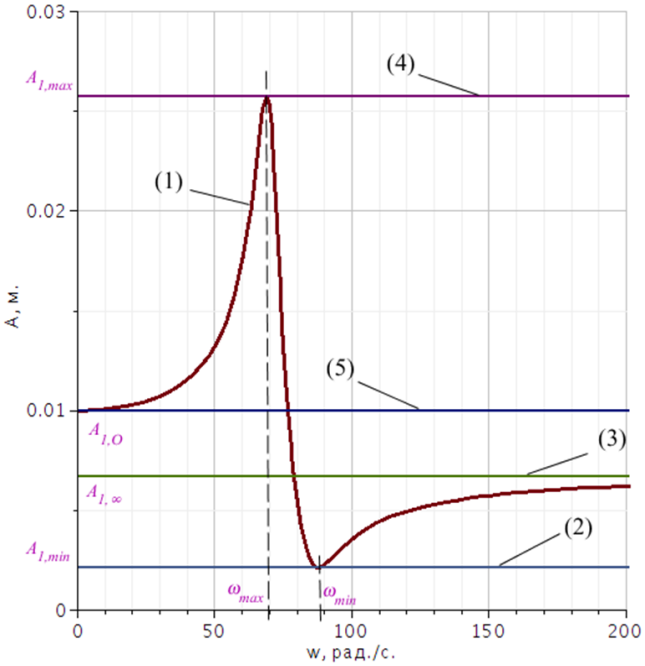


Рис. 2. Критическая амплитуда в зависимости от частоты. 1-график критических амплитуд, 2 –«нижняя» амплитуда, 3-«предельная» амплитуда, 4 –«верхняя» амплитуда, 5-«начальная» амплитуда

Критическая амплитуда контакта может быть представлена как однозначная функция частоты внешнего воздействия. Подграфик функции определяет амплитудно-частотную область контакта.

Заключение. Представленный материал позволяет сделать следующие предварительные выводы.

1. Предлагается подход к исследованию контактного взаимодействия составного твердого тела в механической колебательной системе, находящейся под внешним кинематическим воздействием с учетом неудерживающего характера связей.

2. Новизна предлагаемого подхода заключается в постановке задачи на определение условия контактного режима колебания механической системы на промежутке установившегося движения.

3.На примере модельных задач определение условий динамического контакта в зависимости от параметров системы представляет собою предпосылку для разработки технологии оценки и регулирования свойств механической системы.

УДК 519.6: 539.3

О ГЕНЕРАЦИИ КОЛЕБАНИЙ В ОСНОВАНИИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДА

Т.В. Суворова[1], О.А.Беляк[1], Е.А. Усошина[2]
[1]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2]*ООО «Ерогрупп», г. Ростов-на-Дону, Россия*

При движении железнодорожного состава по бесстыковому пути в широком диапазоне частот генерируются колебания, распространяющиеся как в окружающей среде,

так и в верхнем строении железнодорожного пути, подстилающей грунтовой среде. Математическое моделирование механизма возникновения и распространения колебаний является необходимым этапом при решении проблем защиты окружающей среды от акустического загрязнения, воздействия вибрации на придорожную инфраструктуру, мониторинга верхнего строения пути. Частные случаи на основе детерминированного подхода изучались в работах [1] - [3]. При этом наиболее неизученными являются вопросы о спектре колебаний и их дисперсии в зависимости от рассматриваемого объекта моделируемой системы, роль случайных воздействий при движении состава, например, неравноупругость пути, дефекты реборд колес, рельсов и т.д. Необходимым этапом при декомпозиции системы является изучение составляющих задач, позволяющих оценить влияние параметров колебательного процесса и построить в дальнейшем оптимальную модель. В настоящей работе предложен подход, основанный на анализе решений контактных задач теории пороупругости и экспериментальных данных, позволяющий численно оценить степень влияния параметров входящих в систему объектов.

Рассматриваются гармонические колебания непроницаемого массивного прямоугольного штампа, расположенного на поверхности неоднородного основания, представляющего пакет вязкоупругих и пористо-упругих слоев. В декартовой системе координат пакет из n-1 вязкоупругих и пористо-упругих слоев соответственно занимают области:

$$-\infty < x < \infty, -\infty < y < \infty,\ 0 \le z \le h_1, h_1 \le z \le h_2,.\ h_{n-2} \le z \le h_{n-1},$$
$$-\infty < x < \infty, -\infty < y < \infty,\ h_{n-1} \le z \le h_n. \tag{1}$$

На лицевой поверхности слоистой среды расположен прямоугольный штамп массой M, колеблющийся под действием приложенной к нему центральной силы. Штамп контактирует с лицевой поверхностью по области

$$z = 0, -a \le x \le a, -1 \le y \le 1.$$

Вне штампа лицевая поверхность основания не нагружена.

В качестве наиболее экспериментально подтвержденной модели грунтовых сред примем модель Био. Перемещения пористоупругой обводненной среды, состоящей из упругого скелета и пор, заполненных смесью вязкой жидкости и газа, определяются уравнениями Био-Френкеля [4].

$$\rho_{11}\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} + \rho_{12}\frac{\partial^2 v_i}{\partial t^2} + b\left(\frac{\partial\ u_i}{\partial t} - \frac{\partial\ v_i}{\partial t}\right) = \sigma^s{}_{ij,i},$$

$$\rho_{12}\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} + \rho_{22}\frac{\partial^2 v_i}{\partial t^2} - b\left(\frac{\partial\ u_i}{\partial t} - \frac{\partial\ v_i}{\partial t}\right) = \sigma^f{}_{,i}\ ; i = 1,2,3 \tag{2}$$

Здесь $u_i(x,y,z,t), v_i(x,y,z,t), i = 1,2,3$ – компоненты векторов перемещений твердой и фазы и флюида.

В предположении линейности и изотропности пористой твердой фазы закон Гука для пористо-упругой насыщенной жидкостью среды имеет вид:

$$\sigma_{ij}^s = Ae\delta_{ij} + 2Ne_{ij} + Q\varepsilon\delta_{ij}, \quad \sigma^f = Qe + R\varepsilon,$$
$$e = div\bar{u},\ \varepsilon = div\bar{v},\quad \Gamma_{ij} = \sigma_{ij}^s + \delta_{ij}\sigma^f, \tag{3}$$

где Γ_{ij} – тензор полных напряжений,

e_{ij} и ε_{ij} – тензоры деформации твердой фазы и флюида;

δ_{ij} - символ Кронекера, $\delta_{ii}=1, \delta_{ij}=0 \; i \neq j$, $b=\eta\, m^2/k_o$.

A, N, Q, R – механические постоянные гетерогенной среды,

ρ_{ij} – эффективные плотности, коэффициент b зависит от пористости среды m, коэффициента вязкости жидкости и проницаемости среды, степени аэрации жидкости.

Соотношения (1) – (3) записаны в безразмерном виде, линейные величины отнесены к характерной единице длины – ширине штампа, напряжения – к обобщенному модулю пористоупругости одного из слоев $H = A + 2N + Q + R$.

Перемещения в вязкоупругих слоях описывается с помощью уравнений Ляме.

В области контакта гетерогенные слои непроницаемы, и выполняются условия равенства перемещений и напряжений в упругих скелетах, равенство нулю относительной скорости жидкой и упругих фаз.

Силы трения между непроницаемым штампом и поверхностью основания отсутствуют, вне штампа напряжения и давление в жидкости равны нулю. На границе среды под штампом имеют место условия

$$u_3(x,y,t) = f(x,y)e^{-i\omega t}, \;\; u_3(x,y,t) = v_3(x,y,t),$$
$$(x,y) \in \Omega, \Omega : |x| \le a, |y| \le 1. \tag{4}$$

Требуется найти распределение контактных нормальных напряжений под штампом, а также связь между воздействующей силой P и осадкой штампа $f(x,y)$, перемещения лицевой поверхности среды вне штампа. Задача рассматривается в установившемся режиме.

Применением двумерного преобразования Фурье к уравнениям и граничным условиям (1–3), с помощью рекуррентных алгебраических преобразований, описанных в [4], решение контактной задачи для стратифицированной гетерогенной обводненной среды сводится к системе парных интегральных уравнений, для нормальных колебаний имеющей вид:

$$\iint_{\Omega} \int_{\Re_1} \int_{\Re_2} K(\sqrt{\alpha^2+\beta^2}) e^{i\alpha(x-\xi)+i\beta(y-\eta)} q(\xi,\eta) d\alpha d\beta d\xi d\eta = f(x,y), (x,y) \in \Omega,$$
$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-a}^{a} \int_{-1}^{1} q(\xi,\eta) e^{i\alpha(x-\xi)+i\beta(y-\eta)} d\alpha d\beta d\xi d\eta = 0, \qquad (x,y) \notin \Omega. \tag{5}$$

Метод построения функции Грина $K(u)$ и ее вид, имеющей весьма громоздкое выражение, описан в работах [1], [5] в случае слоистых пористо-упругих оснований различного строения.

В случае установившегося режима колебаний с частотой ω к системе (5) должны быть присоединены дифференциальные уравнения движения штампа, которые в амплитудных значениях и безразмерных величинах имеют вид:

$$M\omega^2 f(x,y) = P(x,y) - \iint_{\Omega} q(x,y) dx dy, \tag{6}$$

где $P(x,y)$ - нагрузка, приложенная к штампу.

Контактные напряжения разыскиваются в виде ряда по многочленам Чебышева с выделенной особенностью на краях штампа:

$$q(x,y)=\sum_{k=0}^{\infty}\sum_{l=0}^{\infty}\frac{R_{kl}T_{2k}(x/a)T_{2l}(y)}{\sqrt{a^2-x^2}\sqrt{1-y^2}};\ T_k(x)=\cos k\arccos x. \tag{7}$$

Подставим представления (7) в систему интегральных уравнений (5). На основании свойств ортогональности многочленов Чебышева второе интегральное уравнение системы (5) тождественно удовлетворяется, а кратность интегралов в первом интегральном уравнении уменьшается в два раза за счет аналитического вычисления интегралов по конечным отрезкам, при этом используется связь многочленов Чебышева и функций Бесселя:

$$\int_{-a}^{a}\frac{e^{ipx}T_k(x/a)}{\sqrt{a^2-x^2}}dx=i^kJ_k(ap) \tag{8}$$

$J_k(ap)$ - функция Бесселя первого рода k порядка. С использованием соотношений (6)-(8) система интегральных уравнений приводится к решению бесконечной системе алгебраических уравнений, которая решается методом редукции, для симметричных колебаний плоского штампа она имеет вид:

$$\sum_{k=0}^{N}\sum_{l=0}^{N}K_{kl}(x_k,y_l)R_{kl}=P(x_k,y_l)/\vartheta_0,$$

$$K_{kl}=\int_{\Re_1}\int_{\Re_2}K(u)e^{i(\alpha x_k+\beta y_l)}J_{2k}(\alpha a)J_{2l}(\beta)d\alpha d\beta-\vartheta_0\delta(0,0),$$

$$u=\sqrt{\alpha^2+\beta^2},\ \vartheta_0=M\omega^2,\delta(k,l)=\begin{cases}1,k=l,\\0,k\neq l.\end{cases},$$

где N – количество членов, оставленных в разложении.

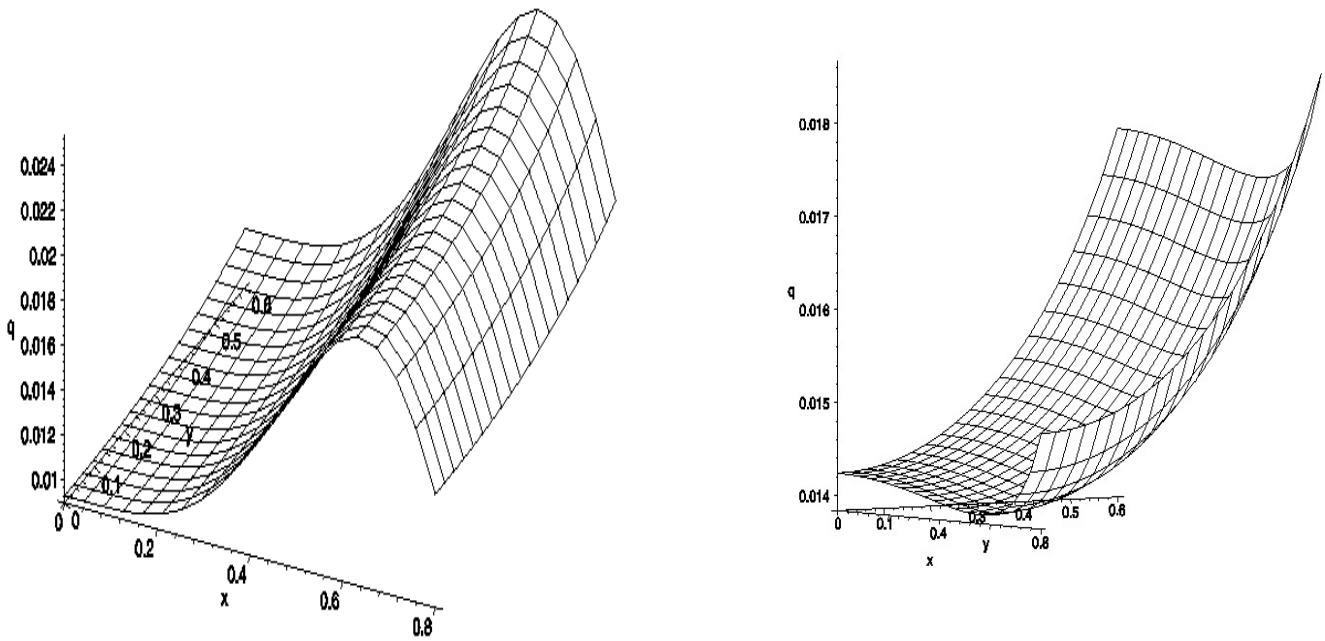


Рис.1 − Распределение контактных напряжений под четвертью квадратного штампа при различных частотах колебаний, симметричное нагружение

При решении последней системы используется метод коллокации. В качестве узлов коллокации выбирались нули полиномов Чебышева, распределенных на отрезке $[0, a-\varepsilon]\times[0{,}1-\varepsilon]$ В зависимости от частоты колебаний оптимальное количество узлов коллокации равно 4–6. Сходимость процесса оценивалась численно по относительной погрешности контактных давлений и по точности удовлетворения граничных условий. Погрешность вычислений в диапазоне низких и средних частот не превышает, как правило, 4,6 %.

Перемещения лицевой поверхности среды в случае плоского выражаются через решения системы (8) в виде:

$$u(x,y)=\sum_{k}^{N}\sum_{l}R_{kl}\int_{\Re_1}\int_{\Re_2}K(u)e^{i\alpha x+i\beta y}J_{2k}(\alpha a)J_{2kl}(\beta)d\alpha d\beta$$

На рис. 1 приведены графики, иллюстрирующие распределение контактных напряжений под первой четвертью квадратного штампа при различных частотах колебаний пористого двухслойного полупространства. Данные для гетерогенного основания, соответствуют суглинку и уплотненному щебню.

На основании решения контактной задачи о прямоугольном штампе позволяет сделать вывод о степени влияния соседних шпал друг на друга при движении поезда, степень воздействия шпал на верхнее строение пути. Постановка задачи позволяет учитывать дополнительные случайные составляющие, присутствующие в реальном процессе, например, неравноупругость пути, дефекты реборд колес, рельсов.

Взаимное влияние соседних шпал незначительно, ввиду структуры балласта и его свойств как низкочастотного фильтра. Дискретность области контакта при действии поездной нагрузки на рельсошпальную решетку прослеживается до глубины 0.1 – 0.2 м, при этом 94% уровня давлений колесной тележки распространяются на область, занятую 3 - 5 шпалами. Два колеса тележки практически не дают сдвига фаз в генерируемых колебаниях. Наиболее значимый вклад в колебательный процесс определяется эффективным количеством колеблющихся шпал, занимающих прямоугольную область. На основании этих выводов и экспериментальных данных построена теоретическая амплитудно-временная и амплитудно-частотная характеристики колебаний, генерируемых пассажирским вагоном, движущимся со скоростью 56 км/ч.

Контактные напряжения аппроксимируются многочленом $q(x)\approx q*(x)$. Размер области контакта подобран в соответствии с эффективным количеством шпал, участвующих в динамическом процессе при прохождении над ними по рельсу колеса тележки вагона а=3,6 м. Далее рассмотрим движение одного вагона, имеющего 4 колесные тележки. Используем метод суперпозиции для вычисления теоретической амплитудной характеристики перемещений задачи о воздействия поездной нагрузки на верхнее строение пути и грунтовую среду

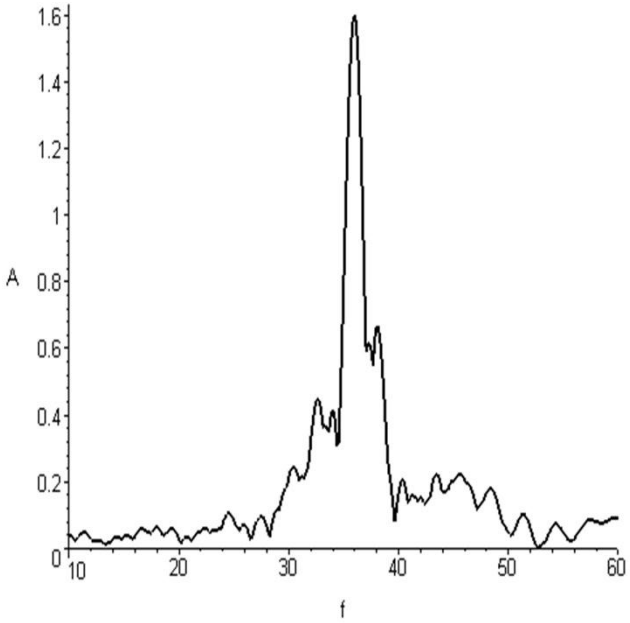
$$u*(t)=\sum_{k=1}^{4}q*\left(\frac{x_1-t_k}{t_z}\right)H(x_1,t_k,t_k+t_z),$$
$$H(x,a,b)=\begin{cases}\eta, a\le x\le b\\ 0, x\in[a,b]\end{cases}. \qquad (9)$$

Здесь для краткости записали случай прохождения первого вагона с четырьмя тележками, где $t_z=a/V;\quad x_1=x-t_5[x/t_5];\quad x_2=x-t_6[x/t_6];$

Коэффициент η определяется из численного эксперимента.

Применяя к теоретической амплитудной характеристике (9) преобразование Фурье, получаем амплитудно-частотную характеристику поверхностных воздействий. Далее для учета свойств подстилающего основания по теореме о свертке преобразований Фурье, находится произведение спектра основания (здесь это амплитудно-частотная характеристика пористо-упругого полупространства) и спектра поверхностных воздействий. В результате получаем теоретически построенную амплитудно-частотную характеристику, приведенную на рис. 2. (слева).

Амплитудно-временные характеристики, полученные в ходе натурного эксперимента, подтверждают выводы теоретических исследований о законе убывания перемещений по мере удаления от области приложения нагрузки. При удалении от магистрали сигнал угасает и «размывается», степень убывания перемещений качественно соответствует теоретическому закону, определенному формулой на основании решения контактной задачи.



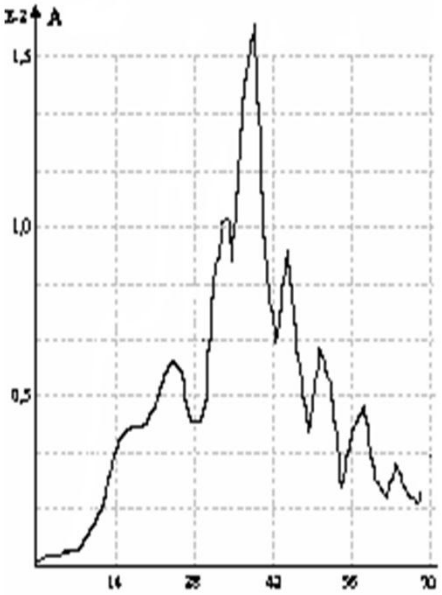


Рис. 2 − Экспериментальная АЧХ (справа) и АЧХ, построенная теоретически (слева)

В ближней зоне балластной призмы, прилегающей грунтовой среды наиболее полно проявляются сигналы отклика, возбуждаемые проходящим поездом. Колебательный процесс системы «железнодорожный состав − верхнее строение пути − грунтовая среда» представляет собой наложение множества гармоник разной интенсивности, обусловленных конструкцией рельсошпальной решетки, проходящих вагонов, а также свойствами балласта, грунта основания.

Для определения доминирующих частот, оценки энергетического вклада различных гармоник по экспериментальным данным амплитудно-временной характеристики (АВХ) строится амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) с помощью оконного преобразования Фурье.

Как показывает спектральный анализ АВХ, диапазон частот (20 Гц, 45 Гц) является наиболее энергоемким и опасным с точки разрушительного влияния внешних воздействий.

Совпадение и подобие спектральных характеристик является основным критерием идентичности динамических процессов в системах. Достоверной оценкой адекватности построенной модели служит сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

Для этого сравниваются амплитудно-частотные характеристики, полученные на основе математического моделирования задачи и натурных экспериментальных данных.

На рисунке 2 показаны две кривые: огибающая экспериментальной амплитудно-частотной характеристики перемещений, и теоретическая построенная АЧХ перемещений. Последняя кривая построена с помощью непрерывного преобразования Фурье, которое применялось к теоретически построенной АВХ. При этом использовались аппроксимации перемещений и напряжений, полученные при решении модельной контактной задачи.

В основном диапазоне частот (32 Гц, 50 Гц) кривые совпадают с погрешностью около 9%. Этот факт подтверждает адекватность построенной математической модели.

При построении теоретической АЧХ возможно учитывать и случайные факторы, разработанный метод это позволяет сделать при добавлении в функцию $P(x,y)$ случайной составляющей, спектральное представление которой экспериментально получено и описано.

Кроме этого, описанный подход позволяет при наличии данных геологических изысканий более полно учитывать свойства подстилающей среды.

УДК 629.45/46:638

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

И. Ш. Элязов[1], В. Г. Равлюк[2]
[1]АзТУ «Азербайджанский Технический Университет», г. Баку, Азербайджан
[2]УкрГАЖДТ «Украинская Государственная Академия Железнодорожного Транспорта», г. Харьков, Украина

В эксплуатации и ремонта для сохранения технического состояния вагонного парка служит планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта [1-4]. Однако такая система не использует ресурсы всех составных частей вагона и приводит к увеличению затрат на содержание и ремонт. Последние исключаются при обслуживании и ремонте узлов вагона по их техническому состоянию. Такую систему можно применять только при развитом техническом диагностировании вагонов. Нормативно-техническая документация – НТД, регламентирующая операции обслуживания и ремонта вагонов, представляет собой ряд взаимосвязанных инструкций. Основные нормативы и требования в них относятся к периодичности контроля, номенклатуре и последовательности операций, а также показателям предельного состояния деталей и узлов вагона. На этой основе корректируются параметры технического состояния в качестве обратной сети контроля. Сам контроль включает следующие основные функции: получение информации о состоянии объекта; обработку и анализ информации; принятие решение и прогнозирование технического состояния объекта (вагон). Исходя вышеуказанным понятиям, контроль технического состояния вагона представим в структурной схеме рис. 1. (ТСВ-техническое состояние вагона, ИПТСВ- измерение параметров ТСВ, АиС-анализ и сравнение, РиП-решение и прогноз, РПТСВ- регулирование параметров ТСВ)

Под контролем понимают совокупность некоторых измерительных, вычислительных и логических операций, по результатам выполнения которых можно судить о фактическом состоянии контролируемого объекта и, соответственно, принимать необходимые меры по его управлению [1, 6, 7].

Отождествляя цели контроля с конечными результатами, на достижение которых они направлены, их можно сформулировать следующим образом. Для восстанавливаемых объектов, к каким относятся вагоны, а также их узлы и подсистемы, допускающие

проведение различного рода регламентных работ, профилактических проверок и других мероприятий по ремонту и обслуживанию, основными целями контроля являются:

- объективная проверка соответствия характеристик вагона (или его узла) предъявляемым требованиям;
- уменьшение времени восстановления работоспособности за счет снижения удельного веса времени на поиск и обнаружение отказавшего элемента;
- повышение ремонтопригодности за счет более рационального выбора структуры объекта и, в частности, путем оптимального расчленения его на восстанавливаемые (обслуживаемые) элементы;
- снижение общих затрат на обслуживание, сокращение численности обслуживающего персонала с одновременным снижением требований к его квалификации.

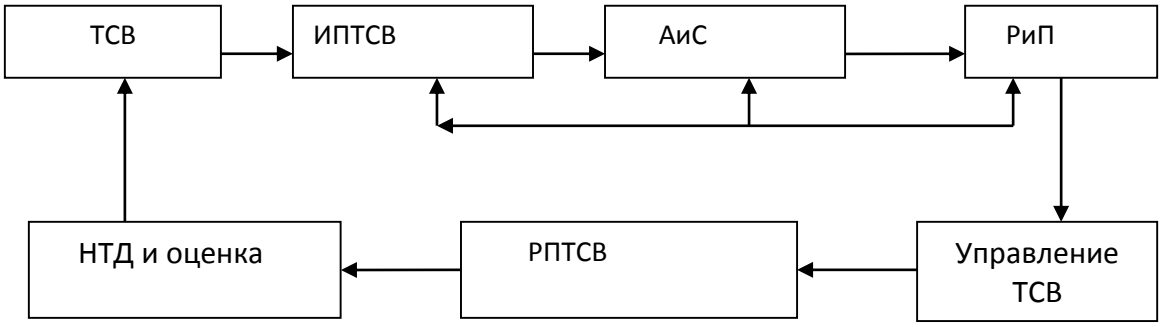


Рис. 1. Структурная схема управления техническим состоянием вагона

В настоящее время наиболее перспективным является применение автоматического контроля, который обеспечивает решение следующих сложных задач:

- проверку правильности выполнения вагоном (узлом) своих основных функций;
- своевременное обнаружение факта и места отказа;
- принятие эффективных решений по управлению объектом при возникновении отказа (переключение неисправных элементов на резервные, включение устройств защиты, изменение режима работы и т.д.);
- прогнозирование возможных отказов и выбор необходимых мер по их предотвращению.

Таблица 1. Классификация и виды технического контроля

	Классификация контроля	Виды технического контроля
1	По этапам выполнения	Входной - поступающего оборудования, Текущий - в процессе ТО и ремонта, Выходной после ТО и ремонта, Приемочный (окончательный) Контроль в эксплуатации
2	По охвату проверяемых объектов	Сплошной Выборочный простой Выборочный статистический
3	По месту осуществления	Стационарный Передвижной
4	По степени технической оснащенности	Ручной Механизированный Автоматизированный (активный и пассивный)
5	По виду проверяемых параметров и применяемых	Визуальный Геометрический

	средств	Механический Химический Металлографический
6	По положению в производственном процессе	Предупредительный Инспекционный
7	По виду организации Контроля	Самоконтроль исполнителем работу, Одноступенчатый с помощью ОТК и приемщика вагона, Многоступенчатый

Применение средств автоматического контроля обеспечивает повышение достоверности процессов передачи и обработки данных в информационно-управляющих системах, а также значительно увеличить продолжительность работы объектов и систем управления. Кроме того, анализ результатов длительного функционирования таких средств создает необходимые предпосылки к совершенствованию самого объекта контроля, т.е. к уточнению его структуры и параметров, перестройке технологии производства, выбору оптимальных режимов работы и др. Таким образом, контроль занимает важное место в создании и эксплуатации современных вагонов [3, 5, 8].

Анализируя состав и характер функций, реализуемых с помощью технических средств контроля, можно выделить основные (узловые) задачи. В данной статье такими задачами приняты следующие предложения:

- определение технического состояния вагона в текущий момент времени;
- определение места и причины возникновения отказа (задача технической диагностики);
- устранение неисправностей (в общем плане - принятие решения о необходимости резервирования, ремонта, регулировки и других мер по обслуживанию);
- определение технического состояния вагона (узла) в будущий момент времени (прогнозирование отказов);
- накопление и обработка статистических данных о влиянии условий эксплуатации, конструкции и ТО на технические характеристики.

В зависимости от назначения технических средств контроля и особенностей их построения, не все из перечисленных задач контроля должны решаться в одинаковом объеме. Вместе с тем, эффективность решения каждой из этих задач во многом зависит от понимания сущности тех процессов, которые протекают в контролируемом объекте; от того, насколько тесно методы и средства контроля увязаны со спецификой одновременно решаемых задач по управлению данным объектом [6-8].

На рис. 2 приведена структура задач, решаемых системами контроля, а в табл. 1 классификация и виды технического контроля.

По вышеуказанным понятиям задачи контроля можно условно разделить на три основные взаимосвязанные направления:

- научно-методические основы контроля;
- организационные основы контроля;
- исследование, разработка и внедрение при проведении ТО методов и средств контроля конкретных узлов. Работы по первому направлению включают в себя:
- конкретизацию и внедрение в практическую деятельность вагонных депо основных понятий и терминологии в области контроля и диагностики;
- исследование и разработку основных принципов обеспечения контроля пригодности вагонов, включающих требования к контролю пригодности, ее критерии, методы обеспечения и оценки на всех этапах создания и эксплуатации вагонного парка;
- разработку требований к средствам контроля;
- исследование и формирование моделей объектов и процессов контроля;

- исследование и разработку методов выбора контролируемых параметров, синтеза алгоритмов контроля при обслуживании и ремонте вагонов;
- определение и оптимизацию режимов контроля в условиях различных стратегий эксплуатации вагонов;
- исследование и разработку методов оценки технического состояния узлов вагонов, и принятия соответствующих решений по их эксплуатации на основании результатов контроля.

Работы по второму направлению содержат:

- анализ условий и стратегий эксплуатации вагонов и определения места работ к контролю в эксплуатации в организационном и временном аспектах;
- исследование и организацию процессов проведения различных этапов контроля и принятия решения по дальнейшей эксплуатации;
- исследование и разработку методов оценки эффективности системы контроля;
- исследование и организацию информационного и метрологического обеспечения системы контроля.

Рис. 2. Структура задач, решаемых системой контроля

Работы по третьему направлению проводят согласно структуре, показанной на рис. 2, с использованием результатов работ по первым двум направлениям. Исследования ведутся с параллельным использованием материалов по физическим процессам, протекающим в объекте контроля, и статистическим данным.

Сбор и обработка статистических данных дает материалы о частоте или вероятности появления неисправностей и о возможности (вероятности) их выявления путем измерения

параметров. Комплексный анализ результатов этих исследований позволяет выделить признаки и функции, недопустимых и подлежащих контролю технического состояния. Такие исследования дают материалы для окончательного выбора контролируемых параметров и синтеза алгоритмов контроля.

Общая структура проведения контроля технического состояния вагонов представлена на рис. 3. Она включает в себя получение статистической информации, как по отдельным узлам, так и по всему вагону в целом. Эта информация, а также эксплуатационная информация обрабатывается, а ее результаты влияют на принятие решения по дальнейшей эксплуатации или проведение технического обслуживания и текущего ремонта.

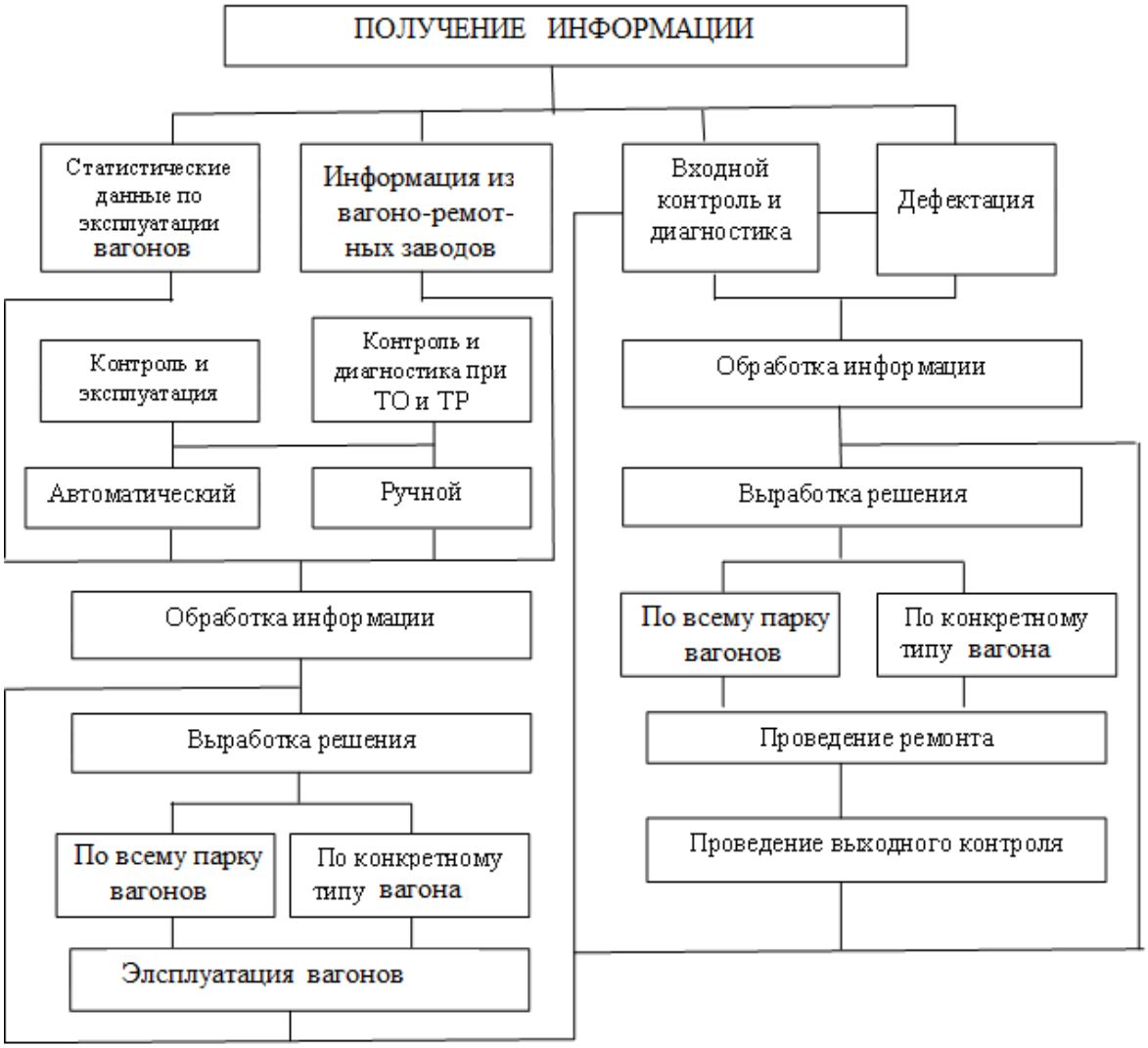


Рис. 3. Общая структура проведения контроля технического состояния вагонов

Распределение задач контроля и диагностирования на различных жизненных этапах вагона приведено в табл. 2.

В результате исследования физических процессов выдаются данные об изменении значений параметров объекта при изменении его технического состояния. Эти данные позволяют синтезировать модель объекта контроля, а также проанализировать возможности измерения тех или иных параметров.

Таблица 2. Распределение задач контроля

Задачи контроля и диагностики	Жизненный цикл вагона				
	Эксплуатация	Техническое обслуживание		Текущий ремонт	
		Оперативное	Периодическое	в депо	на заводе
Контроль технического состояния	Контроль исправности и работоспособности по параметрам встроенных средств контроля	Проверка готовности к поездке	Контроль исправности, работоспособности, демонтаж отказавших элементов, контроль их технического состояния	Замена отказавших элементов, контроль узлов после замены или ремонта, регулировка узлов	Входной контроль, демонтаж, ремонт, монтаж, выходной контроль
Диагностирование	Поиск неисправности с применением встроенных средств диагностики	Поиск неисправности с глубиной до элемента, замена и регулировка которого не сказывается на увеличении времени простоя, демонтаж отказавших элементов, их диагностирование		Диагностирование элементов идущих на замену, замена отказавших элементов, регулировка	Входное диагностирование, демонтаж, дефектация ремонт, монтаж, выходной контроль

Выводы. В статье представлена структурная схема технического состояния вагона, классификация и виды технического контроля. Общая структура проведения контроля технического состояния вагонов представлена в табличной и структурной форме.

Проведен анализ целей и задач контроля вагонов при проведении ТО и ремонта. Показано, что существующие методы контроля реализуются двумя видами: прямыми и косвенными. Раскрыты характеристики этих видов, показана их результативная значимость, а также достоинства и недостатки в том или ином конкретном случае.

СЕКЦИЯ 3
ПРОБЛЕМЫ ТРЕНИЯ, ИЗНОСАСМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СМАЗКИ

УДК 623.526.6

ТРИБОХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ

Албагачиев А.Ю., Лукашев Е.А., Сидоров М.И., Ставровский М.Е., Albagačiev A.Y., Lukashev E.A., Sidorov M. I., Stavrovskij M.E.
Институт машиноведения РАН им .А.А. Благонравова

Известно, что диссипация энергии при внешнем трении обусловлена преодолением молекулярного взаимодействия (адгезии) и деформированием поверхностного слоя (когезии). Коэффициент трения f включает молекулярную (f_{mol}) и механическую (f_{mech}) составляющие. Первая локализуется на глубине порядка 0,01мкм, вторая – в поверхностных слоях толщиной порядка 0,1мкм и более. Составляющие коэффициента трения принимаются аддитивными, поскольку различны уровни, на которых проходят эти процессы.

$$f = f_{\text{mol}} + f_{\text{mech}}, \tag{1}$$

Для резин отношение $\frac{f_{\text{mol}}}{f_{\text{mech}}}$ составляет 1, для полимеров – 10, для металлов - 100 [1].

Основным безразмерным критерием, по которому оценивается молекулярная составляющая трения, является отношение $\frac{\tau}{\sigma_{\text{T}}}$, где τ - сдвиговое сопротивление молекулярной связи, σ_{T} - предел текучести основы. Для молекулярного трения было предложено соотношение [2]:

$$\tau = \tau_0 + k_T P_F, \tag{2}$$

где k_T - пьезокоэффициент молекулярной составляющей трения, P_F - фактическое давление. Третье тело при трении оказывает существенное влияние на τ и σ_{T}. Так, оксидные пленки повышают предел текучести кристаллических тел благодаря проникновению оксида в микротрещины, диффузии кислорода в кристаллы при деформации, трудности отражения или выхода дислокаций, затруднению скольжения на границах кристалла, блокировке источников Франка-Рида [4]. Повышение температуры до некоторого предела мало влияет на τ и σ_{T}, выше этого предела – существенно изменяет их (обычно снижает). По результатам экспериментальных исследований предложена корреляционная формула [5]

$$f_{\text{mol}} = k_1 + \frac{k_2}{h_0/h_K}, \tag{3}$$

где h_K и h_0 - протяженность выступов и впадин в направлении скольжения; k_1 и k_2 - коэффициенты, зависящие при заданных режимах трения от смазочного материала.

Механическая составляющая трения в установившемся режиме обусловлена гистерезисными потерями в связи с неравновесностью процессов вязкоупругого передеформирования материала на участках фактического касания [6]. Степень неравновесности этих процессов и величина потерь на гистерезис зависят от соотношения временных интервалов протекания релаксационных процессов в среде и нагружения материала. К основным безразмерным критериям, по которым можно оценить f_{mech}, относятся коэффициент гистерезисных потерь (k_G) и отношения $\frac{D}{r}$, где D - глубина внедрения единичной неровности, моделированной сферой радиуса r. Предложены расчетные формулы f_{mech}, в которых эта величина пропорциональна $\left(\frac{D}{r}\right)^{1/2}$ [7, 8].

Единого мнения по важному вопросу о влиянии нагрузки на коэффициент трения до настоящего времени нет [1]. Противоречивость результатов объясняется разными условиями эксперимента. Если контакт сосредоточенный, то при пластическом деформировании и достаточной смазке f приблизительно пропорционален $N^{1/2}$, а при упругом деформировании эта связь слабее. Для малой номинальной площади контакта эта зависимость выражена еще меньше, при достаточной смазке f пропорционален N в степени $\frac{1}{5} \div \frac{1}{7}$ при упругом деформировании и $\frac{1}{4} \div \frac{1}{6}$ при пластическом деформировании. Для протяженных поверхностей f практически не зависит от нагрузки, что объясняется их волнистостью; при этом контактное давление P_K зависит от нормальной нагрузки N в степени, значительно меньше 1, а f зависит от P_K в такой же степени. Зависимость f от N имеет различный характер в разных диапазонах изменения скорости скольжения: при сверхмалых и повышенных скоростях она возрастает, при небольших ($1 \cdot 10^{-5} \div 10^{-2}$ м/с) убывает.

Выделяют два основных процесса, ответственных за внешнее трение: 1) образование участков касания за счет взаимного внедрения или расплющивания при приработке микронеровностей; 2) формирование на этих участках мостиков сваривания. Эти процессы сопровождаются большими локальными давлениями на участках фактического касания. Эти давления велики даже при малой нагрузке на контакт, так как мала фактическая площадь E_F. При повышении нагрузки вследствие расположения микровыступов на различных уровнях они последовательно вступают в контакт, поэтому прирост происходит в основном за счет увеличения числа участков фактического касания (поверхностной плотности), а не их размера.

Для характеристики работоспособности трибосопряжений введено понятие числа антифрикционности H_{AF}:

$$H_{\mathrm{AF}} = \frac{D}{r} + \frac{\tau}{\sigma_T}, \tag{4}$$

т.е. режим трения характеризуется суммой двух обобщенных параметров трения, которые соответствуют двум составляющим коэффициента трения f. Рост суммы (4) может привести к нарушению порога внешнего трения и развитию контактных повреждений. Если это связано с увеличением отношения $\frac{D}{r}$, то возникает режим микрорезания. Если нарушение порога внешнего трения обусловлено увеличением отношения $\frac{\tau}{\sigma_{\mathrm{T}}}$, то возникает режим схватывания. Критическое число антифрикционности имеет значение $H_{\mathrm{AF}} \approx 2$ и зависит от свойств материала и термообработки.

Основным отличием внешнего трения от внутреннего является локализация процессов, порождающих сдвигающую силу в тонком поверхностном слое. Поэтому для обеспечения внешнего трения необходимо наличие пониженного сдвигового сопротивления на поверхности твердого тела. Это сформулировано в форме правила положительного градиента механических свойств, согласно которому сдвиговая прочность у поверхности должна быть ниже, чем в прилегающем поверхностном слое. Создание этого положительного градиента может быть реализовано четырьмя способами: 1) нанесение покрытий и смазочных пленок; 2) формирование защитных пленок из окружающей среды в процессе трения; 3) разрыхление поверхностного слоя; 4) повышение твердости подложки.

Процессы трения обычно рассматриваются [1] как независимые от времени, а предложенные модели процессов фрикционного взаимодействия являются квазистатическими. В формулы для расчета коэффициента и силы трения, фактических площади контакта и давления, теплофизических параметров трущихся и смазочных материалов переменная времени не входит. Отмечается [1], что для описания реологических свойств контакта необходим учет временных характеристик. Это положение подтверждает высказанное выше мнение относительно молекулярно-механической теории трения, а именно то, что в ней основное внимание уделяется процессам образования и разрушения поверхностных пленок, а не образованию и последующему разрушению мостиков

сваривания. Напротив, в подходе к построению теории внешнего (адгезионного) трения с использованием формализма топохимической кинетики время как фактор входит в кинетические зависимости, представляющие влияние скорости скольжения на силу трения или при постоянной нагрузке на коэффициент трения. Эти кинетические зависимости представляют процесс формирования адгезионных ядер схватывания – мостиков сваривания, на разрушение которых требуется внешняя энергия, а затраты этой энергии фиксируются как сопротивление, т.е. сила трения. Различия в подходах, тем не менее, не запрещают использовать для совершенствования математических моделей трибохимической кинетики характерные величины, введенные для представления особенностей контакта материалов.

Для оценки реологии контакта в общем случае различают шесть характерных временных интервалов, из них четыре – на микроуровне и два – на макроуровне [1].

1) Среднее время существования участков фактического касания (t_K) или средняя длительность элементарного акта контактирования:

$$t_K = \frac{h_K}{v}, \tag{5}$$

где h_K - средняя протяженность участков фактического касания в направлении скольжения. Это время наибольшего силового и теплового воздействия на материалы в зоне трения, которое обуславливает процессы изнашивания третьего тела.

2) Среднее время отдыха между двумя последовательными участками фактического касания (t_R) или элементарными актами контактирования:

$$t_R = \frac{h_R}{v}, \tag{6}$$

где h_R - среднее расстояние между участками фактического касания в направлении скольжения. Это время протекания сорбционных химических процессов и охлаждения до очередного теплового импульса, которые обуславливают процессы регенерации третьего тела.

3) Среднее время изнашивания пленки (t_H):

$$t_H \approx \frac{h}{v_H}, \tag{7}$$

где h - толщина пленки, v_H - средняя скорость ее изнашивания (вследствие десорбции, механического истирания, механо-химических и других процессов).

4) Среднее время регенерации пленки (t_B):

$$t_B \approx \frac{h}{v_B}, \tag{8}$$

где v_B - средняя скорость регенерации (адсорбцией, растеканием, диффузией и др.).

5) Время контакта по номинальной площади (t_N):

$$t_N = \frac{h_N}{v}, \tag{9}$$

где h_N - протяженность в направлении скольжения зоны номинального контакта двух твердых тел или номинальный путь трения.

6) Свободное время между двумя последовательными циклами номинального контакта:

$$t_D = \frac{h_D}{v}, \tag{10}$$

где h_D - путь до очередного номинального контакта.

Считается, что параметр t_D имеет значение только для циклически повторяющихся контактов, тогда как остальные времена важны для контактов произвольного характера. При этом параметры t_K и t_R определяются микрогеометрией контакта и скоростью в тангенциальном направлении, а t_H и t_B - микрогеометрией и скоростями в нормальном направлении.

Граничные пленки обладают резко выраженными реологическими свойствами. Износ адсорбированных пленок обусловлен десорбцией [9]. Регенерация пленок и износ характеризуется определенной кинетикой адсорбции [10]. Отмечается, что, рассматривая неравновесное состояние граничной смазочной пленки, когда плотность адсорбированного

слоя существенно меньше максимальной, следует учитывать латентный период трения [4]. Последний состоит из двух стадий: (1) времени адсорбционного созревания слоя и (2) времени молекулярной переориентации. Считается, что на ориентацию адсорбированных молекулярных слоев обычно требуется значительное время. Установлена зависимость латентного периода от фактического контактного давления: при больших давлениях длительность этого периода резко падает. По мере увеличения толщины тонкой граничной пленки, т.е. числа молекулярных слоев, ее смазочная способность возрастает.

Динамическое равновесие процессов износа и регенерации пленок определяет нормальное трение. Режим трения, в котором износ пленок (смазочных, адсорбированных, оксидных и др.) превалирует над их регенерацией, приводит к контактированию ювенильных участков поверхностей (пленочное голодание). Условие пленочного голодания определяется неравенством

$$v_H t_H > v_B t_B. \tag{11}$$

Отмечается, что пленочное голодание следует отличать от масляного (смазочного), хотя в обоих режимах условия трения ухудшаются в направлении от входа к выходу рассматриваемой области контакта. Масляное голодание наблюдается при гидродинамическом и полужидком режимах смазки применительно к объемным смазочным пленкам. Пленочное голодание наблюдается при граничной смазке и в отсутствии смазочных материалов применительно к тонким пленкам на поверхностях.

Считается, что пленочное голодание имеет кумулятивный характер и обычно является результатом последовательного многократного накопления повреждений в третьем теле, т.е. результатом накопленной дефектности пленок. Предполагается также возможность пленочного голодания на отдельных участках касания вследствие однократной, разовой дефектности пленки.

При больших скоростях скольжения пленочное голодание является следствием десорбции пленок из-за фрикционного разогрева. Продолжительность температурной вспышки за время t_K на несколько порядков больше, чем продолжительность пребывания адсорбированных молекул на контакте, что достаточно для их десорбции. Для константы равновесия K_E адсорбции-десорбции предложено уравнение

$$K_E = \frac{\gamma_a \exp\left\{\frac{W_a}{R_\Gamma T}\right\}}{k_d (2\pi m_M \mathrm{kT})^{1/2}}, \tag{12}$$

где γ_a - вероятность адсорбции при столкновении частиц адсорбата с поверхностью, W_a - энтальпия адсорбции, k_d - константа скорости десорбции, m_M - масса молекулы.

Термодинамически необратимый характер процесса разрушения ядер адгезионного схватывания проявляется в том, что затраты энергии должны быть больше для обеспечения конечной скорости процесса, чем энергия, аккумулируемая поверхностями в форме избыточной поверхностной энергии. Это приводит к тому, что эндотермический процесс аккумулирования энергии перекрывается экзотермическим процессом диссипации энергии за счет конечного значения движущей силы (тангенциального напряжения), требующейся для разрушения ядер адгезионного схватывания с конечной скоростью. Тот же ход термодинамических рассуждений может быть повторен и для пластического передеформирования поверхностных слоев материала (внутреннее трение) и для вязкого течения смазочного материала.

Разогрев может способствовать десорбции веществ защитных пленок, тем самым, давая возможность ядрам адгезионного схватывания покрыть большую поверхность пятен контакта, что должно вызвать еще больший разогрев. Дальнейшее развитие процесса может привести к временному динамическому равновесию (нормальный режим трения) или к катастрофическому развитию процесса, который будет сопровождаться нарастающим схватыванием, заеданиями и задирами.

Считается, что для описания эффекта пленочного голодания целесообразно использовать вероятностный подход, так как фрикционное взаимодействие имеет стохастический характер. Описание строится следующим образом. Пусть γ_K - вероятность контакта через смазочную пленку на k –том участке касания. Она зависит от отношения времени отдыха t_R к времени регенерации t_B при повышенных скоростях скольжения или от отношения времени изнашивания t_H к времени существования контакта t_K при пониженных скоростях скольжения. Если $\frac{t_R}{t_B}$>>1 или $\frac{t_H}{t_k}$>>1, то $\gamma \to 1$; если $\frac{t_R}{t_B}$<<1 или $\frac{t_H}{t_k}$<<1, то $\gamma \to 0$. Характер пленочного голодания во втором случае может быть различным: 1) лавинообразным при $\frac{t_R}{t_B} < 1$ и 2) периодическим при $\frac{t_H}{t_k} < 1$. Отношение $\frac{t_R}{t_B}$ (при повышенных скоростях) или $\frac{t_H}{t_k}$ (при пониженных скоростях) является функцией состояния фрикционной системы и критерием направления протекающих в ней процессов. Предполагается, что для аналитического представления γ можно использовать выражение, которое аналогично уравнению Кингсбюри для случая физически адсорбированной пленки:

1) при повышенных скоростях

$$1 - \gamma = \exp\left\{-\frac{t_R}{t_B}\right\} = \exp\left\{-\frac{h_R}{h} \cdot \frac{v_B}{v}\right\}; \quad (13)$$

2) при пониженных скоростях

$$1 - \gamma = \exp\left\{-\frac{t_H}{t_K}\right\} = \exp\left\{-\frac{h}{h_K} \cdot \frac{v}{v_H}\right\}. \quad (14)$$

Обычно участки фактического контакта по очертанию близки к эллипсам, большая ось которых совпадает с направлением движения. Считается допустимым в расчетах принимать их круглыми.

Параметры v_B и v_H зависят от свойств пленок, покрывающих трущиеся поверхности. При граничной смазке они определяются в основном свойствами смазочных слоев, расположенных непосредственно на поверхности и состоящих из ориентированных в поле твердого тела молекул, а также примыкающих к ним неполяризованных слоев. При сухом трении в атмосфере – свойствами адсорбированных и хемосорбированных пленок, состоящих из молекул газов окружающей среды, органических примесей и т.д. При трении в вакууме без смазки – свойствами ранее образовавшихся оксидных пленок, состоящих в основном из химических соединений металла и примесей с кислородом.

В реальном фрикционном контакте процессы в пленках различного типа взаимосвязаны. Так, окислительный процесс в системе из двух металлических тел (Me) в углеводородной среде (RH) с растворенным кислородом (O_2) предложено представлять в виде трехстадийной химической реакции:

образование радикала адсорбцией или хемосорбцией

$$\mathrm{Me} + \mathrm{RH} \Leftrightarrow \mathrm{MeR} \quad \mathrm{H}; \quad (15)$$

присоединение кислорода к комплексу металл - углеводородный радикал и образование тройного комплекса

$$\mathrm{MeR} \quad H + O_2 \Leftrightarrow \mathrm{MeOOR}; \quad (16)$$

разрушение комплекса с образованием частиц износа и продуктов окисления масла (здесь P – продукты реакции)

$$\mathrm{MeOOR} \to \mathrm{Me} + P. \quad (17)$$

В случае регенерации оксидных пленок величина v_B определятся скоростью окисления v_{OX}. В данном случае предполагается, что окисление является двухстадийным процессом:

1) в результате хемосорбции кислорода металлической поверхностью окисление идет островками в отдельных активных центрах поверхности;

2) образуется кристаллическая фаза оксидов. Первичная оксидная пленка на поверхности образуется практически мгновенно, по принципу кристаллохимического соответствия (эпитаксия), т.е. кристаллы оксида стремятся повторить ориентацию и

структуру кристаллов металла, на которых они развиваются. Считается, что вследствие различия постоянной кристаллической решетки оксида и металла пленки препятствуют дальнейшему доступу свободного кислорода к металлу. Чтобы обеспечить дальнейший рост пленки оксида, ионы металла должны выйти на поверхность; процесс этого выхода электрический или диффузионный. При холодном окислении металлов образуется пленка толщиной $30 \div 50\overset{0}{\text{A}}$..

Влияние температуры на поверхности на скорость окисления v_{OX} представлено в виде выражения

$$v_{\text{OX}} = k_1 \exp\left\{-\frac{k_2}{T}\right\}. \quad (18)$$

Трение резко интенсифицирует процесс окисления. Так, трение увеличивает пленку оксида на углеродистой стали в 200 раз по сравнению с низкотемпературной пленкой на недеформированной поверхности; соответственно увеличивается и скорость окисления. Время образования мономолекулярной оксидной пленки при трении в атмосфере оценивается величиной $t_{\text{OX}} \approx (1 \div 4) \cdot 10^{-3} c$.

Таким образом, приведенный теоретический анализ трибохимической кинетики может быть использован при расчетах трибологических показателей трения.

УДК 621.833.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДИРОСТОЙКОСТИ В СПИРОИДНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ ПРИ СОЧЕТАНИИ МАТЕРИАЛОВ ЗВЕНЬЕВ ПАРЫ: СТАЛЬ-БРОНЗА

В.Н. Анферов, Р. К. Коваленко
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия

С развитием машиностроения постоянно возрастают требования к повышению нагрузок и передаваемым скоростям приводов машин. В частности, это касается передач с перекрещивающимися осями, одной из которых является спироидная передача, которая имеет ряд преимуществ перед другими передачами того же класса: винтовой, гипоидной и червячной передачами. В настоящее время спироидные передачи уже получили широкое распространение:

– в редукторах и мотор-редукторах общепромышленного назначения;

– в редукторах в приводах запорно-регулирующей арматуры газо- и нефте-водопроводов;

– в приводах станков с ЧПУ и других станков;

– в приводах механизмов подъема и поворота кранов и подъемно-транспортных машин, редукторных устройствах талей;

– в приводах машин и установок, применяемых в атомной промышленности;

– в приводах и устройствах оборонной техники [1, 2].

Предпосылками к внедрению спироидных передач в механизмы являются их преимущества в сравнении с другими передачами червячного класса:

– повышенная нагрузочная способность, надежность и долговечность, обусловленная улучшенными показателями геометрии и кинематики зацепления по сравнению с червячными передачами. Это обеспечивается тем, что в спироидных передачах из-за специфичности расположения зоны зацепления более высокий коэффициент перекрытия, т.е. в зацепление в один момент времени входит большее количество пар зубьев, чем у червячных передач. Эта особенность обуславливает большинство достоинств и преимуществ спироидной передачи;

– бóльшие, в сравнении с червячными передачами, КПД и износостойкость из-за описанных выше причин;

– более высокая стойкость к ударным, вибрационным нагрузкам и кратковременным перегрузкам;

– плавность хода и бесшумность работы, пониженная виброактивность;

– повышенная кинематическая точность;

– технологичность изготовления и сборки. Благодаря тому, что червяки спироидных передач имеют витки постоянного шага и профиля, упрощается технология изготовления как их самих, так и в принципе копирующих их фрез для нарезания спироидных колес.

– компактность спироидных передач в сравнении с червячными передачами обусловлена тем, что при равных размерах червяков и колес, межосевое расстояние спироидной передачи меньше, чем у червячной передачи [1, 2].

При этом одним из недостатков спироидных передач, присущим всем передачам червячного класса, является опасность возникновения заедания между рабочими поверхностями звеньев. Во избежание этого вида повреждения в передачах данного класса применяют антифрикционные материалы для изготовления звеньев пары, что помимо риска возникновения заедания также существенно снижает и нагрузочную способность передачи [1].

В связи с этим актуальной задачей является установление условий, при которых в спироидном зацеплении будет происходить заедание, чтобы еще на стадии проектирования его предотвратить. Тем самым появятся возможности изготовления спироидных передач из более экономичных материалов, а также уменьшить запас по нагрузочной способности при проектировании передач.

Заеданием называется процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания поверхностей и переноса материала. Заедание в сильной степени может завершаться прекращением относительного движения звеньев пары [3, 4].

Процесс заедания поверхностей разделяют на три этапа.

Первый этап – переход от контактно-гидродинамической смазки к граничной. Чем толще масляная пленка между зубьями, тем дальше условия работы от тех, при которых наступает заедание. В реальных условиях работы зубчатых колес исчезновение гидродинамической смазочной пленки или снижение ее толщины до опасного минимума еще не приводит к заеданию, поскольку поверхности разделяются граничной пленкой.

Второй этап – переход от граничного трения к металлическому контакту. Разрушение граничной пленки может произойти либо вследствие больших пластических деформаций контактирующих поверхностей, либо от высоких температур, развивающихся в зоне контакта, либо от обеих причин вместе.

Третий этап – схватывание металлов и разрушение узлов схватывания. Здесь контакт чистых металлов и наличие определенных условий приводит к схватыванию поверхностей. При дальнейшем относительном движении участки схватывания могут разрушаться по поверхности контакта и тогда заедания поверхностей не произойдет. Если же прочность зоны схватывания окажется больше, чем прочность поверхностных слоев металла, то наступает заедание с образованием рисок, хребтов, наволакивания и т. д. При этом температура поверхностей увеличивается, процесс прогрессирует, и в результате поверхности становятся совершенно непригодными для дальнейшей работы [3, 4].

В настоящее время метода расчета спироидных передач на заедание не предложено из-за отсутствия достаточно надежного критерия заедания. Косвенно эту задачу решает тепловой расчет спироидной передачи, но он не учитывает фактора разрыва масляной пленки при критических нагрузках. Процесс заедания в технике описывать при помощи расчетного критерия, т.е. некоторой функции от ряда переменных параметров, влияющих на заедание. Предполагается, что когда эта функция достигнет критического значения, наступит заедание поверхностей.

По результатам проведенного нами анализа существующих критериев заедания [5] установлено, что каждый критерии применим, как для определенного вида передач, так и для определенной стадии развития процесса заедания. Наиболее теоретически обоснованными и потенциально применимыми для различных типов передач, в том числе и спироидных, на наш взгляд являются критерии, которые в своей основе лежат на выводах из температурного уравнения Блока или контактно-гидродинамической теории смазки. Критерий, применимый для спироидных передач должен описывать процессы трения, происходящие на втором этапе развития заедания. В спироидных передачах вследствие большого скольжения и высоких температур достижения процесса заедания третьей стадии, где происходит непосредственный контакт металлов поверхностей трения, приводит к быстрому износу и прекращению относительного движения звеньев. Звенья передачи не подлежат восстановлению и нуждаются в полной замене. Поэтому при проведении исследования задиростойкости на физической модели учитывались факторы, влияющие на заедание с точки зрения обоих подходов.

При физическом моделировании спироидного зацепления для проведения испытаний на заедание, согласно теореме подобия, необходимо обеспечить идентичность контакта спироидного зацепления и модели, обеспечив идентичные условия и параметры работы.

Для физического моделирования спироидного зацепления на кафедре «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины» Сибирского государственного университета путей сообщения был сконструирован лабораторный дисково-роликовый стенд (рис.1а). Этот стенд использовался В.Н. Анферовым и др. для проведения исследований коэффициента трения в спироидном зацеплении, на износостойкость и т.д. [2, 6, 7]. Результаты, полученные в ходе этих испытаний, показали корректность использования данного лабораторного стенда для физического моделирования спироидного зацепления [6, 7].

Основой данного лабораторного стенда является узел трения (рис. 1б), выполненный по схеме диск – ролик, применяемой для передач червячного типа, где диск является аналогом спироидного колеса, а ролик – червяка.

а) б)

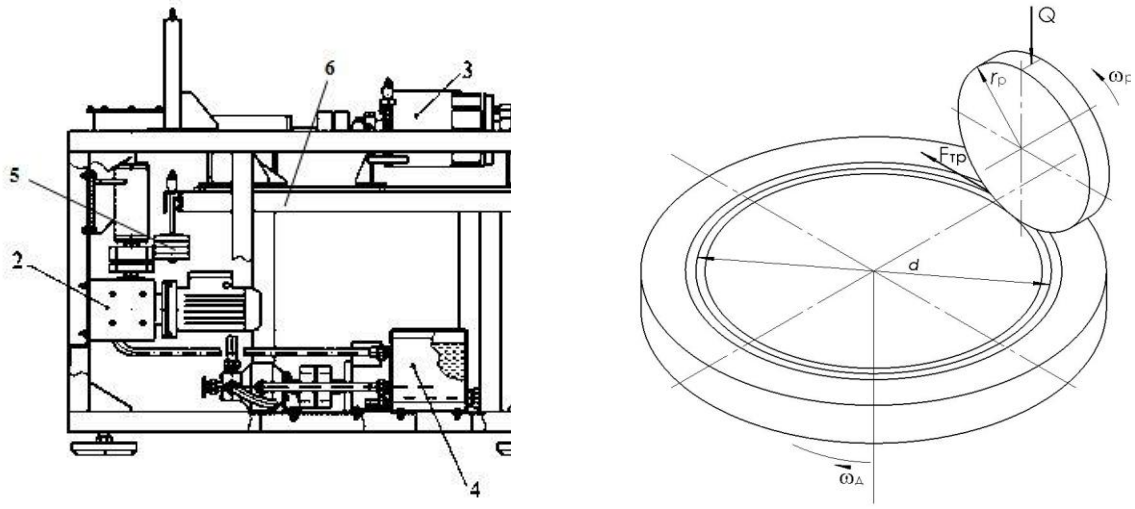


Рис. 1 – а) дисково-роликовый лабораторный стенд б) схема узла трения
1 – рама стенда; 2 – привод диска; 3 – привод ролика; 4 – насосная станция;
5 - нагрузочное устройство; 6 – поворотная рама

В качестве моделируемой передачи принята цилиндрическая спироидная передача со следующими исходными данными: передаточное число: u = 49, межосевое расстояние: α_w = 31,5 мм.

Из всех факторов, влияющих на заедание в спироидной передаче, лабораторный дисково-роликовый стенд позволяет регулировать следующие параметры:

1. Управляемые параметры, т.е. те параметры, которыми можно управлять в процессе исследования. Выбранные управляющие параметры должны быть совместимыми, т.е. не накладывать свое действие друг на друга, а также некоррелируемыми, чтобы была возможность независимо изменять каждый фактор. В случае исследования заедания управляемыми факторами являются те факторы, которые оказывают самое значительное влияние на процесс возникновения заедания, а именно удельная нагрузка, окружные скорости звеньев передачи и температура масла в масляной ванне.

2. Контролируемые параметры – это менее существенные параметры, которые во время проведения исследования поддерживаются на определенном уровне. К контролируемым параметрам мы отнесем параметры материалов: теплопроводность, модуль упругости, твердость и параметры масла, температуру вспышки и другие.

3. Неконтролируемые параметры – это параметры недоступные для измерения. Их значения во времени изменяются случайным образом. Мы относим к неконтролируемым параметрам толщину масляной пленки, мгновенную температуру вспышки, коэффициент трения и шероховатость поверхности материалов.

4. Параметр оптимизации. Коэффициент трения является индикатором для отслеживания начала возникновения заедания поверхностей. При возникновении заедания, а именно при контакте микронеровностей происходит резкое увеличение коэффициента трения, более чем на 30%, что также сопровождается вибрацией лабораторного стенда. Точность измерения коэффициента трения на стенде не превышала 2,5% [8].

Испытания проводились для двух сочетаний материалов звеньев пары: сталь-сталь и сталь-бронза. В этой статье описаны результаты испытаний для сочетания сталь-бронза.

Материал диска, являющегося аналогом колеса – бронза БрА9Ж4 ГОСТ 1628-78.

Материал ролика, являющегося аналогом червяка – сталь 40Х (HRCЭ 48…53).

Результаты экспериментального исследования задиростойкости в спироидном зацеплении на физической модели для сочетания материалов пары звеньев сталь-бронза представлены на рисунке 2. На основе экспериментов были рассчитаны значения коэффициентов трения, которые были аппроксимированы логарифмической функцией [7].

На всех графиках присутствуют общие тенденции изменения коэффициента трения:

– снижение коэффициента трения при увеличении скоростей скольжения и суммарной скорости качения;

– увеличение коэффициента трения при увеличении удельной нагрузки на единицу длины контактной линии;

– снижение коэффициента трения при увеличении температуры масла в редукторе.

При испытании образцов с сочетанием материалов сталь-бронза заедание не было выявлено в принятом диапазоне нагрузок, скоростей скольжения и температур.

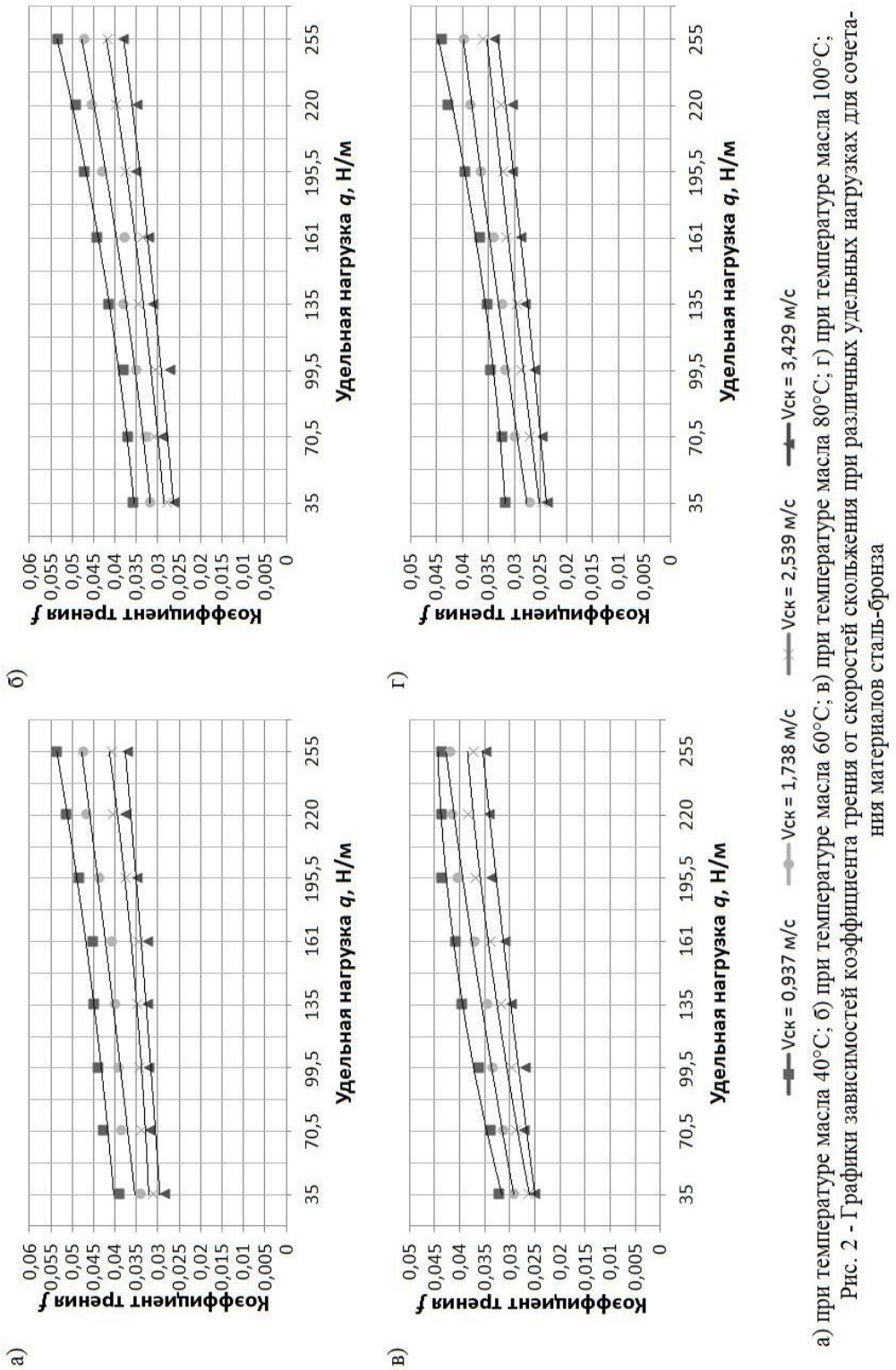
При удельной нагрузке 255 Н/м, что равняется 400% от номинальной, скорости скольжения 3,429 м/с (205% от номинальной) и температуре масла 100°С значения удельных нагрузок и скоростей скольжения были близко к граничным. Но на практике процесс заедания не начинался, т.к. при контакте материал с поверхности диска, выполненного из менее твердой, чем сталь, бронзы переносился на поверхность ролика, выполненный из стали. Тем самым при разрыве масляной пленки менее твердый материал изнашивается под действием нагрузок, передаваемых, посредством образца, выполненного из более твердого материала. Ролик в данном случае исполнял роль фрезы, формируя в бронзовом диске дорожку катания. Это приводило к быстрому износу образцов без начала процесса заедания поверхностей.

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Выявлены общие закономерности изменения коэффициента трения от удельных нагрузок и скоростей скольжения при различных температурах и сочетаниях материалов сталь-бронза и сталь-сталь.

2. Создана база значений коэффициента трения в спироидном зацеплении при различных нагрузках, скоростях скольжения и температуре масла для сочетания материалов сталь-бронза, которые применимы для повышения точности расчетов спироидных передач на задиростойкость, износ, самоторможение передачи, тепловой расчет, а также расчет КПД.

3. Выявлена закономерность поведения звеньев пары трения с сочетанием материалов сталь-бронза при удельной нагрузке до 400% от номинальной, скорости скольжения до 205% от номинальной и интервале температур от 40°С до 100°С.



а) при температуре масла 40°С; б) при температуре масла 60°С; в) при температуре масла 80°С; г) при температуре масла 100°С;
Рис. 2 - Графики зависимостей коэффициента трения от скоростей скольжения при различных удельных нагрузках для сочетания материалов сталь-бронза

Рис. 2 - Результаты экспериментального исследования задиростойкости в спироидном зацеплении

УДК 531

О РОЛИ, МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ И КИНЕТИКЕ ПЛЁНОЧНЫХ СТРУКТУР В ТРИБОСИСТЕМАХ

А.В. Бородай
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова

Известно, что зона фрикционного контакта, являясь объектом малой толщины, в свою очередь, характеризуется наличием сверхтонкой пленочной слоевой структуры, составляющие которой собственно и являются пленками. Особенностями пленок являются высокая механическая прочность, высокая плотность поглощенной внутренней энергии, нитевидное петлевое строение и, в особенности, высокая плотность энергии течения вещества пленки в определенных фазах процесса [1-3]. Можно полагать, что присутствие пленок позволяет не только поддерживать определенный уровень параметров трения, но и обеспечивает саму возможность фрикционного взаимодействия. Очевидно, что раскрытие механизмов формирования и функционирования пленок и пленочных структур должно являться одной из основных задач исследования.

В соответствии с положениями волновой триботехники возникновение пленочных структур в трибосистемах обеспечивается процессом излучения носителей поперечного волнового импульса (трибоимпульса), осуществляемым в направлении, нормальном поверхности трения. Излучателем указанного импульса является третье тело I, располагающееся внутри зоны контакта тел (рис. 1). Вследствие наличия спектра частот излучения пленочная структура поверхностного слоя представляет собой совокупность замкнутых нитевидных петель различной пространственной конфигурации и различного пространственного масштаба, при этом образованию каждой конфигурации соответствует определенная частотная составляющая процесса излучения [3]. Тем самым траектория движения носителя импульса воплощается в некотором нитевидном объекте, создаваемом (наводимом) движением носителя, вдоль которого происходит пространственное распространение импульса в среде и в толще поверхностного слоя. Можно выделить некоторую ведущую, первичную частотную составляющую процесса, сосредоточивающую в себе основную часть энергии излучения, являющуюся основной частью энергии фрикционного взаимодействия, и, соответственно, ведущую нитевидную первичную жесткую замкнутую стержневую систему, являющуюся проводником первичного импульса *J* и основой фрикционной связи. Активная *p* и пассивная *r* ветви стержневых систем располагаются в смежных параллельных плоскостях и, замыкаясь, образуют некоторую, претерпевающую непрерывную переконфигурацию, восьмерку, вписанную в периферию вихря *A*. Фактически первичная стержневая система представляет собой продольно жесткий пучок субмикроскопических нитей, свитых в спираль, причем толщина нитей в пучке может быть существенно меньшей диаметра электрона. Основными структурными элементами нитей и стержневых систем являются субмикроскопические первичные вихри *B, C,* разделенные малыми частицами *a*, образующие первичные линейные вихревые цепи-проводники трибоимпульса. Процесс распространения импульса вдоль цепи осуществляется посредством последовательной передачи энергии вращения от одного вихря, входящего в состав цепи, к другому, обеспечиваемой присутствием промежуточных частиц *a* (рис. 2).

Важнейшими эффектами, реализующимися в трибосистеме, являются эффекты падения-отражения носителей импульса. Эти эффекты имеют место во всех точках пространства, занимаемого поверхностными слоями, характеризуются различной степенью интенсивности, в особенности проявляются в процессе распространения носителя импульса вдоль стержней стержневых систем в каждой точке стержней, формируют структуру стержневых систем и обусловливают их высокую механическую жесткость. Эти же эффекты обеспечивают ориентацию ветвей стержневых систем, близкую нормальной по отношению к

поверхности, чем обеспечивается высокая поперечная жесткость зоны контакта тел, высокий уровень напряженности полей поверхностных сил и, соответственно, присутствие и необходимый уровень трибопотенциала системы.

Важнейшей фазой функционирования связи является фаза падения носителя первичного импульса на поверхность взаимодействующих тел II и III и отражения от поверхности. Именно в этой фазе процесса происходит формирование продуктов взаимодействия поверхностей, и в том числе – систем вторичных вихрей *A*, *D*, *E*, периферия которых, подобно стержневым системам, характеризуется многослойным нитевидным пучковым строением, а также потоков частиц износа *d* и *e*. Соответственно, важнейшими элементами структуры трибосистем являются зоны взаимодействия носителей падающего носителя импульса с поверхностью и отражения от поверхности – зоны (вихревые ячейки) *D* и *E* (см. рис. 1 и 2, *а*).

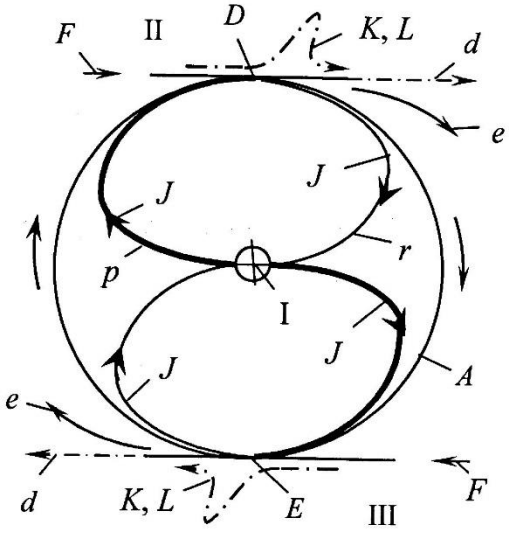
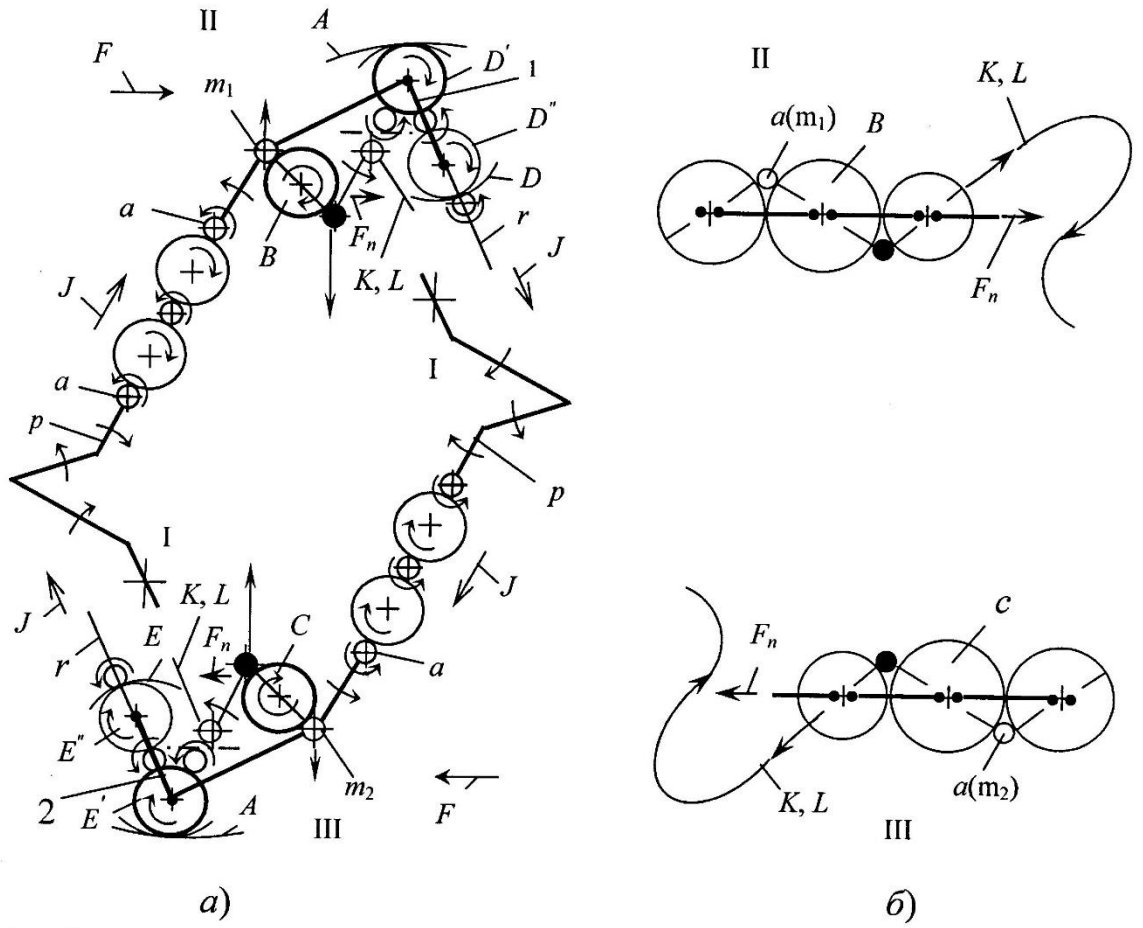


Рис. 1. Общая схема строения, действия и образования продуктов функционирования связи

Основным фактором, определяющим кинетику процесса фрикционного взаимодействия, является чрезвычайная интенсификация внутреннего вращения первичных вихрей *B* и *C* стержневых систем, сосредоточивающих в себе энергию частиц носителя первичного импульса, в момент падения носителя импульса на поверхность. Указанный эффект порождает возникновение последующих эффектов в системе – эффектов локального разворота участка стержневых систем, близких поверхности, образования ее геометрического профиля (рис. 2, *а*), расслоения стержневой системы и выделения из ее состава тончайшей профилированной зигзагообразной *K*, *L*-пленки, ориентированной параллельно поверхности, а также эффекта действия быстро возрастающих тангенциальных сил F_n периферии вихрей-частиц носителя, интенсивно проталкивающих пленку в тангенциальном направлении (рис. 2, *а*, *б*). При этом тангенциальное движение (течение) пленки дополнительно интенсифицируется процессом ее поперечного сжатия, которое претерпевает пленка в данной фазе процесса. Таким образом, эффект падения носителя импульса обеспечивает присутствие фазы образования весьма плотного поверхностного течения части вещества поверхностного слоя – тангенциального движения *K*, *L*-пленки, представляющего собой интенсивный локализованный продольный волновой процесс, сосредоточивающий в себе энергию фрикционного взаимодействия.

Основываясь на положении о возникновении в зоне контакта тел интенсивного плоского тангенциального течения, можно предложить следующую схему кинетики контактных процессов. На начальном этапе падения импульса вращение составляющих D', D'' и E', E'' вихревых ячеек *D* и *E* осуществляется свободно и поэтому силы трения, препятствующие относительному движению тела и контртела в системе (силы трения) практически не действуют (рис. 3, *а*). Движение *K*, *L*-пленок также осуществляется свободно. Однако, вследствие резкого увеличения сил адгезионного взаимодействия, в особенности между периферией составляющих вихрей D', и E' и потерявшей устойчивость частью волокон *b* и *c* периферии суммарных вихрей *B* и *C*, происходит блокировка вращения указанных составляющих. В результате вихревая система и контактирующие тела начинают испытывать действие интенсивно возрастающих сил трения F_t, а движение *K*, *L*-пленок также затрудняется препятствующими ему волокнами *b* и *c* (рис. 3, *б*). При этом, тангенциально взаимодействуя с концами участков стержней 1 и 2, входящих в состав стержневых систем ячеек *B* и *C*, и тем самым осуществляя перемещение вещества системы в направлении, нормальном поверхности, движение пленок участвует в формировании

трибопотенциала и поддерживании его необходимого уровня. Следует отметить, что указанные процессы сопровождаются упрочнением системы взаимодействий, выражающимся в том, что стержни ветвей связи удлиняются (основу механизма удлинения стержней составляет эффект образования складок 3 и 4, образуемых волокнами *b* и *c*), а жесткость периферии вихрей *A*, *D* и *E* интенсивно возрастает, что обеспечивает возрастание напряженности полей поверхностных и сил трения F_t в данной фазе процесса. В результате осуществление относительных тангенциальных перемещений тел требует все более значительных движущих тангенциальных сил *F*, преодолевающих силы F_t, а также сил F_n, проталкивающих пленку. Направление перемещения периферии вихрей D' и E' и элементов их стержневых систем для этого и последующего состояний показано дуговыми стрелками.



а) б)

Рис. 2. Совмещенная схема строения ветвей связи, процессов излучения, распространения, падения-отражения, поглощения носителей трибоимпульса поверхностным слоем (*а*) и схема строения участков *K*, *L*-пленок (*б*)

В момент исчерпания возможностей упрочнения системы движение ее структурных элементов резко изменяется на противоположное (пробой системы), при этом *K*, *L*-пленки получают возможность свободного перемещения в направлении тангенциального движения тел, сопровождающегося интенсивным поперечным расширением вещества пленки (вспышкой) вследствие начала ее перемещения в разреженном пространстве, образуемом внешней поверхностью периферии вихрей D' и E' и оторвавшимися от неё пленками *b* и *c*. При этом часть волокон, составляющих *K*, *L*-пленки, преодолевая энергетический барьер, перемещается вдоль внешней поверхности периферии вихрей D' и E' вглубь поверхностного слоя нормально поверхности, а остальная часть образует валик вещества в направлении, близком тангенциальному (рис. 3, *в*), при этом имеет место существенное, многократное увеличение длины пленки, особенно ее фракций, образующих валик. Можно предположить,

что фракциям волокон пленки, проникающим в подслой соответствуют наибольшие значения частоты из спектра частот волнового процесса, протекающего в пленке, а фракциям волокон, образующим валик – меньшие.

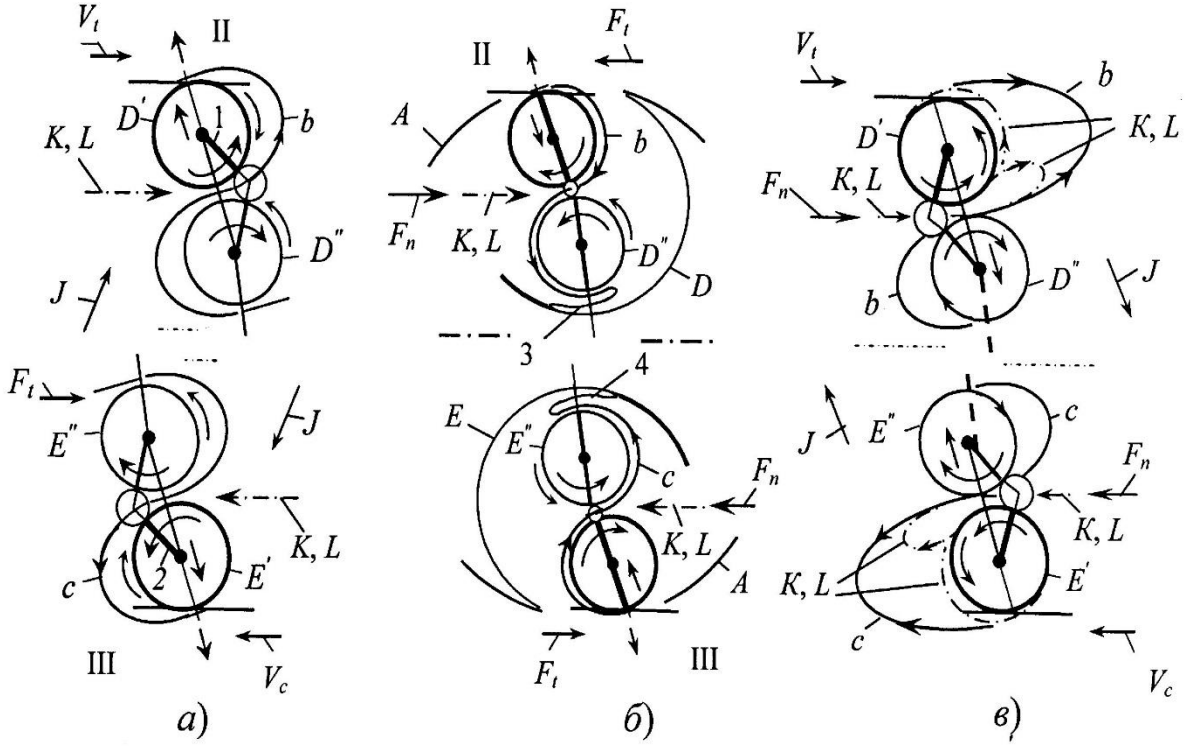


Рис. 3. Схема реализации основных фаз процесса функционирования плёночных структур в зоне фрикционного взаимодействия

При этом периферия вихрей D' и E' также может многократно удлиняться. И та и другая составляющие пленок в последующих фазах процесса втягиваются внутрь зоны контакта. Часть петель, образуемых пленками, интенсивно преодолевающими барьер, является фактором возрастания коэффициентов диффузии вещества поверхностного слоя в

подслой, повышения эффективности разблокирования системы и снижения уровня сил трения и потерь на трение, а вторая – является фактором захвата и подвода энергии среды в

систему и ее преобразования [3]. Таким образом, анализ рассматриваемой схемы позволяет заключить, что основная роль образования и функционирования поверхностных пленок и пленочных структур состоит в обеспечении ресурса процесса организации систем.

Рассмотрение приведенной схемы позволяет отметить еще ряд существенных кинетических эффектов, обусловленных присутствием поверхностных плёночных структур. В том числе эффект образования потенциальных ям m_1 и m_2 (см. рис. 2, *а*), являющийся необходимым условием, формирования связи и системы фрикционного взаимодействия, а также эффект упругопластического поглощения части энергии движения носителя первичного импульса и накопления указанной энергии в поверхностном слое, происходящего в процессе формирования геометрического профиля поверхности. Механизм процесса поглощения одновременно является частью механизма модификации поверхности, механизма процесса изнашивания и распространения частиц износа в окружающем пространстве.

Приведенная схема не противоречит экспериментальным данным, и ее дальнейшая разработка должна позволить осуществить более эффективное описание различных видов и режимов трения, в том числе процесса качения, избирательного переноса, фреттинг-процесса, а также процессов, протекающих в сократительных системах.

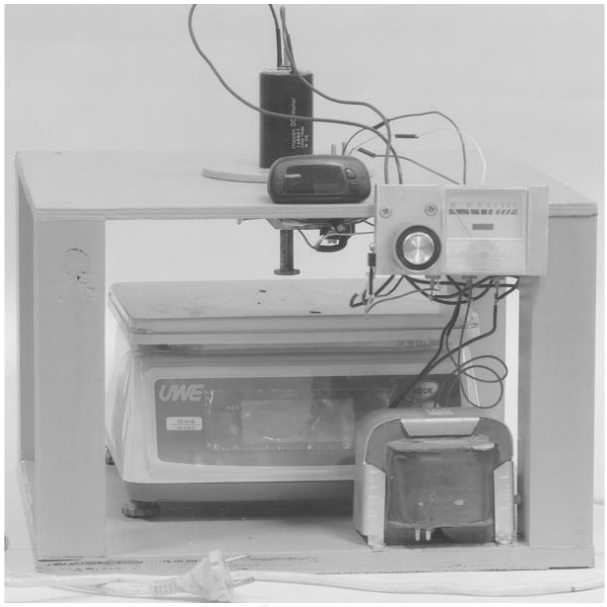
УДК 621.89.017

TECHNICAL POSSIBILITIES IN TRIBOLOGY CONNECTED WITH LUBRICANT

K.N. Voinov, P.S. Makarenko
University ITMO

I) Effective and rapid control of the adhesion and quality of the plastic lubricant in dynamics

Known methods aren't effective and they can not give excellent and objective information about important characteristics of the plastic lubricant especially in the dynamics of work. But we are needed to know these properties in detail [1-3]. To get this information we recommend the next device (Fig. 1).



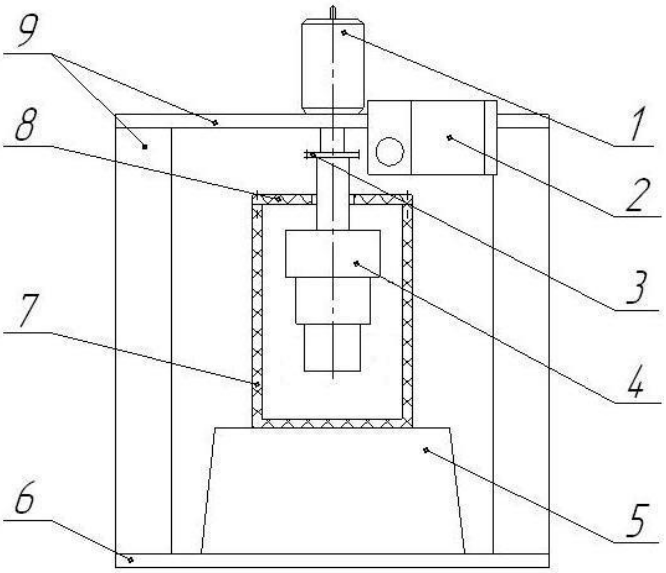


Fig. 1. - All-round Adgezimetr: outside appearance (on the left) and the chart (on the right)
Designations: *1* – motor with high revolutions; *2* – transducer of velocity; *3* – coupler; *4* – stepped shaft; *5* – electronic balance; *6* – foundation; *7* – transparent glass; *8* – lid/cover; *9* – body with a frame

Changing the velocity of rotation for the stepped shaft we can see the two important moments, namely: the speed when even the very small piece of lubricant will be on the glass and the speed when all of our plastic lubricant will be on the wall or on the bottom of the glass. Moreover we have got the possibility to make experiments both at the high temperature and at the dropped one.

II) Effective and rapid test of the adhesion and quality of the liquid lubricant in dynamics

It's the new and patented way. The chart of investigation is practically the same as we have just demonstrated above (Fig. 2).

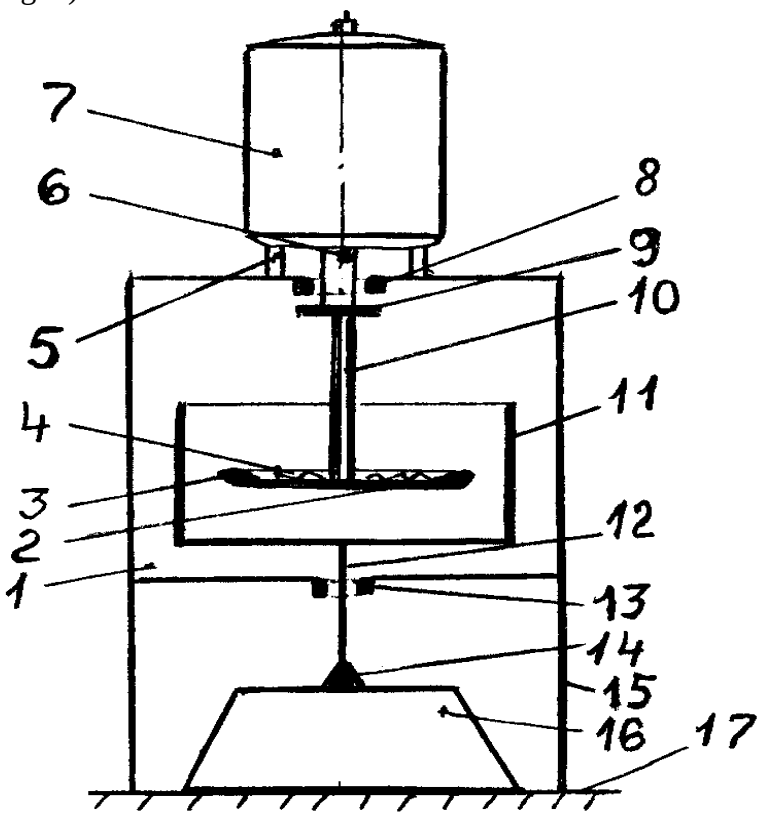


Fig. 2. - The chart to control both the adhesion and the quality of the liquid lubricants in dynamics (and the liquids on the whole)

Accepted designations:

1 – temperature chamber; *2* – plate for the liquid material; *3* – annular fender of the plate (height isn't more 2 mm); *4* – liquid lubricant (thin layer); *5* – supports for the engine; *6* – shaft of the motor; *7* – high-working motor/driver; *8* – the upper bush; *9* – coupler; *10* – shaft connected both the bush and the plate; *11* – glass; *12* – pivot; *13* – the lower bush; *14* – the foundation for the pivot; *15* – prop as the supporting wall; *16* – precise balance; *17* – common foundation.

Note. The annular fender of the plate has the smooth slope in the direction to the center of the plate (the angle is less 15 degrees). During the rotation of the plate with liquid lubricant and with different velocity the lubricant will fly away from the surface of the plate because of the centrifugal force. The precise balance will constantly fix this situation connected with the velocity of the plate rotation.

III) How quickly to take away the products of wear and tear from liquid lubricant in operation

It's very important problem especially for hardworking engine which is using liquid lubricant (except petrol). This lubricant in the course of time accumulates different particles of

deterioration (materials of pairs of friction “steel-steel”, “rubber sealings-steel or- alloy”, “plastic-steel” and so on [4, 5].

Moreover, from time to time in this lubricant we can discover rather the small abrasive and dirty elements. To make the diagnostics for engine correctly and quickly through the authentic composition of lubricant we use the next technical novelty, namely, working principle (Fig. 3).

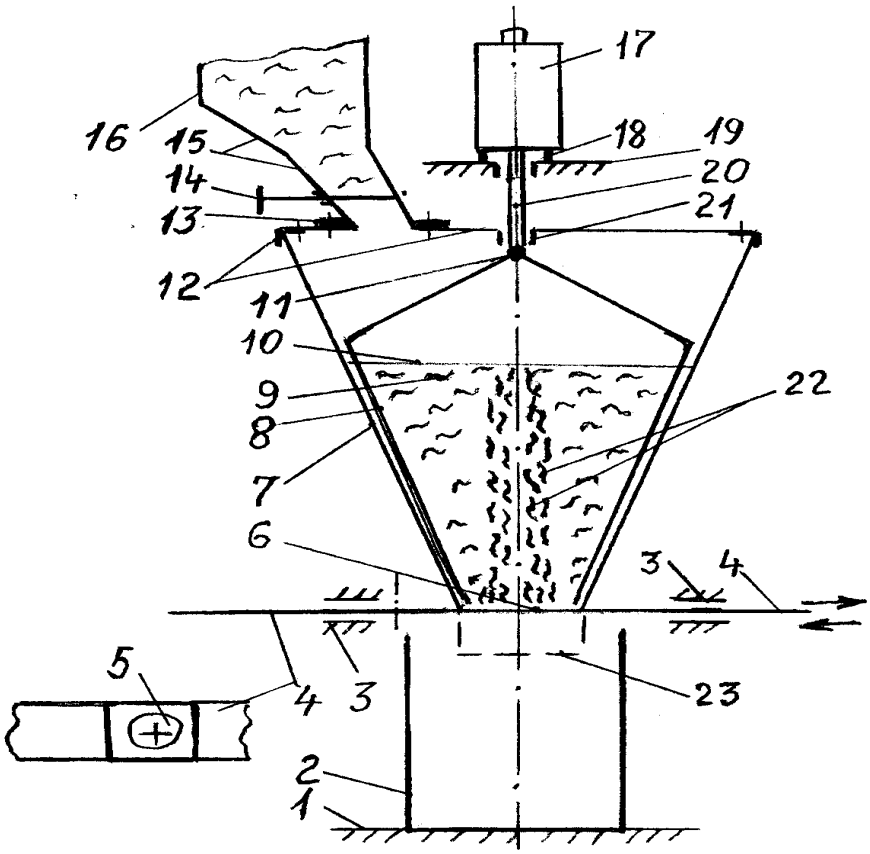


Fig. 3. - The chart of the working principle to take away the products of deterioration and other small elements

Moreover we have got the possibility to make experiments both at the high temperature and at the dropped one.

Accepted designations: *1* – foundation; *2* – cubic content to collect the basic amount of the heterogeneous elements in lubricant; *3* – guides; *4* – stopper; *5* – the opening in the stopper; *6* – the lower hole in the conic funnel; *7* – conic funnel; *8* – mixer; *9* – liquid lubricant; *10* – the upper level of lubricant; *11* – assembly of fastening; *12* – removable lid/cover ; *13* – fastening for the nozzle to the lid; *14* – stopper; *15* – nozzle; *16* – cubic content; *17* – engine; *18* – supports for motor; *19* – platform; *20* – the shaft of motor; *21* – the hole in the cover; *22* – “pillar” of contamination (heterogeneous elements in liquid lubricant).

Using mixer we collect the maximum quantity of pollutions in the middle of our cubic content. After this short action, opening the lower hole, we collect the basic heterogeneous elements to make chemical and/or another technical analysis. It helps us to take the decision about the real quantity of liquid lubricant at this moment.

IV) The new organic lubricant

Usually to get organic lubricant we are cultivating plants or trees with fruits, or gather fruits and vegetables from wild nature. They must be worked overtime for many hours or even days to get liquid or plastic lubricant with various ductility, temperature of flash and so forth.

But we paid attention to the hair. They are fat as usually, and we wash our heads with shampoo or a soap. And moreover we often cut/clip and shave our faces, for example, beard and

moustaches hair. Using this action in dry way with electrical safety razor we can get very many small elements of our hair. Now try to collect these particles in a small glass counting that it is our organic lubricant, as you see. There are very many small organic elements of lubricant (it is like the powder) on the surface of friction. And suddenly we revealed that this powder acquired the property like electro-magnet. This organic lubricant literally stuck on the surface of friction. For the process of deterioration it is very positive and important factor. In our experience we use the electric drill FINCH Industrial Tools FIT™ Serial NO: ID 04 1 0298 with the rotation 1410 per minute. The step of observation for wear and tear was *h*=110 min; maximum term of observation was *x*=600 min; for steel samples the real wear was written like $y1_i$, $y2_i$ and $y3_i$; $W1_i$, $W2_i$ and $W3_i$ are the theoretical descriptions in the computer programme MathCad [6].

The calculation equations of deterioration (*mkm*) are given below (Fig. 4):

$$W1_i := -1.071\cdot10^{-3}\cdot(x_i - x_0)^2/h^2 + 6.857\cdot10^{-3}\cdot(x_i - x_0)/h + 0.029;$$
$$W2_i := -5.238\cdot10^{-4}\cdot(x_i - x_0)^2/h^2 + 5.071\cdot10^{-3}\cdot(x_i - x_0)/h + 0.020;$$
$$W3_i := -3.810\cdot10^{-4}\cdot(x_i - x_0)^2/h^2 + 4.286\cdot10^{-3}\cdot(x_i - x_0)/h + 0.017.$$

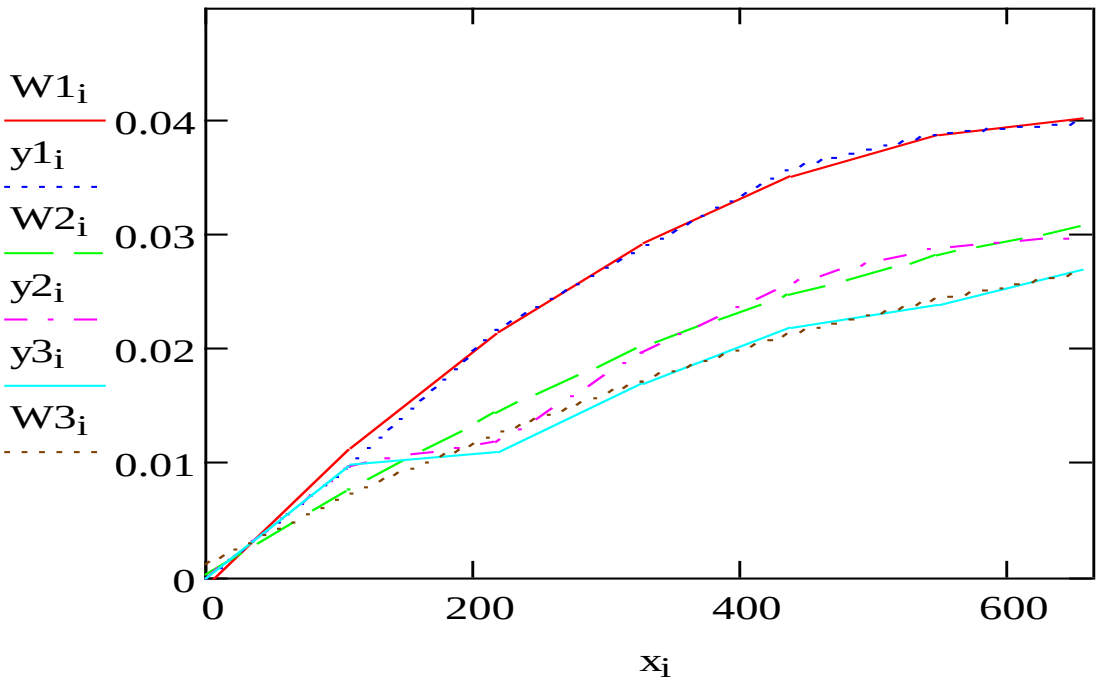


Fig. 4. - Experimental and theoretical curves: two ones below are with the new organic lubricant; the upper one is without lubricant at all; x_0 is the average meaning of the testing time

УДК 621.893

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

А.Я. Григорьев, И.Н. Ковалева, Н.К. Мышкин
Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь

Введение. Современные направления развития промышленности и транспорта все чаще возвращаются к использованию биодеградируемых смазочных материалов,

получаемых из растительного сырья [1]. Современные представления о фрикционном взаимодействии граничных слоев масел являются результатом систематических исследований, проведенных в 50-х годах прошлого столетия в лабораториях Боудена, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина и А.С. Ахматова [2].

Несмотря на то, в начале XX века уже активно применялись и минеральные масла, вплоть до тридцатых годов использование растительных масел в качестве смазочных материалов было преобладающим. В сходных условиях растительные масла (рапсовое, кукурузное, льняное) характеризуются в 1,5 – 2,7 раза лучшими триботехническими показателями, чем чистые минеральные (И20, И40А). В 1930 г. были изобретены присадки к минеральным маслам, которые существенно, в разы, улучшают их функциональные свойства. С этого момента минеральные масла с присадками получили повсеместное распространение, вытеснив растительные смазочные материалы.

Возобновление интереса к смазкам на основе растительного сырья произошло в начале 90-х годов прошлого столетия, как результат озабоченности экологическими проблемами. Как результат, в западных странах построены заводы по выпуску смазочных материалов, в Германии, Швейцарии, Канаде из рапсового масла, а в США из соевого. Только два таких крупнейших производителя как SHELL (США) и FUCH (Швейцарская Конфедерация) выпускают более 150 наименований экологически чистых (быстро разлагаемых) смазочных материалов и технических жидкостей [3].

Сегодня сформировалась точка зрения, что недостаточный ресурс растительных масел объясняется особенностями их механизмов смазывания и структуры [4]. Для повышения функциональных свойств их модифицируют биоорганическими веществами и высокодисперсными полимерами [5]. Одной из задач современных исследований в рассматриваемой области являются выбор базовых растительных масел для смазок на основе их триботехнических испытаний. Однако несмотря на значительное количество работ в этой области в современной литературе встречаются противоречивые данные об их свойствах.

Цель работы – проведение сравнительной оценки триботехнических, физико-механических и структурных характеристик растительных масел.

Материалы и инструменты. В работе исследовались образцы кукурузного; подсолнечного, рапсового и льняного пищевых масел. Для сравнения было выбрано минеральное масло И-20А (ГОСТ 20799-88).

Жирнокислотный состав растительных масел определяли на газовом хроматографе Кристалл-500 (Хроматэк, Россия) в соответствии с ГОСТ 30418–96. Содержание основных трибологически активных элементов устанавливали с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра XEPOS (Spectro, ФРГ).

Триботехнические характеристики масел оценивали по ГОСТ 9490–75 на четырёхшариковой машине ЧШМ-К1 (Технопромкомплект, Украина). Кинематическую вязкость находили по ГОСТ 33-2000. Оценку температуры вспышки производили в закрытом тигле с помощью прибора Вспышка-А (БМЦ, Беларусь).

Для определения стойкости масел к воздействию низких температур использовали дифференциальный сканирующий калориметр Diamond DSC (PerkinElmer, США). Обычно морозостойкость масел оценивают по температуре, при которой загустевшее масло не меняет положения своего мениска в течение 1 мин при наклоне на 45° ёмкости, в которой оно находится. В соответствии с ГОСТ 20287–91 этот параметр определяется весьма субъективно, на основе визуального наблюдения. В данной работе опытным путём было установлено, что на дифференциальных калориметрических кривых размораживания растительных масел, их температуре застывания соответствует крайняя точка последнего эндотермического пика при нагреве (рис. 1). Этот способ позволяет получить более точное и физически обоснованное значение температуры застывания.

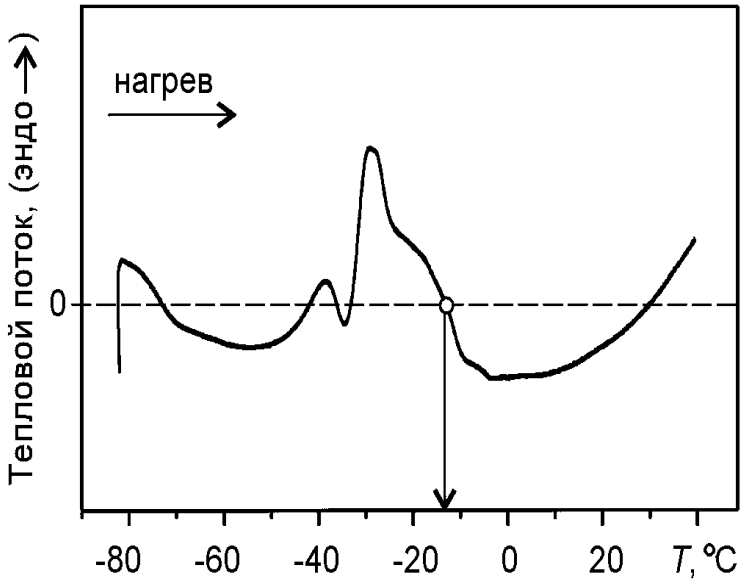


Рис. 1. - Схема определения температуры застывания кукурузного масла по дифференциальной калориметрической кривой нагрева

Результаты исследований. В таблице 1 представлены основные физико-механические и триботехнические свойства растительных масел.

Таблица 1. Сравнение функциональные свойства масела

Свойства	Масло				
	И-20А	Подсолнечное	Кукурузное	Рапсовое	Льняное
Физико-механические свойства					
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм2/с	5,3	8,1	8,5	8,6	6,33
Температура вспышки, °С	222	245	232	280	> 280
Температура застывания, °С	–15	–17	–14	–10	–21
Триботехнические характеристики					
Показатель износа (40 кгс)	1,65	0,67	0,73	0,67	0.73
Критическая нагрузка, кгс	40	80	80	80	80
Нагрузка сваривания, кгс	119	126	126	133	168
Индекс задира	15	35	36	33	56

Как можно видеть, исследованные растительные масла обладают достаточно близкими показателями физико-механических свойств. Результаты проверки гипотезы о равенстве средних значений их показателей износа свидетельствуют, что они с уровнем значимости 0,01 статистически не различимы. Таким образом, масла из растительного сырья не отличаются по характеристикам, связанным с эффективностью действия поверхностно-активных веществ и диапазоном их работы. Следует отметить существенно лучшие противозадирные свойства растительных масел (нагрузка сваривания и индекс задира) в сравнении с маслом И-20А, особенно у льняного масла.

Несмотря на близость функциональных свойств растительных масел их жирнокислотный состав характеризуется существенными отличиями (таблица 2).

Таблица 2. Состав растительных масел, (мас.% жирных кислот с концентрацией > 1%)

	Растительное масло			
	подсолнечное	кукурузное	рапсовое	льняное
C16:0, пальмитиновая	7,6	12,3	6,1	5,6
C18:0, стеариновая	3,5	2,0	1,6	3,4
C18:1, олеиновая	24,8	29,0	54,6	15,3
C18:2, линолевая	61,5	54,2	20,0	14,0
C18:3, линоленовая	—	1,0	10,0	60,5
Средн. длина алкильной группы	17,8	17,8	17,9	17,8
Средн. число ненасыщ. связей	1,51	1,43	1,35	2,5

При анализе данных таблицы 2 необходимо обращать внимание не столько на состав растительных масел, сколько на структурные свойства. Тогда учитывая результаты работы [6], близость антифрикционных свойств исследованных масел, может быть объяснена фактическим равенством средних значений длин алкильных радикалов триглицеридов, входящих в их состав.

Хорошие противозадирные свойства льняного масла, скорее всего, обусловлены высоким значением числа ненасыщенных связей алкильных групп триглицеридов линоленовой кислоты, содержание которой в нем составляет около 60% (табл. 1). В результате механического воздействия и тепла ненасыщенные связи алкильных радикалов окисляются. Подтверждением этого служит изменения характеристических полос поглощения в области 3025 – 3050 и 3092 – 3077 см$^{-1}$, обусловленных наличием ненасыщенны связей [7] (рис.2).

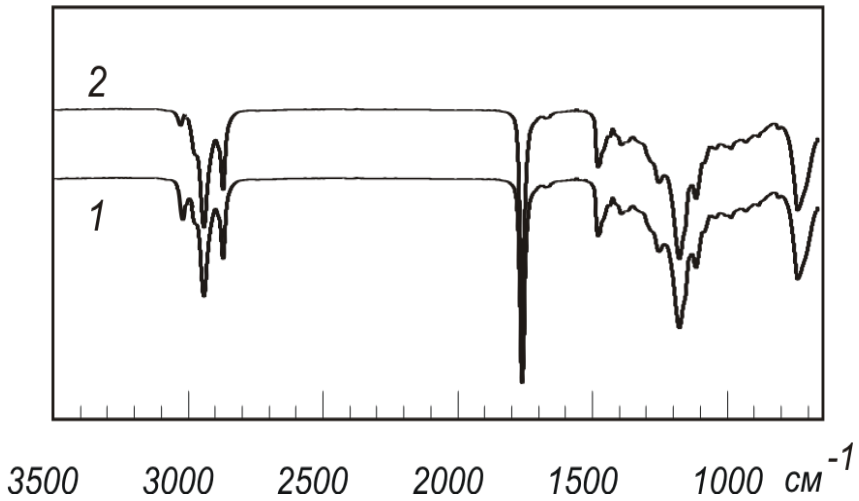
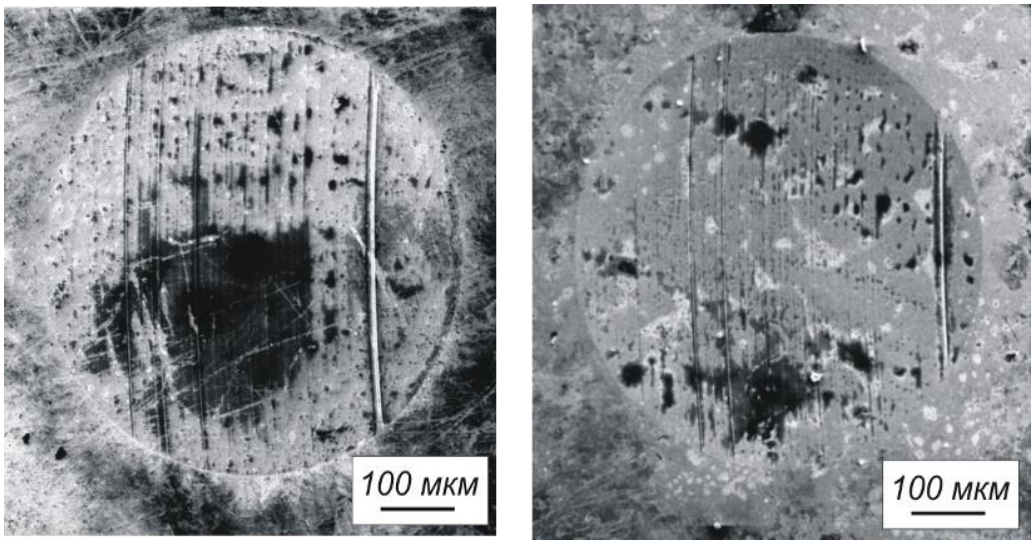


Рис. 2 - Трибополимеризация при трении льняного масла. *а:* ИК-спектры поглощения льняного масла до (1) и после (2) триботехнических испытаний.

Продукты окисления инициируют процессы полимеризации молекул триглицеридов и образованию на поверхностях трения защитных пленок, предохраняющих сопряжения от задира (рис. 3)



а *б*

Рис.3 - Пятна контакта при испытаниях образцов на четырехшариковой машине при нагрузке 80 кгс в различных средах: а – льняное масло; б – рапсовое масло

Выводы. Уменьшение средней длины алкильных радикалов за счёт введения в масла триглицеридов низших непредельных жирных кислот и увеличение среднего числа ненасыщенных связей путём добавления высших ненасыщенных жиров, способно улучшить триботехнические характеристики растительных масел.

Показано, что активация непредельных связей в результате окисления и термомеханического воздействия при трении способна положительно влиять на процессы фрикционного взаимодействия, за счёт трибополимеризации и образования плёнок на истираемых поверхностях.

Полученные данные свидетельствуют, что длина алкильных радикалов и относительное число ненасыщенных связей оказывают существенное влияние на триботехнические показатели испытанных сред. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ и ГКНТ Беларуси (номер проекта Т15ЛИТ-027).

УДК 621.89.09; 621.892.8; 621.893; 621.79.024.2

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТРИБОТЕХНОЛОГИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Громаковский Д.Г.[1], Крышень Е.В.[2], Хаустов В.И.[3], Шигин С.В.[1]
[1]*ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»*
[2]*Министерство промышленности и технологий правительства Самарской области*
[3]*ОАО «Самарский подшипниковый завод»*

В настоящее время надёжность и ресурсные характеристики различных машин и механизмов в наиболее значительной мере определяется работоспособностью узлов трения.

При проектировании и производстве узлов трения используются наиболее эффективные материалы, покрытия, способы упрочнения, смазки и широкий круг технологий, обеспечивающих их ресурсоповышающую эффективность.

В Научно-техническом центре «Надёжность технологических, энергетических и транспортных машин» ФГБОУ ВО СамГТУ (далее НТЦ «Надежность» СамГТУ) разработан

и прошёл апробацию ряд триботехнологий, показавших высокую триботехническую эффективность [1 - 3] и др.

Способ диффузионного молекулярного армирования (патент РФ № 2198954) реализует технологию диффузионного внедрения наночастиц, или активных органических молекул вглубь металла по выходам на поверхность дефектов кристаллической решетки. В результате армирования на поверхности образуется модифицированный слой, «прошитый» прочными цепочками химически связанных атомов, выполняющими роль «арматуры» в металлической решетке, что иллюстрирует рис. 1.

При молекулярном армировании диффундировавшие по линейным дефектам вглубь материала наночастицы или органические молекулы, одновременно производят два действия: во-первых, закрепляют дефекты, не давая атомам металла смещаться относительно друг друга под действием внешней нагрузки и генерировать новые дефекты и, во-вторых, инактивируют поверхность, препятствуя взаимодействию выходящих на поверхность дислокаций с активными частицами окружающей среды, что и создаёт ресурсоповышающий эффект этого способа.

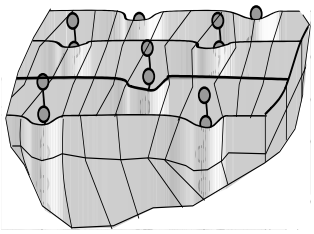


Рис. 1. - Схема пассивации поверхностных дефектов.

Технология молекулярного армирования поверхностей деталей узлов трения содержит два этапа: на первом - производят подготовку поверхностей к молекулярному армированию, их мойку и слабое травление; на втором - детали погружают в технологическую термоактивированную (порядка 70°С) органическую жидкость, например, масло индустриальное с внесенными частицами фторированного графита $(CF_x)_n$ при концентрации порядка 1,5...2,0% и возбуждают в жидкости вибрацию f ≈ 20...100 Гц, А ≈ 1...5мм. Вибрация при нагреве вызывает разрушение органических молекул образующих смазку, в местах их разрыва образуются активные реакционные связи. Эти связи и активные частицы $(CF_x)_n$ взаимодействуют с активными центрами на поверхностях деталей, проникают вглубь металла по линейным дефектам кристаллической решетки и армируют их поверхности. Об эффективности нового способа свидетельствуют следующие результаты испытаний (табл. 1).

Наблюдаемое повышение износостойкости достигает 30%. Снижение и стабилизация силы трения, например, на деталях клапанных систем космических аппаратов составляло от 14 до 28%**.**

В новом способе мультисмазки НТЦ «Надежность» СамГТУ по патенту РФ №_2334909 предложено техническое решение, повышающее прочность под нагрузкой

Таблица 1 Результаты испытания стали 40Х

№ п/п	Виды обработки	Микротвердость Hμ, кг/мм^2	Удельная энергия активации пластической деформации, Дж/мм^3
1	Обработка притиркой на чугунной плите	250	20,8
2	ППД (накатка)	430	21,2
3	Упрочнение по технологии СВС	825	21,5
4	Упрочнение взрывом	465	21,7
5	Новый способ	795	28,2

смазочного слоя узлов трения, реализуемое путем введения промежуточного подслоя высоковязкой жидкости между металлической поверхностью и смазкой, как показано на рис. 2.

В качестве материала подслоя используются жидкости, обладающие высокой адгезией к металлическим поверхностям и одновременно к смазочным материалам, например, кремнийорганические жидкости полиметилсилоксана от ПМС-500 по ТУ6-02-737-78 до ПМС-60000.

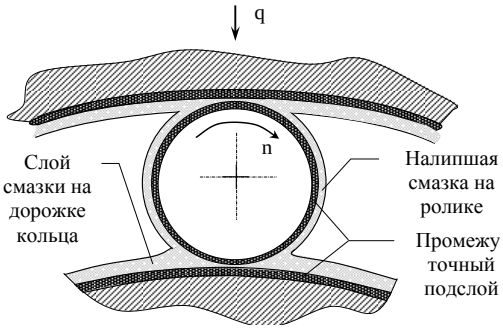


Рис. 2. - Структура промежуточного подслоя в роликовом подшипнике качения.

Так, например, для повышения работоспособности роликовых подшипников переднеприводных автомобилей № 6-77054 была апробирована жидкость марки ПМС-60000.

При сборке в тщательно промытый и просушенный подшипник на поверхности наружных колец и роликов, тампоном, наносили слой жидкости марки ПМС-60000 (толщиной порядка 5 мкм). Затем подшипник, устанавливали на испытательный стенд, подавали смазочное масло и проводили испытания.

При испытаниях (масло ТАД-17) оценивали: температуру саморазогрева, момент трения, уровень шума и вибрации, а эффективность способа оценивали по износостойкости на четырехшариковой машине трения по ГОСТ 9490-75 и при промышленных испытаниях электрошпинделей.

Испытания подтвердили эффективность предложенного способа - за время испытания (60 мин) подшипник практически не нагревался, температура оставалась на уровне комнатной ($T \approx +25^0C$), момент трения снижался на 17.6 %, уровень шума - на 2,5… 3,0 дБ, уровень вибрации - на 2…3 дБ; пятно износа уменьшилось на 30 и более процентов.

Результаты испытания метода мультисмазки на подшипниковых узлах металлорежущих станков, указанны в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытания способа мультисмазки в шпиндельных подшипниках

Описание оборудования (наименование, модель)	Узел	Тип подшипника	Кремнийорганическая жидкость
Внутришлифовальный автомат 3485	Шпиндель	Радиально-упорный 436210	ПМС-60000
Торцешлифовальный станок 4340	Бабка изделия	Радиально-упорный 36205Е	ПМС-60000
Бесцентровосферошлифовальный станок БСШ-300	Шпиндель 7311А480	Радиально-упорный 4-46220Л	ПМС-60000
Бесцентровошлифовальный станок САСЛ-200х500	Шпиндель	Радиально-упорный 4162920	ПМС-60000

Все приведённые в табл. 2 подшипниковые узлы при введении мультисмазки отработали в цехах ОАО «СПЗ» (г. Самара) не менее 1,5…2,0 ресурсов.

При испытаниях мультисмазки (подслой ПМС-60000, смазка Томфлон СК-250) в опорах скольжения шарошек буровых долот (консольный радиально упорный подшипник скольжения с промежуточной свободно-сидящей втулкой $n=270 мин^{-1}$) получены результаты, приведённые в табл. 3, превзошедшие показатели наиболее эффективных аналогичных антифрикционных смазок США, выпускаемых фирмой «Hughes Christensen, Smith и Varel».

Использование предложенного технического решения позволяет получить экономический и технический эффекты за счет увеличения долговечности узлов трения, снижения механических потерь на трение, а также за счет уменьшения расходов на ремонт и смазочные материалы. Ресурсные показатели узлов трения существенно зависят от загрязнения поверхностей.

Таблица 3. Результаты стендовых испытаний в опорах буксовых долот

	Характеристики испытаний	Медьсодержащая смазка, применяемая в долотах фирмы «Hughes Christensen, Smith и Varel» (США)	Томфлон СК-250
	Скорость износа, мкм/час	1,5	1,0
	Максимальная контактная нагрузка (при серебряном покрытии), кгс/см^2	40 — 45	65...67
	Температура саморазогрева (при максимальной нагрузке), Т^{o}С	160	97 - 115
	Демпфирующая способность, δ	0,4	0,8

С целью повышения их ресурса в НТЦ «Надежность» СамГТУ созданы новые технические решения (патенты РФ № 1734886, 2024336, 2287739, 2329879 и 2344312) на **устройство моечных установок**, использующих кавитацию жидкости для очистки поверхностей.

Эффект возбуждения кавитации в созданных установках реализуется при создании резонансных колебаний моющей жидкости, что обеспечивает активное разрушение и диспергирование загрязнений.

Пример одного из устройств (рис. 3) для мойки деталей машин и приборов реализует мойку при погружении деталей в моющую жидкость без применения химреактивов. Настройку на резонансный режим осуществляют путем изменения частоты приводного двигателя постоянного тока, вращающего многовершинный кулачок вибрационного привода - 6. Зона резонанса здесь принадлежит низкочастотному интервалу 10...100 Гц.

Наряду с установками, для мойки погружением, создан струйно-кавитационный способ мойки и сушки деталей, а также - крупногабаритных обьектов, например, баков ракет носителей АО «РКЦ «Прогресс» (рис. 4).

Характеристики устройства приведены в табл. 4, а его схема - на рис. 4.

Таблица 4. Техническая характеристика промывочного узла

1	Производительность мойки подшипников букс, шт./ч.	24
2	Температура моющей жидкости, ^{o}С	25
3	Время промывки, мин	3…5
4	Насос центробежный, тип	2К20-30
5	Мощность электродвигателя, кВт	2,5
6	Скорость потока эмульсии через сопла, м/с	15…20

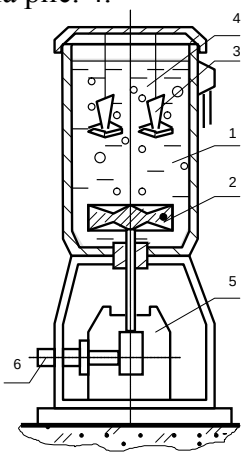


Рис. 3. – Гидроволновая моющая установка.

Схема блока установки для мойки баков ракет-носителей, внедрённой в производство в 2014 г. на АО «РКЦ «Прогресс» показана на рис. 5. При работе моющий блок вращается вокруг вертикальной оси и перемещается по высоте промываемой ёмкости.

Разработанные установки производят кавитационную мойку деталей технической водой, без химреактивов и обеспечивают более высокое качество, а также производительность промывки.

Промывка на кавитационнных установках производительнее, чем на других известных установках. Они успешно очищают детали сложной конфигурации, в том числе с внутренними полостями и глухими каналами от литейной земли, масла, смол, других загрязнений, а также твердых частиц абразивного инструмента, шаржированных в поверхности деталей при обработке и др.

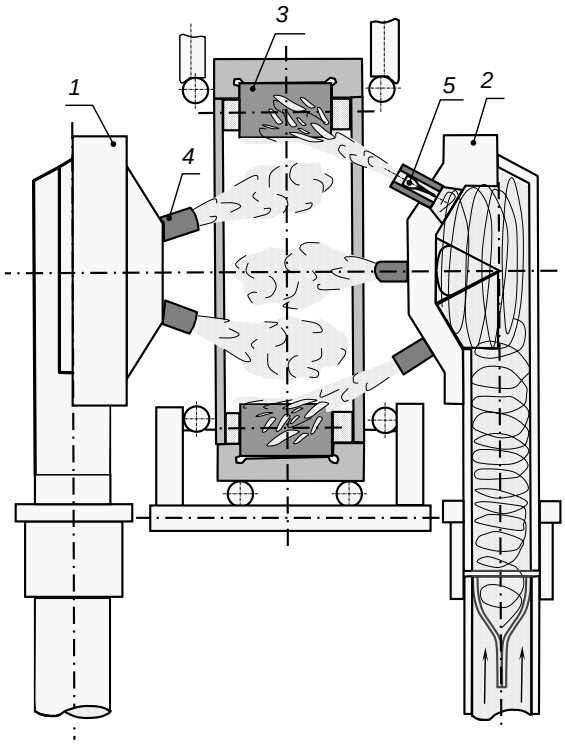


Рис. 4. - Устройство для промывки буксовых подшипников: 1, 2 – струйнокавитационные головки; 3 – промываемый подшипник; 4 – сопла; 5 – кавитатор.

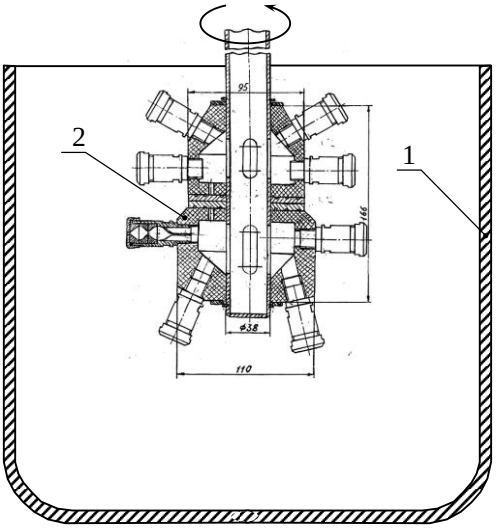


Рис. 5. - Моющий блок установки для мойки баков ракет-носителей: 1 – промываемая ёмкость; 2 – блок струйнокавитационных форсунок.

Дополнительный эффект повышения ресурсных характеристик получают с помощью **пластинчато-эластомерных амортизаторов**, разработанных для применения в механических системах транспортных машин с целью повышения виброустойчивости, комфортности и ресурса работоспособности локомотивов; вагонов, рельс и буксовых подшипников железнодорожного, городского транспорта; технологического оборудования и др. машин.

Разработка амортизаторов в НТЦ «Надежность» защищена патентами РФ № 2258844 и авторским свидетельством на полезную модель № 60160.

В подвесе железнодорожных вагонов пластинчатый амортизатор (рис. 6), размещен под основной пружиной буксового подвеса взамен резинового вкладыша. Рабочий блок пластинчатого амортизатора (рис. 6) содержит порядка 20 пластин толщиной $h_{пл.}$= 0,4 мм, на поверхности которых нанесен тонкий слой кремнийорганической жидкости (порядка 5 мкм), обладающей сверхвысокой поглощающей способностью

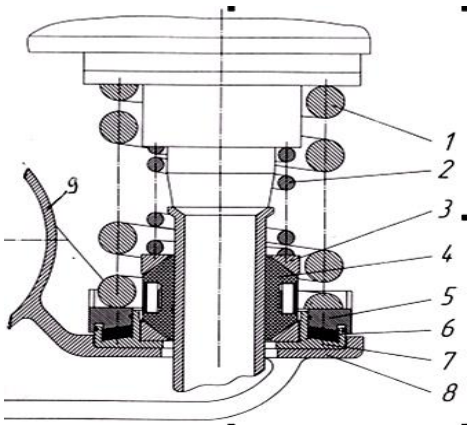


Рис. 6. - Буксовая подвеска пассажирских вагонов: 1 и 2 -пружины буксового подвеса; 3 и 4 – фрикционный амортизатор; 5 и 7 - верхний и нижний корпус; 6 – блок поглощающего тела, содержащего пластины амортизатора, разделенные слоями кремнийорганического эластомера; 8 - опорная поверхность буксы.

Как видно из рис. 7, поглощающая способность пакета пластинчатого амортизатора многократно превысила уровень, создаваемый всеми видами смазки и что обращает внимание - резиновой проставкой.

Вся совокупность разработок в СамГТУ подготовлена для промышленного внедрения.

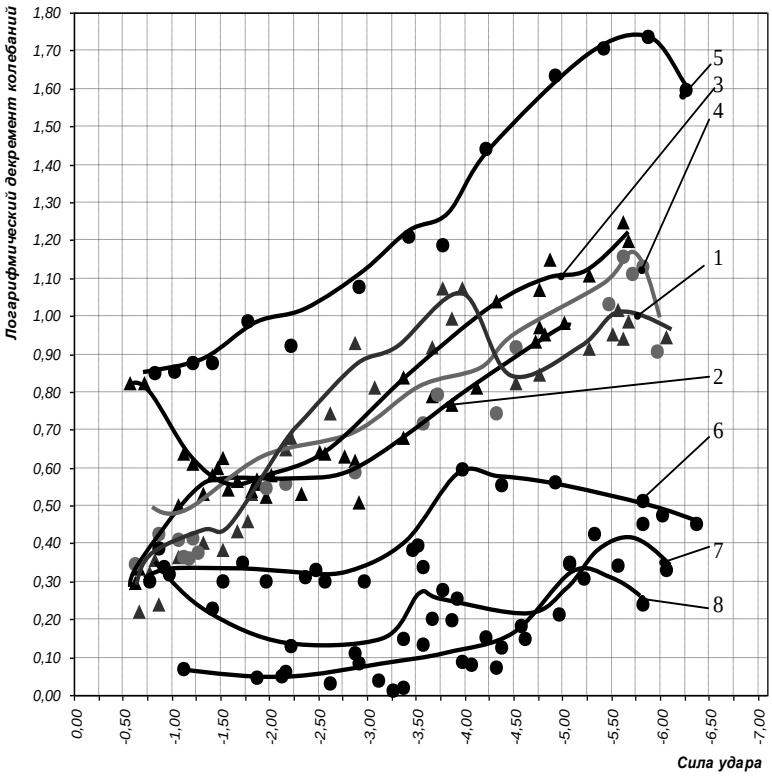


Рис. 7. – Величина логарифмического декремента затухания колебаний пластинчатого амортизатора при ряде использованных жидкостей, статическая нагрузка 342 кг, температура +20°С: 1 – ПМС-60000; 2 – ПМС-60000+И20; 3 – ПМС-500; 4 – ПМС-500+И20; 5 – ПМС-60000+ ПМС-500; 6 - И20; 7 – без смазки; 8 – резина.

УДК 669.018.95

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПЛЕКСНОЙ СУЛЬФОНАТ КАЛЬЦИЕВОЙ СМАЗКИ

В.И. Жорник, А.В. Ивахник, В.П. Ивахник
ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

К числу эффективных методов улучшения свойств пластичных смазочных материалов относится их модифицирование посредством введения в состав функциональных добавок. В настоящее время все большую актуальность приобретает использование в качестве подобных добавок наноразмерных компонентов различной природы. При этом наноразмерные частицы добавки обычно вводятся в состав смазочного материала в виде агрегатов наночастиц, которые необходимо диспергировать для активации их структурообразующих качеств и улучшения реологических и трибологических свойств смазки [1, 2]. Подобный подход относится к физическим принципам модифицирования смазочных материалов нанокомпонентами [1].

Однако для случая использовании физического принципа модифицирования смазочных материалов наноразмерными компонентами следует учитывать ряд негативных аспектов, к числу которых относятся необходимость проведения сложной и трудоемкой операции по диспергированию агрегатов наночастиц и равномерному распределению последних по объему реакционной массы, а также разрушение волокнистой структуры дисперсной фазы при длительной эксплуатации узла трения. Наряду с проблемами, обусловленными агрегированием наночастиц добавки, необходимо также соблюдать ряд требований, связанных с обеспечением химической чистоты вещества нанодобавки. Повысить степень управляемости процессом структурообразования смазочного материала, модифицированного наночастицами, можно в случае использования химического принципа модифицирования, при котором наночастицы добавки химически синтезируются в реакционной массе непосредственно в процессе получения смазочного материала [3].

Высокощелочные сульфонаты кальция, являющиеся основой для получения сульфонатных смазок, широко используются в качестве моющих и диспергирующих присадок к моторным маслам, а также ингибиторов коррозии. В сульфонатных присадках аморфные частицы карбоната кальция с размером 2–15 нм стабилизированы в масле сульфонатом кальция, образуя светлые и чистые дисперсии малой вязкости. Простейшим способом получения пластичных смазочных материалов (ПСМ) из сульфонатных соединений является их обработка при определенных условиях активными агентами, преобразующими аморфный карбонат кальция в одну из кристаллических его модификаций (кальцит), размеры частиц которого составляют 15–50 нм, без образования волокнистой структуры дисперсной фазы (ДФ). Подобные ПСМ обладают хорошими антикоррозионными, противозадирными и противоизносными свойствами при высокой температуре каплепадения, однако характеризуются низкой механической стабильностью, плохой прокачиваемостью при низких температурах, что ограничивает область их применения [4].

Эффективным направлением повышения реологических свойств сульфонат кальциевых ПСМ является формирование их дисперсной фазы на основе комплексных солей с образованием тиксотропных высокоструктурированных коллоидных дисперсий.

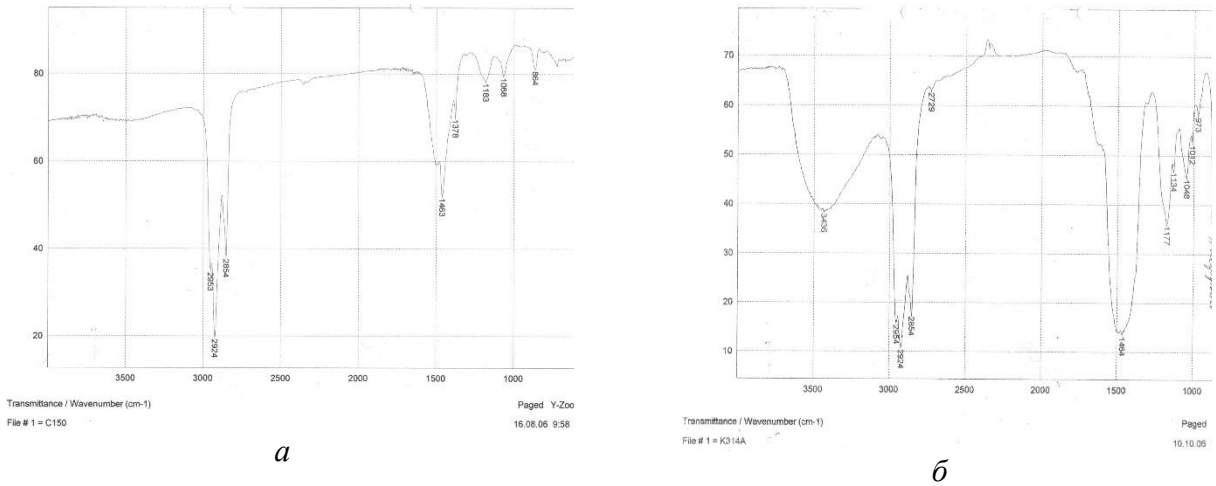
При проведении исследований использовались следующие методики и оборудование. Изучение инфракрасных спектров образцов смазки проводилось на ИК-спектрометре M2000 Series фирмы MIDA (США) с обработкой спектров с помощью программы GRAMS/32 фирмы Golactic (США). Критическая нагрузка и нагрузка сваривания для смазочного материала определялись на четырехшариковой машине трения по ГОСТ 9490-75. Механическая стабильность смазочного материала оценивалась по изменению пенетрации

после 10000, 50000 и 100000 циклов нагружения в соответствии с методикой DIN ISO 2137. Температура каплепадения определялась по ГОСТ 6793-74. Исследование структуры дисперсной фазы ПСМ осуществлялось с использованием средств сканирующей электронной микроскопии по методике [5].

Строение высокощелочных сульфонатных присадок в углеводородной среде представляет мицеллы, внутренняя часть которых состоит из полярных групп, а внешняя – из ориентированных наружу углеводородных радикалов. Такое мицеллообразование в неводной среде является результатом действия сил притяжения между полярными группами поверхностно-активных веществ (ПАВ) и взаимодействия радикалов с растворителем. Размеры частиц карбоната $CaCO_3$ в большинстве присадок обычно не превышают ~5 нм. Изучение структуры $CaCO_3$ в коллоидных частицах с помощью ИК-спектроскопии показывает, что существует четыре формы $CaCO_3$: аморфная и три кристаллических (кальцит, фатерит и арагонит). В природе $CaCO_3$ чаще всего встречается двух типов: кальцит и арагонит, фатерит – менее стойкая форма и в обычных условиях легко переходит в кальцит. Карбонат кальция поглощает инфракрасное излучение в областях 699–745, 842–874 и 1070–1084 см$^{-1}$. Каждой полиморфной модификации карбида кальция соответствует свой пик максимальной адсорбции, в частности, у аморфного $CaCO_3$ пик поглощения наблюдается при 860 см$^{-1}$, у фатерита – 745, 859 и 1070 см$^{-1}$, у кальцита – при 713, 874 см$^{-1}$ (сильная полоса) и обертон при 1084 см$^{-1}$. Ядра $CaCO_3$ в частичках сульфоната кальция (присадки) имеют некристаллическую (аморфную) структуру, что подтверждается широкоугловыми рентгеновскими снимками, в которых присутствует сильный пик поглощения приблизительно при 860 см$^{-1}$, характерный для аморфного $CaCO_3$ [6].

Полученные ИК-спектры сульфонатных присадок С-150 (щелочное число 150) производства ОАО «Нафтан», РБ (рис. 1, *а*) и К-314 (щелочное число 314) производства НПП «Квалитет», РФ (рис. 1, *б*) свидетельствуют о наличие полосы поглощения 864 см$^{-1}$ и отсутствие других полос, характерных остальным модификациям $CaCO_3$, что подтверждает наличие в присадках С-150 и К-314 карбоната кальция в аморфном состоянии.

В комплексных сульфонат кальциевых дисперсиях отдельные микромицеллы с индивидуальным наноразмерным ядром в составе нескольких солей и стабилизирующей оболочкой из сульфоната кальция и кальциевой соли 12-гидрооксистеариновой кислоты образуют макромицелярную трехмерную структуру, т.е. непосредственно дисперсную фазу, которая может быть использована для приготовления пластичных смазок.



а *б*

Рис. 1. - ИК-спектры сульфонатных присадок С-150 (*а*) и К-314 (*б*)

Для получения комплексных сульфонат кальциевых пластичных смазок (kSulCa-смазок) характерен химический принцип модифицирования наночастицами дисперсной фазы, в соответствии с которым сначала синтезируются центры кристаллизации в виде

аморфноподобных частиц карбоната кальция (фатерита), затем они покрываются высокомолекулярной оболочкой, происходит переход аморфноподобного центра в кристаллическую модификацию карбоната кальция (кальцит) (на рис. 2 это отражает снижение пика 2θ = 18º и синхронное повышение пика 2θ = 29º), рост волокон и формирование трехмерной структуры дисперсной фазы.

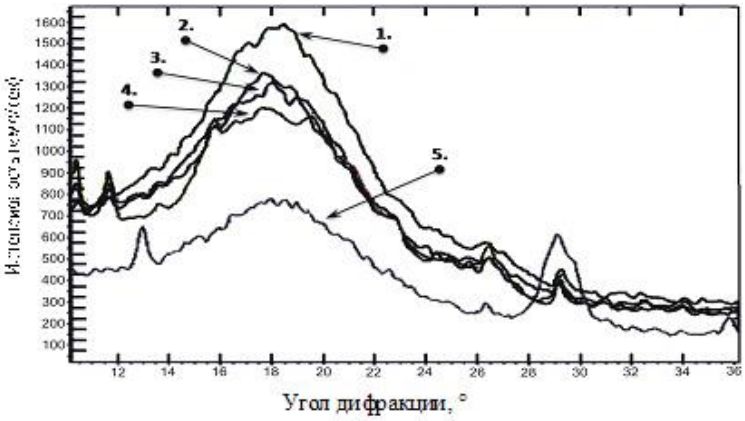
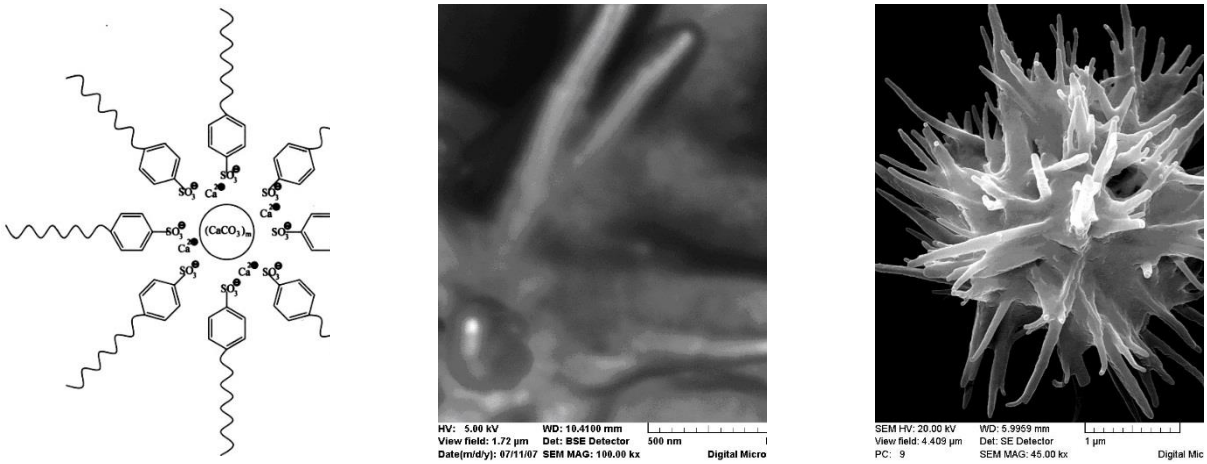


Рис. 2. - Рентгенограммы kSulCa-смазки на различных стадиях получения:
1 – 90 ºС, 2 – 130 ºС, 3 – 180 ºС, 4 – 235 ºС, 5 – готовая смазка

Для получения kSulCa-смазки с повышенными свойствами необходимо добиваться степени перехода аморфного карбоната кальция $CaCO_3$ в его кристаллическую кальцитную модификацию, характеризующуюся полосой поглощения ИК-спектра при 874 $см^{-1}$, до уровня более 60–70%.

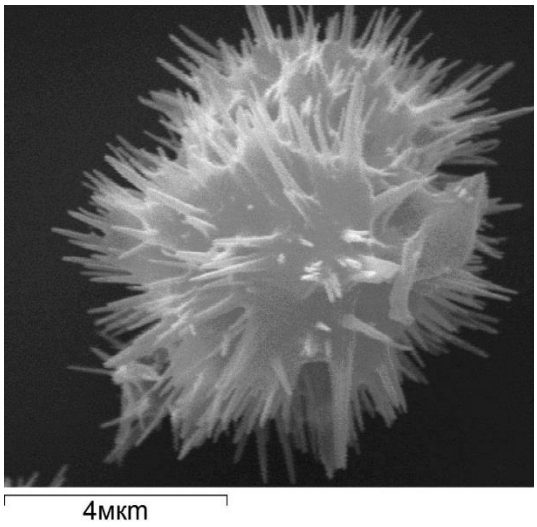
Структура единичного элемента дисперсной фазы kSulCa-смазки представляет собой микромицеллу в виде нанокальцитного ядра (размером до 200 нм) и тонких игольчатых кристаллов кальцита толщиной порядка 100 нм и длиной 1–5 мкм (рис. 3).



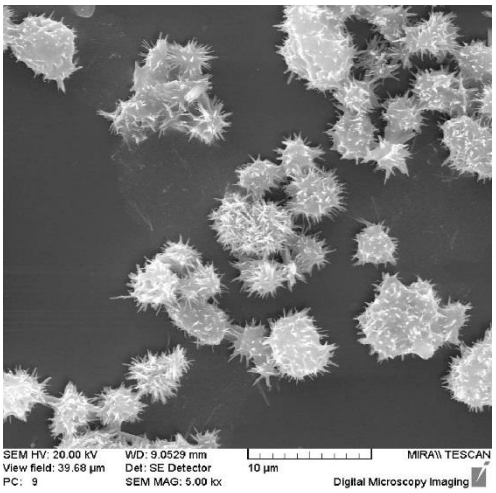
а *б* *в*

Рис. 3. - Модель (*а*) и микроструктура мицеллы kSulCa-смазки (*б, в*)

Единичные элементы дисперсной фазы скрепляются остатками фатерита и аморфноподобной модификации карбоната кальция в отдельные конгломераты микронных размеров (рис. 4, *а*). Они представляют собой макромицелярную трехмерную структуру, и, в свою очередь, за счет сил различного межмолекулярного взаимодействия образуют в совокупности дисперсную фазу смазки (рис. 4, *б*).



а



б

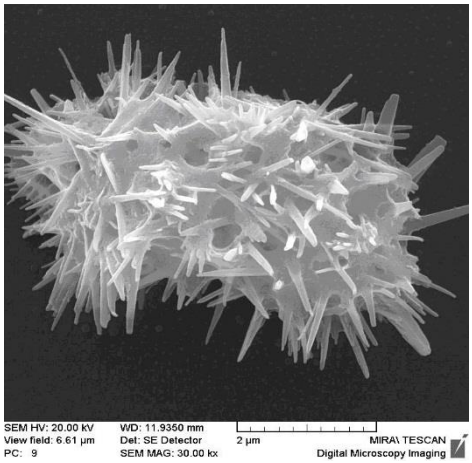
Рис. 4. - Макромицелла (*а*) и структурированный подвижный каркас (*б*) дисперсной фаза kSulCa-смазки

Уникальное строение дисперсной фазы kSulCa-смазки обеспечивает значительно более высокий уровень ее механической стабильности (испытания по ГОСТ 19295-73) по сравнению с комплексной литиевой (kLi-) и комплексной кальциевой (kCa-) смазками (табл. 1).

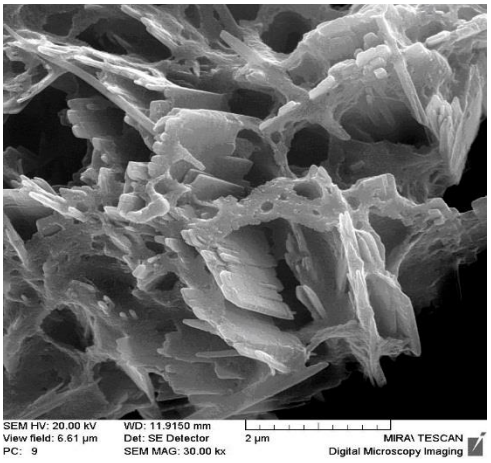
Таблица 1. Механическая стабильность пластичных смазок различного состава

Количество циклов нагружения	Изменение пенетрации за период испытаний, 10^{-1} мм		
	kLi-смазка с пакетом добавок	kCa-смазка с пакетом добавок	kSulCa-смазка
10 000	62	145	5
50 000	70	180	5
100 000	95	193	8

Микроструктура дисперсной фазы kSulCa-смазки до и испытаний на механическую сиабильность, представленная на рис. 5, свидетельствует о том, что ее изменения в процессе испытаний незначительны.



а



б

Рис. 5. - Микроструктура дисперсной фазы kSulCa-смазки до (*а*) и после (*б*) испытаний

Определение противоизносных и противозадирных свойств различных видов пластичных смазок проводилось на четырехшариковой машине трения по ГОСТ 9490-75, нагрузочные кривые представлены на рис. 6.

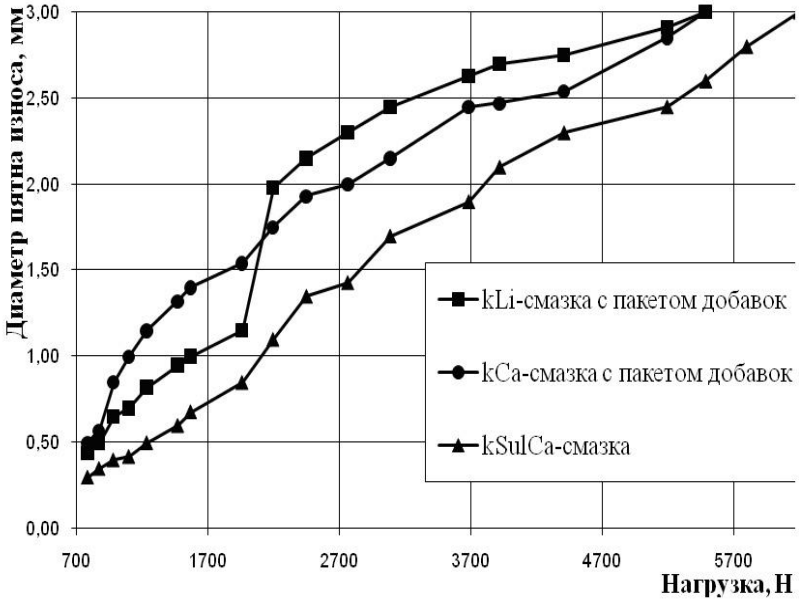


Рис. 6. - Нагрузочные кривые пластичных смазок различного состава

Из представленных данных видно, что kSulCa-смазка обладает наиболее высоким уровнем противоизносных и противозадирных свойств. Так, критическая нагрузка составляет 2520 Н, а нагрузка сваривания – 6200 Н. Нагрузочная кривая kSulCa-смазки практически не имеет скачков, носит равномерно возрастающий характер, что свидетельствует об отсутствии задиров и равномерном изнашивании шаров.

Химический синтез центров кристаллизации дисперсной фазы kSulCa-смазки обеспечивает химическую чистоту и стабильность размеров наночастиц дисперсной фазы, высокую степень упорядоченности ее структуры, что в значительной степени предопределяет повышенные эксплуатационные характеристики kSulCa-смазки. Форма структурированного подвижного каркаса дисперсной фазы kSulCa-смазки обуславливает высокую ее адаптивность к уровню механических и термических нагрузок в узле трения. По совокупности эксплуатационных параметров (термостойкость, механическая и коллоидная стабильность, водостойкость, смазывающая способность, прокачиваемость и др.) kSulCa-смазки существенно превосходят своих предшественников, в том числе комплексные литиевые, комплексные кальциевые, комплексные алюминиевые и полимочевинные смазки. Особенно эффективно использование kSulCa-смазок в узлах трения, работающих в экстремальных условиях (при высоких (до 240 °С) температурах, в контакте с соленой водой, при высоких ударных нагрузках).

На основе проведенных исследований была разработана комплексная сульфонат кальциевая смазка OIMOL KSC WR 2, которая изготавливается на основе минерального базового масла с кинематической вязкостью 240–360 мм^2/с при 40°С и комплексного загустителя сульфоната кальция. Смазка OIMOL KSC WR 2 имеет структуру дисперсной фазы в виде совокупности звездообразных мицелл, состоящих из нанокальцитного ядра, тонких игольчатых кристаллов сульфоната кальция и связующего в виде аморфноподобной фазы карбида кальция и объединенных между собой за счет сил межмолекулярного взаимодействия. Подобная форма структурированного подвижного каркаса дисперсной фазы смазки OIMOL KSC WR 2 обуславливает высокую ее адаптивность к уровню механической и термической нагруженности трибосопряжения. Смазка OIMOL KSC WR 2 характеризуется высокими противозадирными свойствами, водостойкостью, термической стойкостью,

уникальной механической стабильностью, улучшенными антиокислительными и антикоррозионными характеристиками. Типовые параметры смазки OIMOL KSC WR 2 приведены в табл. 2.

Таблица 2. Типовые параметры смазки OIMOL KSC WR 2

Наименование показателей	Норма	Методы контроля
Внешний вид	Однородная мазь коричневого цвета	
Загуститель	Сульфонат кальциевый комплекс	
Пенетрация при 25 °С, 0,1мм	265–295	ГОСТ 5346
Температура каплепадения, °С, не ниже	320	ГОСТ 6793
Вязкость эффективная при 50 °С и среднем градиенте скорости деформации 10 $с^{-1}$, Па·с	30–50	ГОСТ 7163
Предел прочности на сдвиг, Па, при 20 °С	150–600	ГОСТ 7143
Коллоидная стабильность, % не более	1,5	ГОСТ 7142
Коррозионное воздействие на металлы	Отсутствие	ГОСТ 9.080
Массовая доля свободной щелочи %, не более	0,3	ГОСТ 6707
Массовая доля воды, %, не более	Следы	ГОСТ 2477
Термоупрочнение за 1 час при 120 °С, %, не более	20	ГОСТ 7143
Трибологические характеристики: – нагрузка сваривания, Н, не менее – нагрузка критическая, Н, не менее	 5000 1800	ГОСТ 9490

Разработанная смазка OIMOL KSC WR 2 (ТУ BY 190410065.017-2014) является универсальной смазкой для подшипников качения и скольжения машин и оборудования, работающих при низких и средних скоростях в диапазоне температур от –30 до +200ºС (кратковременно до +240ºС) в условиях повышенной влажности (до 100%), что делает ее перспективной для использования в узлах трения строительно-дорожной и горно-шахтной техники, кузнечно-прессового и металлургического оборудования, автомобильного и железнодорожного транспорта, средств морского базирования и др., работающих в широком диапазоне нагрузок и температур.

УДК 621.833.3

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТА РЕСУРСА ПЕРЕДАЧ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

А.В. Зайцев
Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия

Причиной выхода из строя зубчатых и червячных колес являются контактные разрушения активных поверхностей звеньев, износ, задиры по боковым поверхностям зубьев

и излом зубьев (поломка). Данные виды разрушения зубьев являются основной причиной выхода из строя зубчатых колес цилиндрических, конических, а также червячных передач, работающих с жидкой смазкой и приводящей к изнашиванию [1-5].

Изнашивание зубьев по их боковым поверхностям происходит из-за недостаточной несущей способности масляного слоя, разрывов масляной пленки в местах контакта, отсутствия и прекращения подачи смазки, несоответствия сорта смазки режиму работы, её загрязненности и др.[6].

Принципиальное отличие передач червячного типа заключается в том, что в любой точке контакта активных поверхностей звеньев пары происходит относительное скольжение. Величина скорости скольжения растет с увеличением передаточного отношения. Поэтому основные виды повреждений передач червячного типа-это износ (рис 1, 2а [7]) и заедание (рис. 2б[8]), а не усталостное выкрашивание зубьев, как у зубчатых передач [9].

а б в

Рис. 1 - Износ зубьев червячных колёс при использовании различных масел [7]
а-масло Tivela S 320 микропиттинг 0 %; б-масло Tivela A 320, полигликоливое микропиттинг 15 %; в-масло Tivela B 320, полигликоливое микропиттинг 50 % [по данным компании Shell]

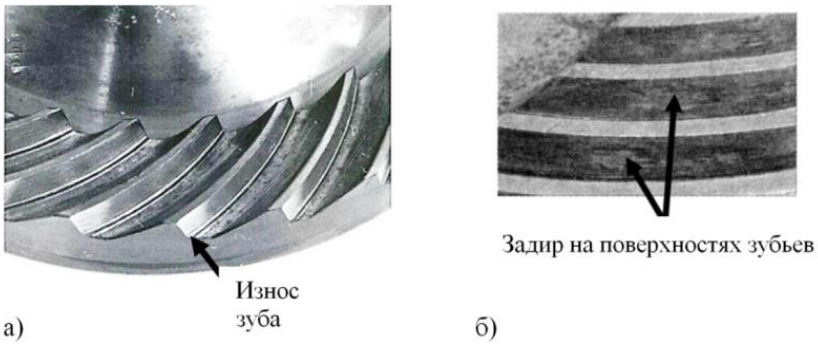


Рис. 2 - Спироидные колеса [8]
а-износ зуба; б-задир на поверхностях зубьев

Поэтому актуально создание метода расчета на износ для червячных передач.

Сложность создания такого метода заключается в возможности комплексного учета различных физических, химических и механических процессов в расчетной методологии.

Предложенная профессором Ю.Н. Дроздовым общая схема расчета на изнашивание позволяет при известной интенсивности изнашивания материала определять долговечность передачи или по известной долговечности передачи найти среднюю интенсивность изнашивания материалов звеньев пары [4].

Следует отметить, что механизм изнашивания может быть различным.

Интенсивность изнашивания-отношение величины изношенного слоя (износа) к пути трения скольжения *S*.

Интенсивность изнашивания зависит от большого числа влияющих физических, химических и механических факторов, характеризующих материал, смазку, агрессивность среды, условия нагружения, температуру, свойства контактирующих поверхностей и т.д. По интенсивности изнашивания можно оценить материалы по их пригодности для различных условий эксплуатации.

По [4; 9; 10] формула для расчета величины износа зуба цилиндрических зубчатых передач имеет вид:

$$h_{1,2} = 2{,}25 J_{h1,2} \sqrt{w_{HE} \eta \rho_{red1,2}} \frac{V_{SY1,2}}{V_{FY1,2}} n_{1,2} i \tau \quad , \qquad (1)$$

где $h_{1,2}$-износ в характерной точке зуба шестерни, колеса, м; $J_{h1,2}$-интенсивность изнашивания материалов шестерни 1и колеса 2 в заданных условиях; w_{HE}-удельная расчетная сила, Н/м; η-упругая постоянная материалов шестерни и колеса, м^2/Н; $\rho_{red1,2}$-приведенный радиус кривизны в расчетной точке контакта зубьев шестерни и колеса, м; $V_{SY1,2}$-скорость скольжения в расчетных точках профиля зубьев шестерни и колеса, м/с; $V_{FY1,2}$-окружная скорость в расчетных точках профиля зубьев шестерни и колеса, м/с; $n_{1,2}$-частота вращения зубчатых колес, мин$^{-1}$; i-число пар зацепления с рассматриваемым зубчатым колесом (для однопарного зацепления i=1; в планетарном ряде зубчатых колес часто для солнечной и коронной шестерен i=3; для сателлита i=2); τ-время работы зубчатого зацепления.

$$\eta = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \quad , \qquad (2)$$

где ν_1, ν_2- соответственно коэффициенты Пуассона материалов шестерни и колеса и E_1, E_2-соответственно модули упругости материалов шестерни и колеса, Н/м^2.

Ресурс работы зубчатой передачи [13] определяется по следующей формуле:

$$L = \frac{[h]_{1,2} V_{FY1,2}}{2{,}25 J_{h1,2} \sqrt{w_{HE} \eta \rho_{red1,2}} V_{SY1,2} n_{1,2} i} \quad , \qquad (3)$$

где $[h]_{1,2}$-допустимый износ зуба шестерни (колеса), м.

Вследствие износа зубьев снижается КПД передачи, возрастает динамическая нагрузка, повышается виброакустический эффект. По мере изнашивания упрочненного поверхностного слоя или твердого смазочного покрытия повышается интенсивность изнашивания, снижается сопротивление излому.

В связи с этим допускаемый износ $[h]$ назначается с учетом состояния трущихся поверхностей, функционального назначения, требуемого уровня надежности.

Расчет по формулам (1) и (2) ведется для непрерывного режима работы при постоянной нагрузке в зацеплении. Для приводов циклического действия нагрузка в зацеплении не остается постоянной. Поэтому интенсивность изнашивания также изменяется: чем больше нагрузка, тем больше интенсивность изнашивания. Учет переменности нагрузки при расчете на износ является также актуальной научно-технической задачей, поскольку возможно точнее оценить ожидаемый ресурс зубчатых передач. Указанная задача актуальна для всех типов передач.

На рис. 3 а представлен график переменного режима нагружения кабелесборочного механизма электропогрузчика в соответствии с конкретными условиями эксплуатации. А на

рис. 3 б представлен график постоянного режима нагружения кабелесборочного механизма, который учитывается при расчете ресурса зубчатых передач в настоящее время специалистами на этапе проектирования кабелесборочного механизма.

Суммарная величина износа зуба спироидного колеса редуктора кабелесборочного механизма за цикл его работы при переменном графике нагружения кабелесборочного механизма (рис. 3 а):

$$h_{\Sigma}=h_1+h_2, \tag{4}$$

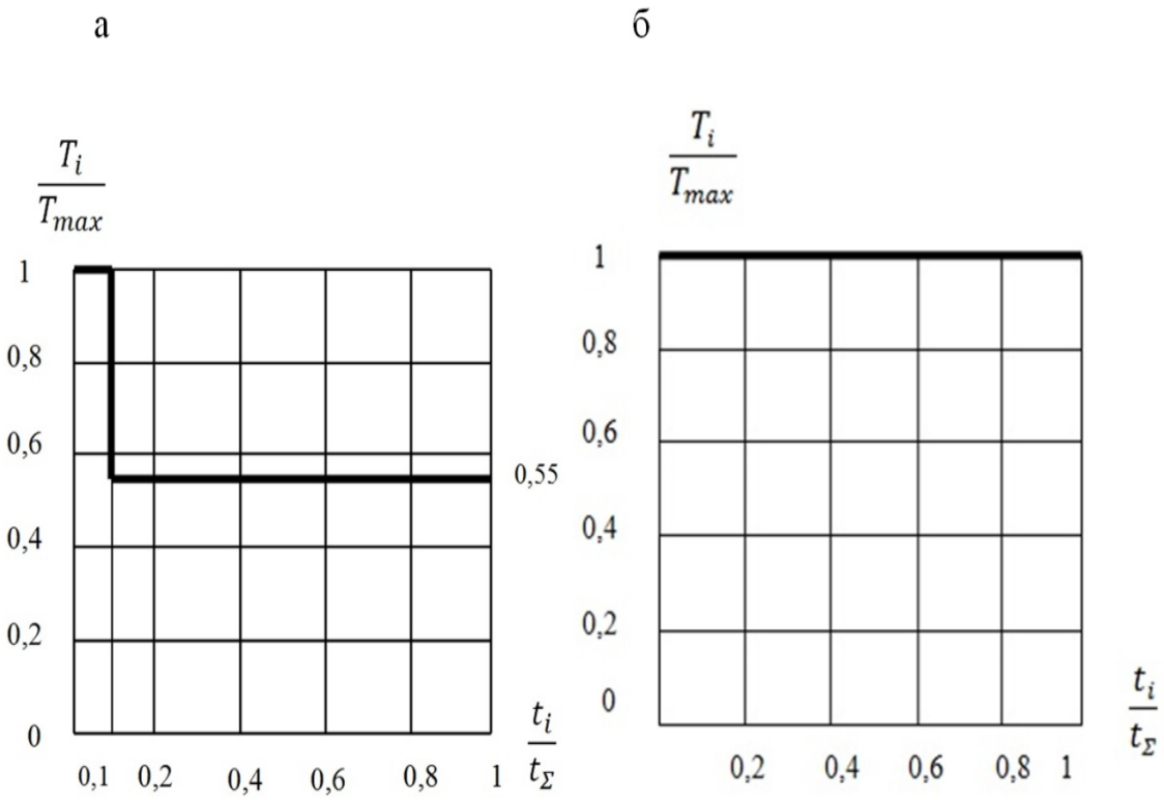


Рис. 3 - Графики режимов нагружения кабелесборочного механизма
а-переменный режим нагружения; б-постоянный режим нагружения

где h_1-величина износа зуба спироидного колеса редуктора кабелесборочного механизма за цикл его работы, соответствующая максимальному рабочему вращающему моменту T_{max} и продолжительностью его действия t_1, мм;

$$h_1 = 2{,}25 J_{h1} \sqrt{w_{HEmax} \eta \rho_{(red1,2)R}} \frac{V_{SY2}}{V_{FY2}} n_2 i\left(\frac{t_1}{60}\right), \tag{5}$$

где $J_{h1}=0{,}7\cdot10^{-8}$-экспериментально определенное значение интенсивности изнашивания материала спироидного колеса редуктора кабелесборочного механизма за цикл его работы соответствующая максимальному рабочему вращающему моменту T_{max}; w_{HEmax}=129 Н/мм-удельная расчетная сила в зацеплении соответствующая максимальному рабочему вращающему моменту T_{max} на барабане кабелесборочного механизма и времени его действия t_1 за цикл его работы и работе правыми поверхностями витков червяка; $\eta=1{,}4\cdot10^{-5}$ мм^2/Н-упругая постоянная соприкасающихся звеньев; $\rho_{(red1,2)R}$=18мм- приведенный радиус кривизны в расчетной точке контакта зубьев колеса для правого делительного осевого угла профиля витков; V_{SY2}=1506мм/с-скорость скольжения в расчетных точках профиля зубьев колеса; V_{FY2}=120 мм/с-окружная скорость в расчетных точках профиля зубьев колеса t_1=10 с.-

время действия максимального рабочего вращающего момента T_{max} на барабане кабелесборочного механизма за цикл его работы в соответствии с графиком (рис.3 а.); n_2=28 мин$^{-1}$-номинальная частота вращения выходного вала спироидного редуктора; i=1-число пар зацепления с рассматриваемым зубчатым колесом.

$$h_1 = 2{,}25 \cdot 0{,}7 \cdot 10^{-8} \sqrt{129 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot 18} \cdot \frac{1506}{120} \cdot 28 \cdot 1 \cdot \left(\frac{10}{60}\right) = 0{,}166 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$$

h_2-величина износа зуба спироидного колеса редуктора кабелесборочного механизма за цикл его работы, соответствующая минимальному рабочему вращающему моменту T_{min} и продолжительностью его действия t_2, мм;

$$h_2 = 2{,}25 J_{h2} \sqrt{w_{HEmin} \eta \rho_{(red1,2)R}} \frac{V_{SY2}}{V_{FY2}} n_2 i \left(\frac{t_2}{60}\right), \qquad (6)$$

где J_{h2}=0,55·10^{-8}-экспериментально определенное значение интенсивности изнашивания материала спироидного колеса редуктора кабелесборочного механизма за цикл его работы соответствующая минимальному рабочему вращающему моменту T_{min}; w_{HEmin}=71 Н/мм-удельная расчетная сила в зацеплении соответствующая минимальному рабочему вращающему моменту T_{min} на барабане кабелесборочного механизма и времени его действия t_2 за цикл его работы и работе правыми поверхностями витков червяка; t_2=90 с.-время действия минимального рабочего вращающего момента T_{min} на барабане кабелесборочного механизма за цикл его работы в соответствии с графиком (рис. 3 а).

$$h_2 = 2{,}25 \cdot 0{,}55 \cdot 10^{-8} \sqrt{71 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot 18} \cdot \frac{1506}{120} \cdot 28 \cdot 1 \cdot \left(\frac{90}{60}\right) = 0{,}873 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$$

Число циклов работы кабелесборочного механизма до предельно допустимого износа зубьев спироидного колеса [h_2]=1,11 мм:

$$N_\Sigma = \frac{[h_2]}{h_1 + h_2} = \frac{1{,}11}{0{,}166 \cdot 10^{-6} + 0{,}873 \cdot 10^{-6}} = 1068335 \text{ циклов.}$$

Прогнозируемый ресурс спироидной передачи кабелесборочного механизма с заданным графиком переменного нагружения составит:

$$L = \frac{N_\Sigma t_\Sigma}{3600} = \frac{1068335 \cdot 100}{3600} = 29676 \text{ ч.}$$

где t_Σ =100 с.-суммарное время действия максимальных и минимальных рабочих вращающих моментов на барабане кабелесборочного механизма за цикл его работы.

Величина износа зуба спироидного колеса редуктора кабелесборочного механизма за цикл его работы, соответствующая максимальному рабочему вращающему моменту T_{max} и продолжительностью его действия t_1= t_Σ=100 с., при непрерывном графике нагружения кабелесборочного механизма (рис. 3 б) по формуле (5), мм:

$$h_1 = 2{,}25 \cdot 0{,}7 \cdot 10^{-8} \sqrt{129 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-5} \cdot 18} \cdot \frac{1506}{120} \cdot 28 \cdot 1 \cdot \left(\frac{100}{60}\right) = 1{,}66 \cdot 10^{-6} \text{ мм.}$$

Число циклов работы кабелесборочного механизма до предельно допустимого износа зубьев спироидного колеса $[h_2]$=1,11 мм при непрерывном графике нагружения кабелесборочного механизма:

$$N_{\Sigma} = \frac{[h_2]}{h_1} = \frac{1{,}11}{1{,}66 \cdot 10^{-6}} = 668675 \text{ циклов.}$$

Прогнозируемый ресурс спироидной передачи кабелесборочного механизма с заданным непрерывном графиком нагружения составит:

$$L = \frac{N_{\Sigma} t_{\Sigma}}{3600} = \frac{668675 \cdot 100}{3600} = 18575 \text{ ч.}$$

Выводы.

1. Предложена методика расчета ресурса спироидной передачи кабелесборочного механизма с учетом переменного режима нагружения в зависимости от интенсивности изнашивания активных поверхностей звеньев.
2. Приведен пример сравнительного расчета ресурса спироидной передачи с переменным режимом нагружения и при постоянной (максимальной) нагрузке. Учет переменности нагружения кабелесборочного механизма позволяет точнее прогнозировать ресурс (долговечность) спироидной передачи.
3. Полученные результаты позволяют специалистам на этапе проектирования, кабелесборочного механизма более точно спрогнозировать ресурс спироидного мотор-редуктора с учетом его режима нагружения, а также условий эксплуатации электропогрузчика.

УДК 621.961: 539.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЛЕНКЕ ФРИКЦИОННОГО ПЕРЕНОСА ПРИ ТРЕНИИ ПТФЭ В МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ПАРЕ ТРЕНИЯ

Т.А. Иваночкина
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

В последние два десятилетия предпринимаются значительные усилия по изучению трения на атомарном уровне, возникло научное направление называемое нанотрибология. Этому способствует появление и совершенствование новых экспериментальных устройств для измерения трения при низких нагрузках на нанорасстояниях. Особую роль в описании и понимании процессов происходящих при трении занимает моделирование. Математические модели могут помочь в интерпретации экспериментальных данных или обеспечить прогноз, подтверждающий или опровергаемый дальнейшими экспериментами.

Недостатком существующих математических моделей теории трения является отсутствие учета структурных изменений и связанных с ними изменений механических, физико-химических и других свойств трибосопряжения.

Металлополимерная трибосистема состоит металлического тела, полимерного тела и полимерной пленки фрикционного переноса. Пленка фрикционного переноса прочно удерживается силами адгезионного взаимодействия на поверхности металлического тела за счет физических (Ван-дер-Ваальсовы силы и электростатические силы) и химических связей между полимером и металлом. С другой стороны пленка фрикционного переноса находится во взаимодействии с поверхностью полимерного тела. Под действием внешней нагрузки скользящий контакт между пленкой фрикционного переноса и полимером происходит в зонах соизмеримых с межмолекулярными размерам, что приводит к процессам энерго и массопереноса на границе раздела. На этой же границе сосредотачивается и разрушение материала, приводящее к изнашиванию пленки фрикционного переноса и полимерной детали.

В процессе формирования пленки фрикционного переноса происходят сложные физико-химические изменения, связанные с протеканием конкурирующих процессов деструкции и структурирования. Как показано в [1] процесс приработки приводит к формированию на поверхности металлического контртела пленки фрикционного переноса с измененными механическими и термодинамическими свойствами. Наряду с аморфной жидкокристаллической мезофазой политетрафторэтилена (ПТФЭ) имеются участки, сохраняющие свою кристаллическую структуру. Эти участки смещаются в процессе трения вместе со слоями макромолекул вдоль направления скольжения.

Исследования [2] подтверждают, что при одновременно происходящих процессах образования и разрушения диссипативных трибоструктур, возможно достижение стационарного состояния пленки переноса. Это свидетельствует о существовании в системе обратной связи. В соответствии с принципом Ле-Шателье-Брауна разрушение диссипативных трибоструктур компенсируется кинетикой их образования, что обеспечивает устойчивое и минимальное трение. Исследование процесса установившегося трения показало, что при постоянных параметрах нагружения сила трения не остается постоянной, а периодически меняется.

Образование и развитие двух состояний, отражающих новый и старый порядок в системе, может быть исследовано в рамках модели фазового перехода. Феноменологическая теория фазовых переходов Ландау- Эренфеста была создана Л. Ландау и П.Эренфестом в 1937 году. Изменение структуры системы связано с изменением ее внутренней симметрии а структурный фазовый переход есть проявление этого изменения. Модель фазового перехода применяется для описания взаимодействия элементов в многочастичной системе. Структурный фазовый переход учитывает кооперативный характер этого взаимодействия и отражает тот факт, что часть элементов системы приобретает некоторые новые свойства , а другая – сохраняет старые. Внешние управляющие параметры способны изменять это соотношение. Модель фазового перехода отражает некий общий закон развития сложных систем – наличие в системе двух типов кластеров: отвечающих за эволюционное развитие и несущих инерционную составляющую.

Для построения математической модели структурных изменений, происходящих в пленке фрикционного переноса воспользуемся кинетической теорией фазовых превращений первого рода, основанной на флуктуационной картине зарождения фазы и последующем росте ее выделений [3]. Как указывается в [2] повышение температуры в зоне трения до температуры фазового перехода (327°С) вызывает переход кристаллической фазы ПТФЭ в аморфную с последующим образованием более упорядоченной слоистой трибоструктуры. Следовательно, именно температура выступает в качестве управляющего параметра. Примем простейшее выражение для скорости изменения температуры в зоне взаимодействия

$$\frac{dT}{dt} = \beta\left[L\left(\varepsilon,T\right) - L_S\right] \tag{1}$$

здесь T - температура, $L(\varepsilon,T)$ - функция определяющая интенсивность диссипативных процессов и зависящая от температуры и сдвиговой компоненты деформации ε, β - параметр определяемый временем релаксации температуры, L_s - характерное значение интенсивности диссипативных процессов (константа).

В свою очередь для скорости изменения сдвиговой компоненты можно записать

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \alpha\ F\left(\varepsilon,\mathrm{T}\right) \tag{2}$$

здесь $F(\varepsilon,T)$ - функция определяющая поведение коллективной моды, α - параметр определяемый временем релаксации деформаций.

Легко показать, что система (1)-(2) имеет точку равновесия $\left(\varepsilon_0,T_0\right)$, если в этой точке выполняются условия

$$\alpha_0 = \frac{\beta\ L_R}{F_Y},\ \ F_\mathrm{Y}L_R - F_R L_Y > 0,\ \ F_\mathrm{Y} > 0 \tag{3}$$

В работе [4] показано, что если (3) выполняется, то в системе (1)-(2) существуют предельные циклы с центром в точке $\left(\varepsilon_0,T_0\right)$ (бифуркация Хопфа). Критическое значение бифуркационного параметра α равно α_0.

Таким образом, уравнение (2), для описания упрощенной модели поведения коллективной моды, может быть представлено дифференциальным уравнением

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + h_1\varepsilon + c_1 T = \Phi\left(\varepsilon,T\right) \tag{4}$$

$\Phi\left(\varepsilon,T\right)$ –нелинейная функция, описывающая свойства материала

Будем считать, что $\Phi\left(\varepsilon,T\right)$ имеет участки многозначности, т.е. в системе существуют потенциальные барьеры. Одно из косвенных подтверждений существования потенциальных барьеров приведено в работе [5]. Для определенности ограничимся случаем, когда потенциальный барьер формируется только по координате T. Тогда вблизи точки равновесия $\varepsilon = \varepsilon_0$ производная $\frac{\partial\Phi}{\partial T}$ может принимать как положительные, так и отрицательные значения при изменении температуры. Вводя в рассмотрение $T = T_0 + x$ уравнение (4) можно переписать в виде

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + h_1\varepsilon + bx = 0$$

$$b = c_1 + \frac{\partial\phi}{\partial x}; \qquad \phi\left(\varepsilon,x\right) = \Phi\left(\varepsilon,T_0 + x\right) - \Phi\left(\varepsilon_0,0\right)$$

Структурное состояние материала среды, характеризуемое некоторой переменной z будем считать изменяющимся по экспоненциальному закону, т.е. эволюционное уравнение изменения свойств среды будем принимать в виде

$$A\frac{dz}{dt}+z=kxY$$

где k – обобщенный коэффициент адаптации.

Таким образом, динамика формирования пленки фрикционного переноса описывается системой

$$\begin{cases}\dfrac{d\varepsilon}{dt}+h_1\varepsilon+bx=-\varepsilon z\\ \dfrac{dx}{dt}=\beta\, L_1(\varepsilon,x)\\ A\dfrac{dz}{dt}+z=kx\varepsilon\end{cases} \tag{5}$$

В первом уравнении системы (5) стоит знак минус, так как динамика изменения сдвиговой компоненты, формируемая эволюционными изменениями направлена против отклонения системы от точки равновесия.

Легко видеть, что в предположении линейности функции $L_1(\varepsilon,x)$ полученная система уравнений сводится к известной системе Лоренца [6], которая, как известно, имеет странный аттрактор.

Таким образом, учет структурного состояния среды может порождать хаотическое поведение переменных, описывающих динамику формирования пленки. Поведение нелинейных динамических систем находящихся на кромке хаоса необходимо исследовать, используя мощный математический аппарат, разработанный в синергетике. В работах Г. Хакена показано, что малые изменения управляющего параметра могут приводить к существенному изменению структуры системы. В качестве аттракторов нелинейных неустойчивых систем наряду с устойчивым узлом и фокусом могут быть предельный цикл (регулярные оссциляции системы) или странный аттрактор (хаотическое поведение системы). Отмечено, что в сложных системах, удовлетворяющих требованиям открытости, нелинейности и неустойчивости возможно проявление самоорганизации – возникновение пространственных, временных или пространственно-временных структур [4].

В предположении линейности $L_1(\varepsilon,x)$ перепишем (5) в виде

$$\begin{cases}\dfrac{dx}{dt}=\varepsilon-\nu_1 x\\ \dfrac{d\varepsilon}{dt}=\nu_2 x-\nu_3\varepsilon-\nu_4 xz\\ \dfrac{dz}{dt}=\nu_5 x\varepsilon-\nu_6 z\end{cases} \tag{6}$$

где $\nu_2=-b,\ \nu_3=h_1,\ \nu_5=\dfrac{k}{A},\quad \nu_6=-\dfrac{1}{A}$

В полученной системе принципиальное значение имеют два параметра ν_2 и ν_3, т.к. они определяют знак в (6). Будем считать, что $\nu_2 = -b$ может менять знак, так как выражение $\left(c_1 + \frac{\partial\varphi}{\partial x}\right)$ может быть отрицательным на нисходящей ветви функции $\varphi(\varepsilon, T)$. Тогда первое уравнение в (6) характеризует неколебательное изменение. Его образом в фазовом пространстве является седлообразная сепаратрисса.

Исследуем характер изменений в поведении решений системы (6). По мере увеличения ν_2 единственная асимптотически устойчивая точка равновесия претерпевает бифуркации и в пространстве состояний формируются как предельные циклы, так и странные аттракторы.

Для удобства анализа будем считать все параметры системы неизменными кроме $b = c_1 + \frac{\partial\varphi}{\partial x}$. Если $\left(c_1 + \frac{\partial\varphi}{\partial x}\right) > 0$, то система имеет единственную асимптотически устойчивую точку равновесия $\varepsilon^* = 0$. При изменении знака $c_1 + \frac{\partial\varphi}{\partial x}$ наблюдается бифуркация стационарного состояния типа вилки и от точки $\varepsilon^* = 0$ отходят три ветви. Причем ветвь $\varepsilon^* = 0$ становится неустойчивой. Ветви A^+ и A^- в начале являются устойчивыми, а затем по мере изменения $\frac{\partial\varphi}{\partial x}$ претерпевают дальнейшие бифуркационные преобразования.

По мере смещения $c_1 + \frac{\partial\varphi}{\partial x}$ в отрицательном направлении существенно меняются свойства системы. В области $\frac{\partial\varphi}{\partial x} > -c_1$. система имеет единственную асимптотически устойчивую ветвь при всех $\frac{\partial\varphi}{\partial x} > 0$. Затем в области $-13{,}9c_1 < \frac{\partial\varphi}{\partial x} < -c_1$. система после бифуркации типа вилки имеет точку равновесия $\varepsilon = 0$, являющуюся седлом, имеющим двумерное устойчивое многообразие (на точках ветвей A^+ и A^-) и одномерное неустойчивое многообразие (точка $\varepsilon = 0$.). Затем в достаточно ограниченной области параметров (в области $-24{,}7c_1 < \frac{\partial\varphi}{\partial x} < -13{,}9c_1$) из сепаратрисс рождаются неустойчивые периодические движения (неустойчивые предельные циклы), которые не являются притягивающими. Характерно, что на границе второй и третьей областей фазовые траектории являются двояко асимптотическими к седлу, т.е. в них формируются симметричные замкнутые траектории, которые могут случайно смещаться по симметричным направлениям движения. Затем могут формироваться неустойчивые предельные циклы в одной или второй полуплоскостях $x - z$. Тем не менее траектории вначале стремятся к точкам, находящимся на ветвях A^+ и A^-, а затем по мере смещения влево эти точки начинают хаотически смещаться.

Тем самым зарождается детерминированный хаос в виде известного аттрактора Лоренца, который становится единственным многообразием в системе в области $\frac{\partial\varphi}{\partial x} < -24{,}7c_1$.

Таким образом, в зависимости от градиента функции сближения в точке равновесия формируется большое разнообразие динамических состояний, среди которых одним из состояний является аттрактор Лоренца.

Особый интерес представляет случай, когда параметры системы таковы, что система находится вблизи бифуркационных преобразований, т.е. система находится на кромке хаоса. Тогда достаточно малых вариаций параметров системы для того, чтобы система самопроизвольно перешла в состояние детерминированного поведения, т.е. наблюдается ее спонтанная самоорганизация.

Проведенный анализ позволяет сделать важные заключения о формировании пленки фрикционного переноса при трении ПТФЭ в металлополимерной паре трения.

Учет структурных изменений среды приводит к формированию дополнительных связей, в результате чего свойства обобщенной модели могут принципиально отличаться от свойств исходной. В пространстве состояния обобщенной модели могут формироваться одна или несколько асимптотически устойчивых точек, устойчивые и неустойчивые предельные циклы, инвариантные торы. Все они приводят в зависимости от начальных условий к появлению устойчивых траекторий-аттракторов движения (точка, периодический процесс, квазипериодический процесс). Подобные режимы изменений пленки переноса неоднократно наблюдались в экспериментах.

При учете эволюционных изменений структурного состояния материала в системе, как правило, формируются такие мультипликативные связи, которые при определенных параметрах вызывают формирование детерминированного хаоса, проявляющегося в образовании особых стационарных траекторий – странных аттракторов. Такие траектории способны проходить через значительную часть пространства состояний и приближаться к кромке хаоса, при переходе через которую формируется стационарная траектория (в частности асимптотически устойчивая точка равновесия). Поэтому в случае учета структурного состояния материала среды для эволюционных преобразований характерно чередование хаотического и детерминированного состояний.

Проведенный теоретический анализ процесса формирования пленки фрикционного переноса ставит задачу сопоставить экспериментально наблюдаемые режимы формирования пленки и предсказываемые моделью, для оценки входящих в модель параметров и функций, определяющих интенсивность диссипативных процессов и поведения коллективной моды. Подобный подход позволит не только моделировать поведение металлополимерной трибосистемы, но и формировать управляющее воздействие на нее.

УДК 621.891.012 + 06

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИСАДОК С ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТАЛЛА*

В.И. Колесников[1], Ю.Ф. Мигаль[2], М.А. Савенкова[1]
[1]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2]*ФГБУН «Южный научный центр РАН», г. Ростов-на-Дону, Россия*

Введение

В нашей группе с 2007 г. проводятся исследования трибологических процессов на атомарном уровне, с применением современных квантово-химических методов (на основе метода DFT) [1-3]. Важно отметить, что создание метода DFT позволило совершить прорыв в методологии изучения различных процессов на атомарном уровне, в т.ч. процессов на поверхностях металлов. Изучение трибологических процессов на таком уровне позволяет

* Исследование выполнено в рамках Госзадания на 2016 г. № 007-01114-16 ПР (проект 0256-2015-0074).

глубже и детальнее рассмотреть закономерности этих процессов, разумеется, не подменяя их изучение на макро- и мезоуровнях.

Наши квантово-химические исследования проводятся в двух направлениях:

1) сегрегационные процессы в поверхностных слоях металлов и 2) взаимодействие присадок с поверхностью металлов. В этом докладе речь пойдет о втором направлении – о разработке новых присадок и изучении их свойств.

Традиционно в качестве присадок к смазочным материалам (СМ) используют органические соединения (например, алкилдитиофосфаты, алкилсульфиды, дитиокарбаматы, хлорпроизводные некоторых соединений и др.), которые в процессе трения могут разлагаться, инициируя деструктивные процессы в нефтяной масляной основе. Наряду с органическими присадками применяются и неорганические вещества (сульфаты, дихалькогениды, молибдаты некоторых металлов и др.). Обладая некоторыми достоинствами, они в основном применяются в ограниченном объеме из-за их неолеофильности и невысокой коллоидной стабильности. Эти свойства обуславливают сравнительно невысокий смазочный эффект, который проявляется, в частности, большинством веществ минеральной природы. Опыт показывает, что более работоспособными являются неорганические соединения, обладающие высокой термо- и химической стабильностью. К таким соединениям относятся полимерные гетерофосфаты, которые устойчивы в широком температурном диапазоне и совместимы с дисперсионной средой пластичных смазочных материалов [4-7]. Наряду с силикатными и борсодержащими присадками фосфорсодержащие присадки в настоящее время признаются многими исследователями как перспективные материалы для высокотемпературной трибологии. Недавно в журнале Tribology International (издательство Elsevier) опубликован большой обзор [8] по этим присадкам, в котором есть ссылки на наши работы.

В данном сообщении рассматриваются новые соединения – фосфоромолибдаты. Их характерными особенностями являются лабильность анионной структуры, способность находиться в зависимости от условий в кристаллическом или аморфном состояниях. Эти и другие особенности позволяют целенаправленно изменять свойства данных соединений и оптимизировать их для применения в СМ.

Проведенные нами ранее исследования показали, что фосфоромолибдаты щелочных металлов и никеля улучшают триботехнические характеристики СМ, защищают металлические поверхности от износа. Естественно ожидать, что другие соединения из группы фосфоромолибдатов также могут оказаться эффективными присадками к СМ.

Новым исследуемым объектом из этого ряда является *фосфоромолибдат кобальта.* На его примере покажем этапы наших исследований присадок этого типа. Вначале мы исследуем свойства этих веществ. Поскольку эти вещества сложны по структуре, изучаем фазовые диаграммы с целью выявить устойчивые соотношения компонент в системе. Затем с помощью физических и квантово-химических методов проводим анализ структуры и физико-химических свойств выбранного соединения. Далее исследуем, как это соединение взаимодействует с поверхностью металла. Параллельно проводятся триботехнические испытания. В итоге получаем некоторую детальную картину, описывающую данное вещество.

Квантово-химический анализ

В данном сообщении рассмотрим немного подробнее один из этапов исследований – квантово-химический анализ. Это важный этап исследования, поскольку структура и межатомные связи соединения определяют, в конечном счете, все его физико-химические свойства. В расчетах использовался пакет программ ADF, основанный на приближении DFT.

На рис. 1 представлена структура соединения $2Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3$. Это циклическое соединение с точечной симметрией C_4. Его молекула состоит из связанных между собой четырех атомных тетраэдров PO_4, четырех атомных тетраэдров MoO_4 и двух мостиковых атомов Co.

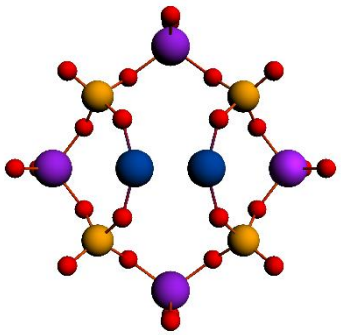


Рис. 1 – Структура соединения $2Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3$

При сближении с поверхностью железа структура молекулы существенно перестраивается. В соответствии с проведенными расчетами этапы в изменении структуры молекулы можно представить следующим образом (рис. 2):

1) получение заряда 2е от поверхности: $2Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3 + 2e \rightarrow [2Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3]^{2-}$;

2) распад на две одинаковые линейные цепочки $Co(PO_3)_2 \cdot 2MoO_3$ (каждая с заряженным радикалом PO_3^- на одном из концов: $[2Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3]^{2-} \rightarrow 2[Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3]^-$;

3) захват линейными цепочками двух атомов кислорода из распавшейся молекулы кислорода: $O_2 \rightarrow 2O$, и переход цепочек в новую форму $2[Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3]^- + 2O + 2e \rightarrow 2[Co(PO_3)_2 \cdot 4MoO_3 \cdot O]^{2-}$.

Эти процессы могут протекать как последовательно, так и параллельно. При этом происходит понижение энергии системы на 22 эВ. Часть выделяющейся энергии идет на распад молекулы кислорода. С использованием приближений, принятых в данной работе, энергия, необходимая для распада молекулы O_2, равна 5,2 эВ. Таким образом, общее количество выделяемой энергии в расчете на одну исходную молекулу составляет ~17 эВ.

В результате этих процессов у поверхности железа вместо исходной циклической молекулы образуются две радикальные цепочки, которые затем адсорбируются на поверхности.

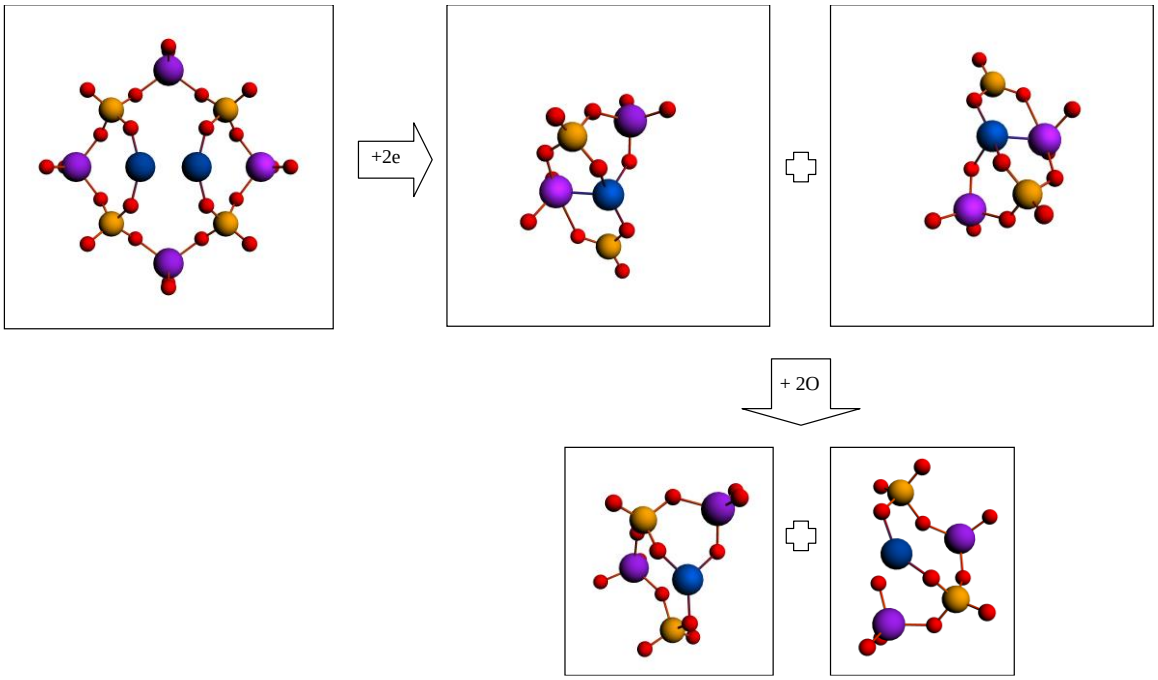


Рис. 2 – Распад молекулы вблизи поверхности металла

Для расчета адсорбции использована модель двупериодической пластины (рис. 3). В этой модели поверхность железа имитируется бесконечной трехслойной пластиной, состоящей из атомов Fe. Рассматривается грань (001) объемно-центрированной решетки, характерной для железа при низких и средних температурах. Адсорбированная цепочка моделируется концевой группой MoO_4 или PO_4. Атомы O, ближайшие к поверхности, в обоих случаях находятся над ребрами ячеек. Из рис. 3 видно, что расположение атомов железа в верхнем слое немного изменяется вследствие возникновения ковалентной связи между адсорбатом и адсорбентом.

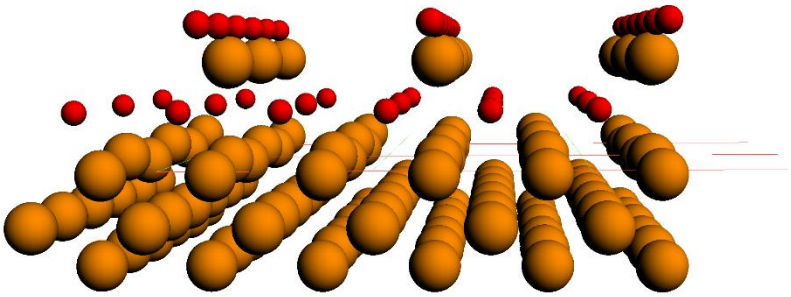


Рис. 3 – Модель пластины: три атомных монослоя железа + концевые фрагменты молекул присадки

Для оценки прочности связи цепочек с поверхностью оценивалась энергия, необходимая для распада системы. Рассматривались два варианта распада: 1) на исходные фрагменты (цепочки + поверхность), с энергией распада E_1 и 2) с вырыванием из пленки части атомов Fe, ближайших к адсорбату, с энергией распада E_2 (рис. 4).

Энергия, необходимая для распада, вычислялась по формуле:

$$E_{ad} = E_{tot} - E_{Fe} - E_{PW},$$

где E_{tot} – энергия адсорбционного комплекса, включающего слои железа и концевые группы адсорбированных молекул, E_{Fe} – энергия трех слоев железа, E_{PW} – совокупная энергия концевых групп молекул.

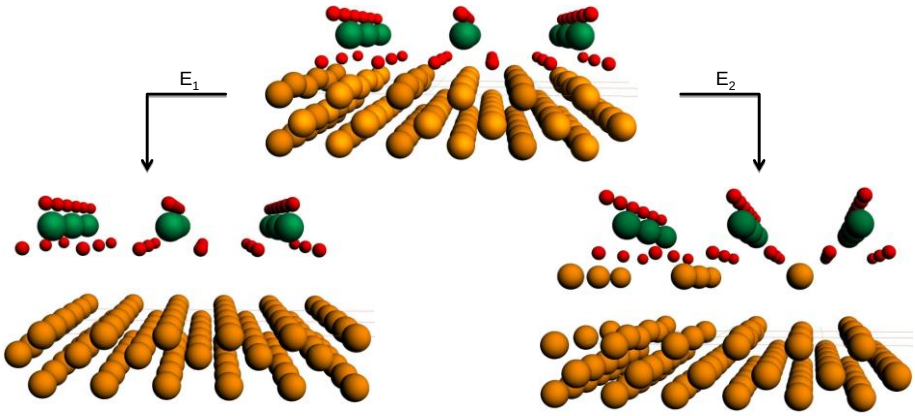


Рис. 4 – Два варианта распада адсорбционного комплекса, состоящего из концевых групп адсорбированных молекул и трех слоев поверхности металла. Во втором варианте кроме адсорбированных молекул отрывается также часть атомов металла

В табл. 1 представлены значения энергии E_1 и E_2 (в расчете на ячейку), необходимые для распада адсорбционных комплексов на отдельные фрагменты.

Таблица 1. Энергии, необходимые для распада адсорбционных комплексов на отдельные фрагменты

Энергия, эВ	Адсорбированная группа	
	MoO_4	PO_4
E_1	6.4	7.0
E_2	3.0	4.0

Из этих данных следует, что при интенсивном силовом воздействии более вероятно разрушение комплексов с вырыванием атомов Fe.

Триботехнические испытания

Были проведены исследования пятна износа стальных образцов в вазелиновом масле с 3% присадкой фосфоромолибдата Co(II). Испытания проводились на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1, при нагрузке 196 Н, со скоростью вращения 1400 об/мин, в течение 1 часа. Результаты испытаний приведены в табл. 2 и на рис. 5-7.

Таблица 2. Значения диаметров пятен износа

Испытуемая среда	Диаметр пятна износа, *мм*			
	измеренный			среднее значение
Вазелиновое масло	0,423	0,375	0,459	0,419
Вазелиновое масло + 3масс.% фосфоромолибдата	0,285	0,267	0,270	0,274

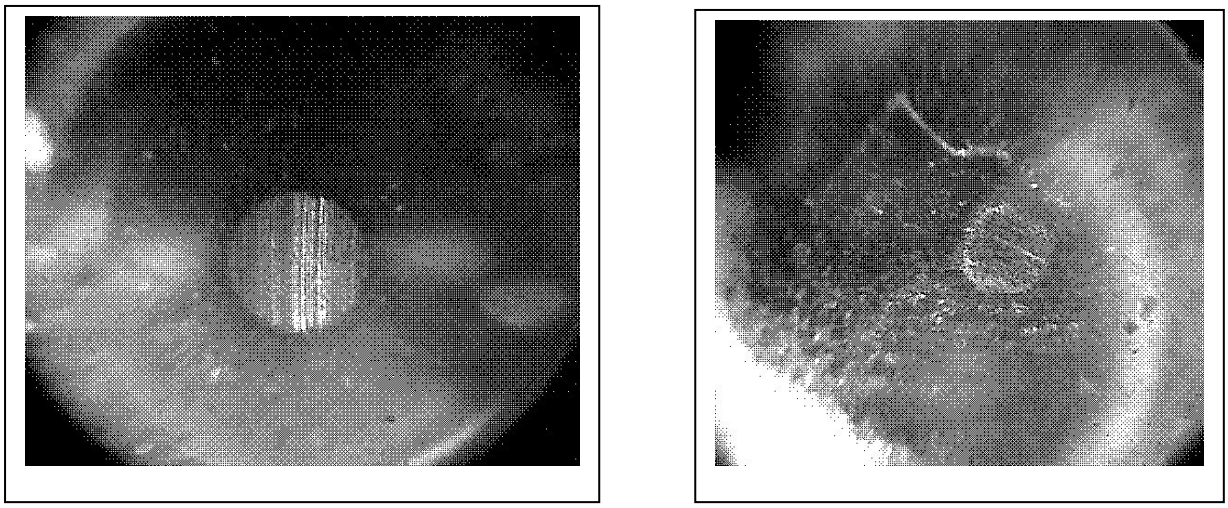
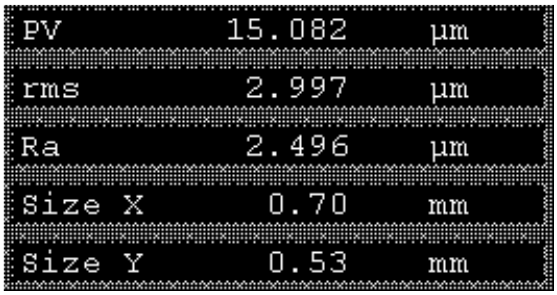


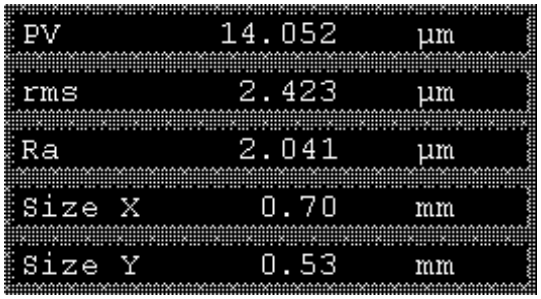
Рис.5 – Диаметры пятен износа:
а – вазелиновое масло, б – вазелиновое масло + 3 масс.% фосфоромолибдата

Оказалось, что наличие фосфоромолибдата кобальта приводит к уменьшению пятна износа в 1,5 раза.

Анализ поверхности проводился с помощью системы NEW VIEW 600, оборудованной объективом с 10-ти кратным увеличением. В результате исследования каждого образца были получены следующие параметры шероховатости поверхности (рис.6):

Из этих данных следует, что наличие присадки улучшает характеристики поверхности.





а) б)

Рис.6 – Параметры шероховатости поверхности пятен износа:
а – вазелиновое масло, б – вазелиновое масло + 3 масс.% фосфоромолибдата,

где *PV* – расстояние между линией выступов и линией впадин, т.е. наибольшим пиком и наибольшей впадиной на базовой линии плоскости; R_{ms} – среднеквадратичная шероховатость поверхности, R_a – средняя шероховатость.

Выводы

Существенное снижение диаметра пятна износа свидетельствует о способности фосфоромолибдата кобальта образовывать на металлических поверхностях трибосопряжений защитные антифрикционные пленки вторичных структур, обеспечивающие смазочное действие. Квантово-химические расчеты показали, что смазочное действие обусловлено изменением структуры молекулы фосфоромолибдата кобальта при сближении с поверхностью.

УДК 532.5

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ*

А.В. Корнаев
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,
г. Орёл, Россия

Классический подход решения задач о течении сплошных сред со сложными реологическими свойствами затруднен, что связано с нелинейностью дифференциальных уравнений математической постановки этих задач [1,2]. Допущения О.Рейнольдса при выводе одноименного уравнения гидродинамической теории смазки в общем случае неприемлемы для неньютоновских жидкостей [1-3]. Можно выделить две классические отечественные школы: профессора К.С.Ахвердиева [4] и профессора Ю.В.Рождественского [5], в которых успешно решаются задачи гидродинамической смазки неньютоновскими жидкостями. В данной работе рассматривается применение альтернативного подхода, связанного с решением вариационной задачи поиска минимума целевого функционала с интегральным ограничением:

* Работа выполнена при поддержке министерства образования и науки РФ по проекту №363 базовой части государственного задания Орловскому государственному университету имени И.С.Тургенева на 2014-2016 гг.

$$J = \int_{\Omega} \left[D_{\sigma} \cdot \left(\nabla \otimes \vec{V} \right) + \vec{V} \cdot \nabla p_0 \right] d\Omega + \lambda L \Rightarrow \min \quad , \qquad (1)$$

где J - целевой функционал, L - интегральное ограничение на значения целевого функционала, λ - неопределенный множитель Ж.Лагранжа, Ω - объем области течения, D_{σ} - девиаторная часть тензора напряжений с компонентами s_{ij}, $\vec{V}$ - скорость движения сплошной среды, p_0 - давление, $\left(\nabla \otimes \vec{V}\right)$ - тензорное произведение оператора У.Р. Гамильтона на вектор или градиент вектора по векторному аргументу, $\nabla \cdot D_{\sigma}$ - скалярное произведение оператора У.Р. Гамильтона на тензор или дивергенция тензора.

Вариационную задачу (1) удобно решать методом В.Ритца относительно неизвестного множества полей скоростей $\vec{V}$. Основное преимущество данного вариационного подхода – это отсутствие привязанности алгоритма решения к конкретному виду неньютоновских свойств среды. Особенно, если реологические свойства среды полностью определяются полем скоростей. Движение среды удобно рассматривать в биполярных координатах β_i [6], изолинии которых полностью совпадают с границами исследуемой области. Изолинии координаты β_1 представляют собой эксцентрично расположенные окружности, двум из которых $\beta_1 = \beta_1^+$ и $\beta_1 = \beta_1^-$ можно поставить в соответствие окружности шипа радиусом r и подшипника радиусом R (рис. 1).

Двухмерное поле скоростей удобно выражать с помощью функции тока Ψ:

$$V_1 = \frac{1}{h}\frac{\partial \Psi}{\partial \beta_2}, \quad V_2 = -\frac{1}{h}\frac{\partial \Psi}{\partial \beta_1}, \qquad (2)$$

где h - коэффициент Г.Ламе преобразования биполярных координат [6].

Функцию тока удобно построить методом М.М.Филоненко-Бородича. Суть метода состоит в том, что искомая функция тока Ψ, представляется в виде основного решения ψ, удовлетворяющего заданным граничным условиям, и корректировки Φ, удовлетворяющей однородным граничным условиям [7]. В качестве основного решения может быть использована функция тока ψ известного решения Н.Е. Жуковского и С.А.Чаплыгина задачи о течении ньютоновской жидкости в зазоре между несоосными цилиндрами [1].

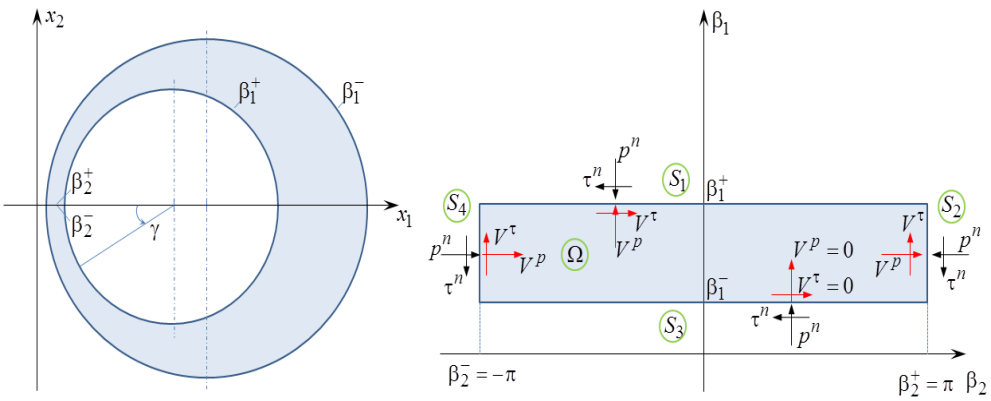


Рис. 1 – Область течения в декартовых и биполярных координатах с кинематическими и статическими граничными условиями на поверхностях S_i ($i = 1...4$), характеризуемых единичными внешними нормалями $\vec{n}_i$ [7].

Решение вариационной задачи определяет поле скоростей, но напряженное состояние несжимаемой среды можно восстановить по полю скоростей только с точностью до величины давления p_0. Найти функцию давления можно решением уравнений равновесия:

$$\frac{\partial p_0}{\partial \beta_1} = \frac{1}{h^2}\left[\frac{\partial}{\partial \beta_1}\left(h^2 s_{11}\right) + \frac{\partial}{\partial \beta_2}\left(h^2 s_{12}\right)\right] - \frac{\partial \ln h}{\partial \beta_1}\left(s_{11} + s_{22}\right),$$
$$\frac{\partial p_0}{\partial \beta_2} = \frac{1}{h^2}\left[\frac{\partial}{\partial \beta_1}\left(h^2 s_{21}\right) + \frac{\partial}{\partial \beta_2}\left(h^2 s_{22}\right)\right] - \frac{\partial \ln h}{\partial \beta_2}\left(s_{11} + s_{22}\right). \tag{3}$$

Правые части (3) полностью определяются полем скоростей, поэтому являются заданными. Решение (3) не сложно найти с применением методов численного интегрирования дифференциальных уравнений. Зная поле давлений можно определить компоненты результирующей силы на поверхности шипа в проекциях на оси координат x_i (рис. 1):

$$F_1 = l\int_{\beta_2^-}^{\beta_2^+}\left[p_0\big|_{\beta_1=\beta_1^+}\cos\gamma + s_{12}\big|_{\beta_1=\beta_1^+}\sin\gamma\right]h\big|_{\beta_1=\beta_1^+}d\beta_2,$$
$$F_2 = l\int_{\beta_2^-}^{\beta_2^+}\left[p_0\big|_{\beta_1=\beta_1^+}\sin\gamma + s_{12}\big|_{\beta_1=\beta_1^+}\cos\gamma\right]h\big|_{\beta_1=\beta_1^+}d\beta_2, \tag{4}$$

где l - длина подшипника, γ - центральный угол дуги окружности поверхности шипа (рис.1) от точки $\beta_2 = \beta_2^- = -\pi$ до текущей точки β_2 $\gamma = \frac{1}{r}\int_{\beta_2^-}^{\beta_2} h\big|_{\beta_1=\beta_1^+} d\beta_2$.

Важными интегральными характеристиками является результирующий момент сил трения на поверхности шипа:

$$M = rL\int_{\beta_2^-}^{\beta_2^+}\left[hs_{12}\right]_{\beta_1=\beta_1^+} d\beta_2 \tag{5}$$

и коэффициент трения:

$$f = M/(rF), \tag{6}$$

где L - длина подшипника, F - результирующая гидродинамическая сила.

Результаты тестирования разработанной математической модели и сравнения результатов расчета результирующей силы и коэффициента трения с аналитическим решением Н.Е. Жуковского – С.А. Чаплыгина и численным решением уравнения О.Рейнольдса представлены на рис. 2. Из результатов видно, что погрешность разработанной модели не превышает 1 % по сравнению с точным аналитическим решением.

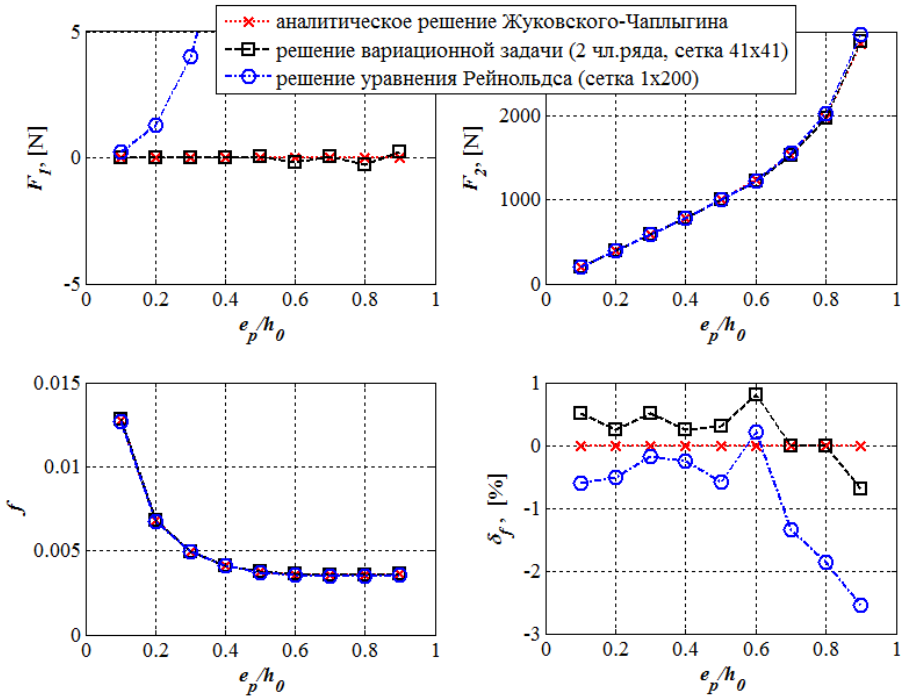


Рис. 2 – Сравнение результатов расчета компонент результирующей силы $\vec{F}$, коэффициента трения f и относительной погрешности расчета коэффициента трения δ_f при различных значениях безразмерного эксцентриситета $0 < \tilde{e}_p \le 0.9$

Далее рассматриваются модели неньютоновских жидкостей. Реологические модели дилатантной и псевдопластичной жидкостей описываются одним и тем же степенным законом, различие заключается в параметрах этого закона [8]:

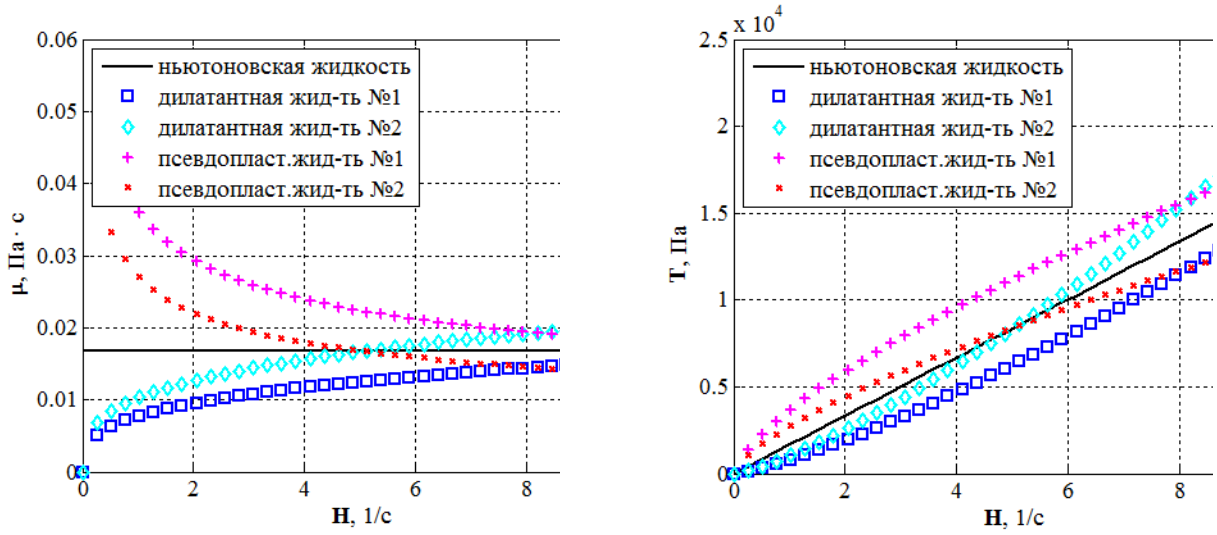
$$\mu(\mathrm{H}) = 2^{1-n} a \mathrm{H}^{n-1}, \tag{7}$$

где H - интенсивность касательных напряжений, a, n - параметры реологической модели.

Модели полностью определяются кинематически, поэтому математическая модель и алгоритм решения, представленные выше не претерпевают существенных изменений. Расчетная опора ротора представляет собой гладкий подшипник жидкостного трения длиной $L = 3.55 \cdot 10^{-2}$ м, радиусом $R = 2.08 \cdot 10^{-2}$ м, средним зазором $h_0 = 75 \cdot 10^{-6}$ м. В качестве базового материала выбрана ньютоновская жидкость, характеризуемая плотностью $\rho_f = 880$ кг/м^3, коэффициентом динамической вязкости $\mu_0 = 1.67 \cdot 10^{-2}$ Па·с. Дилатантные и псевдопластичные жидкости, характеризуемые реологической моделью (7), представлены четырьмя образцами (рис 3):

- дилатантная жидкость №1, $\mu(\mathrm{H}) = 2.44 \cdot 10^{-4} \mathrm{H}^{0.3}$ ($a = 3 \cdot 10^{-4}$, $n = 1.3$);
- дилатантная жидкость №2, $\mu(\mathrm{H}) = 3.25 \cdot 10^{-4} \mathrm{H}^{0.3}$ ($a = 4 \cdot 10^{-4}$, $n = 1.3$);
- псевдопластичная жидкость №1, $\mu(\mathrm{H}) = 0.755 \mathrm{H}^{-0.3}$ ($a = 0.93$, $n = 0.7$);
- псевдопластичная жидкость №2, $\mu(\mathrm{H}) = 0.569 \cdot 10^{-4} \mathrm{H}^{-0.3}$ ($a = 0.7$, $n = 0.7$).

Параметры реологических моделей выбирались из соображения близости в плане развиваемых мощностей внутренних сил в результате движения сред.



а б

Рис. 3 – Реологические модели ньютоновской, дилатантной и псевдопластичной жидкостей: функции вязкости (а) и интенсивности касательных напряжений (б) в зависимости от интенсивности сдвиговых скоростей деформаций

Серия вычислительных экспериментов проводилась при фиксированной окружной скорости шипа $V^0 = 3.14$ м/с и варьируемых значениях относительного эксцентриситета. Результаты расчета представлены на рис. 4-6.

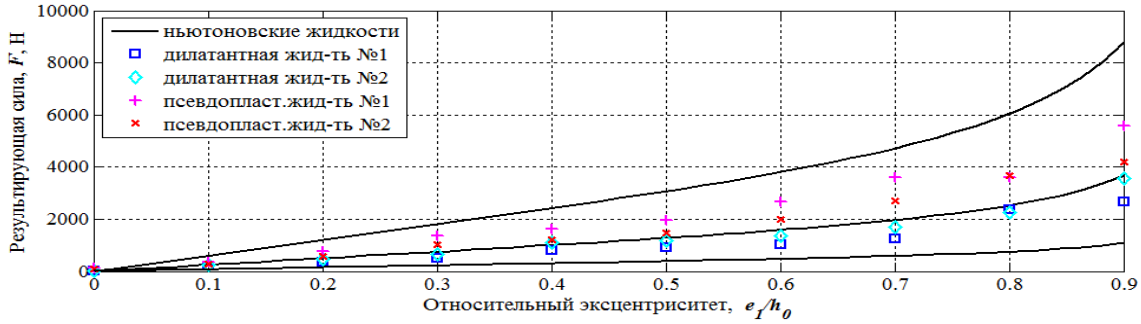


Рис. 4 – Результирующая сила в подшипнике при смазке дилатантными и псевдопластичными жидкостями в сравнении со смазкой ньютоновскими жидкостями

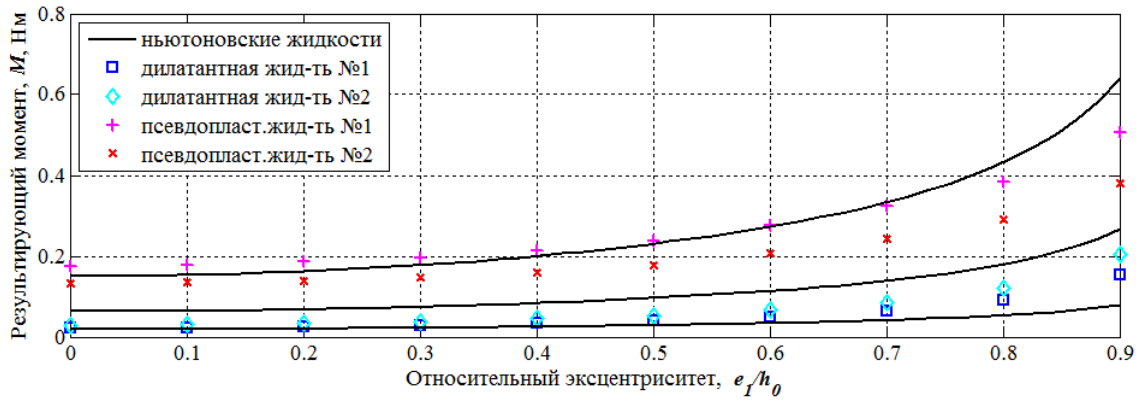


Рис. 5 – Результирующий момент в подшипнике при смазке дилатантными и псевдопластичными жидкостями в сравнении со смазкой ньютоновскими жидкостями

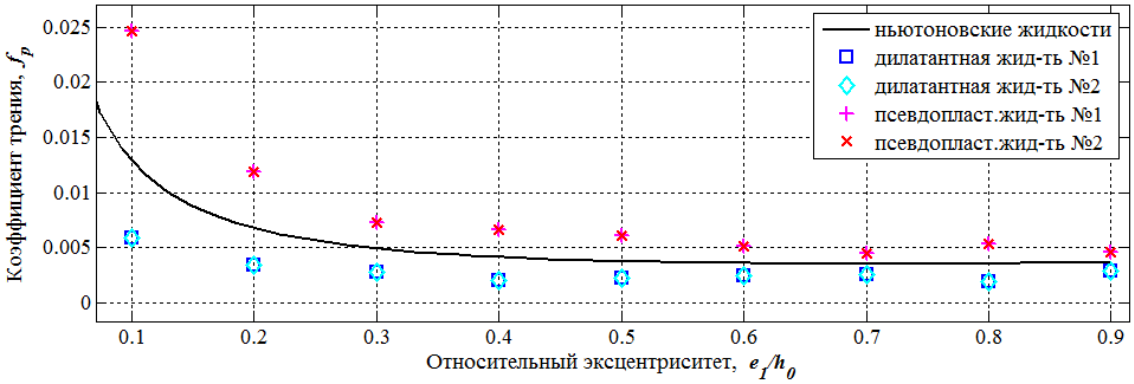


Рис. 6 – Коэффициент трения в подшипнике при смазке дилатантными и псевдопластичными жидкостями в сравнении со смазкой ньютоновскими жидкостями

Для наглядной демонстрации гидродинамического эффекта расчет выполнен для трех ньютоновских жидкостей различной вязкости: $\mu_0 = 1.67 \cdot 10^{-2}$ Па·с - базовая жидкость, на рис. 4-6 расположена по центру, а также относительно маловязкая и высоковязкая жидкости соответственно $\mu_0 = 0.5 \cdot 10^{-2}$ Па·с, $\mu_0 = 4.0 \cdot 10^{-2}$ Па·с. Из результатов видно, что неньютоновские свойства, в данном случае свойства дилатансиии и псевдопластичности, влияют на величины результирующей силы, силы трения и их соотношение. Рассматриваемые образцы дилатантных жидкостей развивают меньшую результирующую силу по сравнению с базовой ньютоновской жидкостью и меньший момент сил трения. Образцы псевдопластичных жидкостей наоборот, проявили большую результирующую силу и больший момент. Однако более важной характеристикой эффективности смазки является соотношение сил, а именно величина коэффициента трения. Следует отметить, что коэффициент трения ньютоновской жидкости не зависит от величины вязкости. Это видно из рисунка 4.3.6, а также известно из точного решения, полученного Н.Е. Жуковским и С.А. Чаплыгиным, согласно которому результирующая сила и сила трения прямо пропорциональны вязкости [1]. Аналогично, величина коэффициента a степенной модели вязкости дилатантных и псевдопластичных жидкостей не существенно влияет на величину коэффициента трения (рис. 6). Ньютоновская жидкость имеет слабо выраженный минимум коэффициента трения при эксцентриситете $\tilde{e}_p \approx 0.7$ [2].

УДК 621.79.02

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА БУКСЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА ЗА СЧЕТ ОБРАБОТКИ КАТОДНЫМИ ПЯТНАМИ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

В.Г. Кузнецов[1], Т.А. Курбанов[2]
[1]*Институт проблем машиноведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия*
[2]*ООО «Магистраль Технологий», г. Санкт-Петербург, Россия*

Дальнейшее совершенствование и развитие железнодорожного транспорта невозможно без внедрения новейших инновационных разработок, использующих научные достижения. Эффективным направлением инновационной деятельности применительно к техническому и технологическому переоснащению на железнодорожном транспорте при решении задач совершенствования подвижного состава, его ремонта и технического

обслуживания с целью повышения эффективности и безопасности движения могут стать технологические процессы на основе вакуумно-дуговой обработки поверхности изделий. Данная технология является относительно новой отечественной разработкой [1], впервые использованной для очистки поверхности холоднокатаного и горячекатаного проката от окалины. Обработка осуществляется с помощью вакуумного дугового разряда, горящего между поверхностью обрабатываемого изделия, являющегося катодом, и анодом при относительно невысоком вакууме, при котором на поверхности изделия образуется множество быстродвижущихся катодных пятен. Катодные пятна характеризуются высокой плотностью тока (до 10^{12}А/м^2) и весьма высокой поверхностной плотностью мощности, превышающей 10^9Вт/м^2. Температура материала катода в зоне пятна, как правило, превышает температуру кипения металла. Несмотря на высокую температуру металла в катодном пятне, при его размерах на уровне единиц микрометров в диаметре и скорости перемещения по поверхности на уровне десятков - сотен метров в секунду, интегральная температура поверхности остается “холодной”.

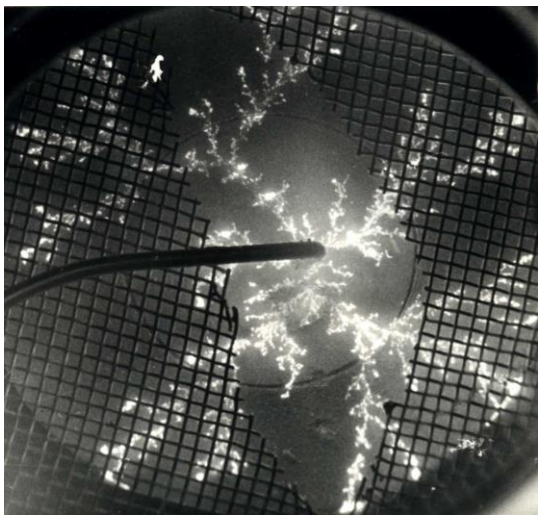
Технологии вакуумно-дуговой обработки, несмотря на существенные преимущества перед аналогами, применительно к изделиям железнодорожного транспорта не использовались. Первым инновационным прорывом стали две разработанные установки (Рис. 1) вакуумно-дуговой очистки внутренней поверхности корпуса буксы грузового железнодорожного вагона [2].

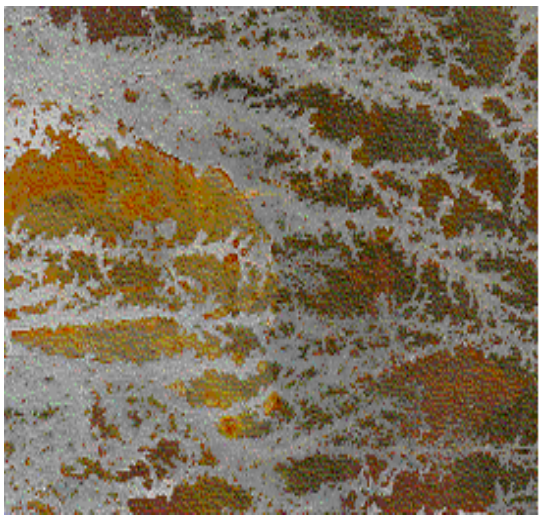
а)

б)

Рис. 1 – Установки вакуумно-дуговой очистки корпуса буксы железнодорожного вагона: а – с вращающимся вдоль поверхности корпуса буксы анодом; б – автоматизированная установка с подъемным дисковым анодом

Особенность установок для очистки буксы (Рис. 1) состоит в том, что роль вакуумной камеры в них выполняет сама букса. Букса с двух сторон герметично закрыта заглушками. Через одну из заглушек осуществляется откачка воздуха форвакуумным насосом. Внутри буксы вдоль ее поверхности вращается или возвратно-поступательно перемещается электрод, являющийся анодом, который подключен к положительному полюсу источника питания, а корпус буксы подключен к отрицательному полюсу источника. При зажигании с помощью поджигающего электрода вакуумно-дугового разряда (Рис. 2а) катодные пятна вакуумной дуги, перемещаясь по внутренней поверхности буксы, удаляют все находящиеся на ней загрязнения (Рис. 2б).





а) в)

Рис. 2 – Разряд с поверхности катода (а) и следы, оставляемые катодными пятнами на загрязненной поверхности корпуса буксы

Скорость очистки зависит от характера загрязнений и их толщины. После традиционной мойки буксы горячими моющими растворами оставшиеся загрязнения (рис. 3а) на установке вакуумно-дуговой очистки удаляются (Рис. 3б) практически полностью за несколько полных проходов анода вдоль поверхности. При этом общее время очистки с учетом откачки составляет в среднем 5-7 минут при производительности насоса 3 л/с.

а)

б)

Рис. 3 – Поверхность буксы до очистки (а); поверхность буксы после очистки (б)

Важным параметром, определяющим эффективность процесса вакуумно-дуговой очистки поверхности металлов от загрязнений (окалина, ржавчина, масляные пленки, технологические отложения и т.д.), является температура изделия. Она не должна приводить к изменению свойств материала изделия. Неравномерность нагрева изделия также должна быть недостаточной для изменения его геометрической формы за счет возникающих напряжений.

Мощность $P_к$, выделяющаяся на катоде (буксе) вакуумной дуги, если привязка разряда к поверхности электрода осуществляется в виде катодных пятен, определяется как

$$P_к = h_к IU, \qquad (1)$$

где $h_к$ – коэффициент катодной мощности, определяемый как отношение мощности, выделяющейся на катоде, к полной мощности разряда; I - ток дугового разряда; U – напряжение на дуге.

Выделяющаяся на рабочей поверхности катода мощность расходуется на испарение материала P_1, излучение P_2 и мощность, отводимая в результате теплопроводности P_3.

Мощность, расходуемая на испарение материала можно выразить через скорость эрозии следующим образом

$$P_1 = \dot{m} W_и / M, \tag{2}$$

где M – масса атома; $W_и$ – удельная теплота испарения; $\dot{m} = \mu I$; μ – коэффициент электропереноса, зависящий от материала катода.

В этом выражении не учтена удельная теплота плавления, так как она существенно меньше удельной теплоты испарения. M, $W_и$, μ – табличные значения.

Вторая составляющая мощности P_2, расходуемая на излучение, определяется в соответствии с законом Стефана-Больцмана

$$P_2 = \sigma \varepsilon_r S_к (T_к^4 - T_0^4), \tag{3}$$

где $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м^2·град^4 – постоянная Стефана-Больцмана; ε_r – интегральный коэффициент излучения; $S_к$ – площадь рабочей поверхности катода; $T_к$ – среднее по площади значение температуры материала катода, T_0 – температура окружающей среды.

Таким образом, выяснив значения мощностей $P_к$, P_1, P_2, можно рассчитать мощность, отводимую в результате теплопроводности $P_3 = P_к - P_1 - P_2$ и оценить температуру изделия, до которой оно нагревается в процессе очистки.

Рассмотрим решение тепловой задачи при горении вакуумно-дугового разряда в системе электродов (рис. 4): катод – цилиндр высотой H с неравномерной по периметру толщиной стенки (аналогично буксе), анод – электрод в форме половины цилиндра, разрезанного вдоль по диаметру, длиной L и радиусом $R_э$, вращающийся вдоль внутренней поверхности катода. Внутренняя поверхность катода задавалась, как цилиндрическая поверхность радиуса R_1. Внешняя поверхность задавалась, как цилиндрическая поверхность R_2 с радиусом, зависящим от угла φ.

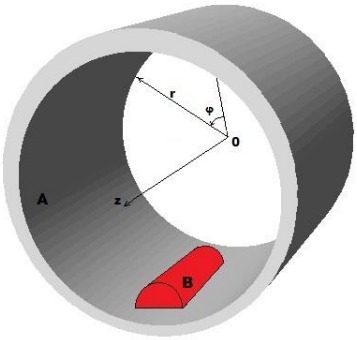


Рис.4 – Схема расчетной области: A – катод, B – анод

Процесс переноса тепла в цилиндре описывается трехмерным нестационарным уравнением теплопроводности в цилиндрической системе координат в виде:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right), \tag{4}$$

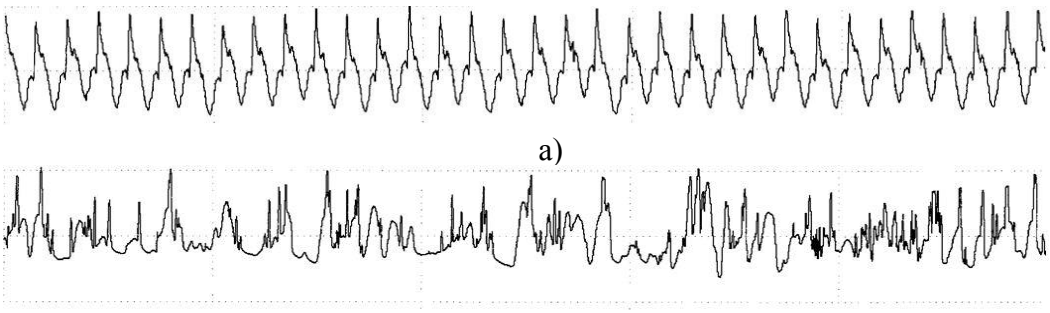
где ρ – плотность материала цилиндра, c_p – теплоемкость цилиндра, λ - коэффициент теплопроводности.

На внешней и торцевых поверхностях цилиндра задавались граничные условия свободного конвективного теплообмена с окружающей средой. Внутри цилиндра конвективным теплопереносом можно пренебречь, и здесь моделировался теплообмен

излучением, которое определяется температурой внутренней поверхности цилиндра, температурой вращающегося электрода и их мгновенным взаимным расположением.

Решение уравнений производилось численно. Расчетная область разбивалась равномерной трехмерной разностной сеткой в направлениях r, φ и z. Для решения поставленной задачи использовался численный метод переменных направлений [3]. Разработана компьютерная программа моделирования тепловых процессов в буксе нагрева ее при вакуумно-дуговой обработке поверхности. При запуске программы в режиме реального времени происходит отображение поля температур на всех поверхностях цилиндрического изделия в виде изолиний различного цвета. По цвету можно судить о температуре. Для любого количества точек с заданными координатами, заранее выбранных на поверхности цилиндра (внутри и снаружи), значения температур от времени записываются в отдельный фаил. Экспериментальные исследования температуры внешней поверхности цилиндра при нагреве и остывании осуществлялись с помощью оптического инфракрасного пирометра “ПИТОН 102”. Показано, что экспериментальные и расчетные данные отличаются не более чем на 10%.

Исследования показали, что при технологических режимах обработки, характерных для очистки поверхности, не происходит структурно-фазовых изменений свойств материала корпуса буксы. При этом обнаружено изменение характера рельефа шероховатости поверхности (рис. 5). На рис. 5а представлен исходный профиль поверхности, а на рис. 5б – профиль поверхности после вакуумно-дуговой очистки. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a для исходной поверхности составляло 2,944 мкм, для поверхности после очистки - 2,561 мкм.



а)

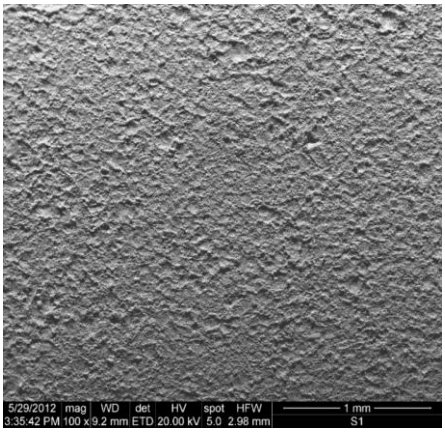
б)

Рис. 5 – Профиль поверхности буксы до очистки (а) и после очистки (б)

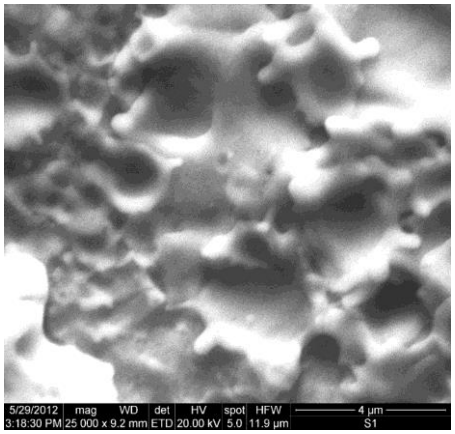
Исходный образец (без очистки) имеет регулярный профиль с примерно равным разбросом выступов и впадин.

Поверхность буксы, подвергнутой вакуумно-дуговой обработке, равномерно покрыта впадинками. При более высоком увеличении (рис. 6) видно, что впадинки имеют форму микрокарманов. Эта поверхность вполне соответствует определению «Микрорельеф с элементами вогнутой формы», описанному в ГОСТе 24773-81 «Поверхности с регулярным микрорельефом». Сформированный после очистки рельеф на внутренней поверхности буксы способствует лучшему удержанию масла (смазки) и более равномерному его распределению по поверхности. Проведенные исследования показывают, что вакуумно-дуговая обработка поверхности материалов за счет воздействия на нее катодного пятна вакуумной дуги может быть использована для создания регулярного микрорельефа в виде микрокарманов для повышения маслоемкости поверхности.

Отмеченные выше свойства катодных пятен вакуумно-дугового разряда способствовали разработке принципиально новых технологических направлений в металлообработке, например, таких как вакуумно-дуговая дефектоскопия [4] и восстановление пластически деформированной формы поверхности [5].



а)



б)

Рис. 6 – Микрорельеф поверхности после обработки: при увеличении
а – (× 100), б – (× 25000)

Вакуумно-дуговая дефектоскопия металла основана на резком снижении интенсивности теплоотвода из катодного пятна в зоне приповерхностных дефектов (трещины, поры, раковины и т.д.). При этом поверхность перегревается с раскрытием дефекта (Рис. 7). Визуальная оценка поверхности позволяет оценить ее состояние и сделать вывод о качестве литья изделия и пригодности изделия к последующей эксплуатации.

Рис. 7 – Вскрытая приповерхностная трещина в
процессе вакуумно-дуговой очистки корпуса буксы

Решена задача о распределении температуры под катодным пятном с учетом плавления и испарения металла, доведенного до температуры кипения в поверхностном слое катодного пятна и при наличии в приповерхностном слое металла дефекта в виде поры. Катодное пятно вакуумно-дугового разряда, перемещаясь по поверхности катода, воздействует на нее как локализованный, высококонцентрированный источник энергии. Процесс переноса тепла в металле описывается трехмерным нестационарным уравнением теплопроводности в декартовой системе координат. Результаты расчетов были использованы при оценке эффективности ряда технологических процессов и при разработке оборудования.

Впервые показано, что при воздействии катодного пятна вакуумно-дугового разряда на пластически деформированную поверхность может быть частично или полностью восстановлена ее форма. Впервые данный эффект был обнаружен при вакуумно-дуговой очистке внутренней поверхности корпуса буксы железнодорожного вагона. Математическим и экспериментальным моделированием процесса восстановления внутреннего диаметра

цилиндра подтвержден эффект восстановления формы при воздействии катодных пятен вакуумной дуги на поверхность.

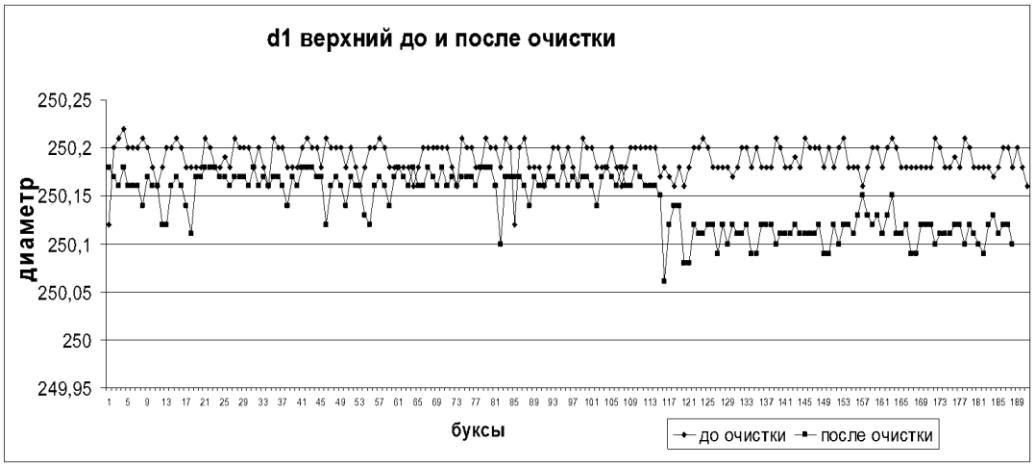


Рис. 8 – Изменение внутреннего диаметра корпуса буксы после вакуумно-дуговой обработки поверхности для 190 букс

В результате экспериментально-теоретических исследований по влиянию вакуумно-дугового воздействия на внутреннюю поверхность корпуса буксы железнодорожного вагона показано уменьшение приобретенной в течение эксплуатационного периода овальности.

Взаимодействие плазмы испаренного металла с остаточной атмосферой воздуха и взаимодействие воздуха с металлом в катодном пятне, находящемся при высокой температуре, способствуют формированию на поверхности изделия тонкой пассивирующей пленки. Наличие на поверхности таких пассивирующих пленок обеспечивает защиту металла от коррозионного разрушения.

УДК 51:621.891

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ НА НЕНЬЮТОНОВСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТНЫХ ХАРАКТЕНИСТИК ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Лагунова Е.О., Солоп К.С.
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Введение. Большая часть теоретических и экспериментальных работ по исследованию узлов трения различного назначения, несмотря на их несомненную значимость, основывается на классической гидродинамической теории смазки, описывающей поведение ньютоновской жидкости в тонком смазочном слое, разделяющем поверхности сопряжения, вязкость которой зависит только от температуры и давления.

Изучение существующих работ, посвященных расчету подшипников на микрополярных смазочных материалах [1-5], позволяет установить ряд упрощений и неточностей в постановке и решении задач. Так, в расчетах не учитываются зависимость ее вязкостных характеристик от давления и температуры, податливость опорной поверхности подшипника.

Анализ рассмотренных работ [6-9] о микрополярной жидкости показывает, что в настоящее время имеется целый ряд важных, но не решенных задач, существенно сдерживающих расширение практического применения этого высокоэффективного смазочного материала. В первую очередь это решение задачи об устойчивости работы подшипников с адаптированным профилем опорной поверхностью, работающих на микрополярных жидких смазочных материалах с учетом зависимости вязкостных характеристик от температуры.

Постановка задач.

Задача 1. Рассматривается установившееся движение вязкого микрополярного смазочного материала в зазоре упорного подшипника (между ползуном и направляющей). Считаем, что ползун неподвижен, а направляющая движется по направлению оси Ox' со скоростью u^* (рис. 1). Предполагаем, что вязкостные характеристики микрополярной жидкости зависят от температуры по показательному закону

$$\mu'=\mu_0 e^{-\beta' T'}, \qquad \kappa'=\kappa_0 e^{-\beta' T'}, \qquad \gamma'=\gamma_0 e^{-\beta' T'}, \tag{1}$$

где μ_0 – характерная вязкость ньютоновской смазки, κ_0 и γ_0 – характерные вязкости микрополярной смазки; β' – экспериментальная постоянная величина; T' – температура.

В декартовой системе координат $x'o'y'$ уравнение адаптированного контура ползуна и направляющей запишется в виде:

$$y'=0, \quad y'=h_0+x'tg\alpha-a\sin\omega' x' \tag{2}$$

где α - угол наклона ползуна с линейным контуром к оси Ox'; $L\frac{tg\alpha}{h_0}$ и $\frac{a}{h_0}$ будем считать малыми величинами одного порядка; $\omega=\omega' L$ – параметр контактного профиля, подлежит определению; (L – длина подшипника); h_0 – начальная толщина пленки; a – налагаемые возмущения с частотой ω.

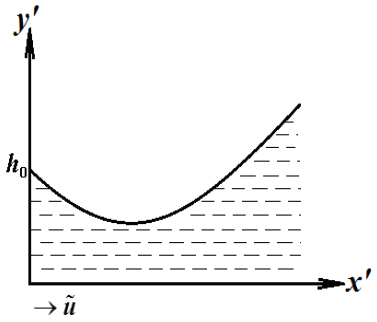


Рис. 1. - Расчетная схема

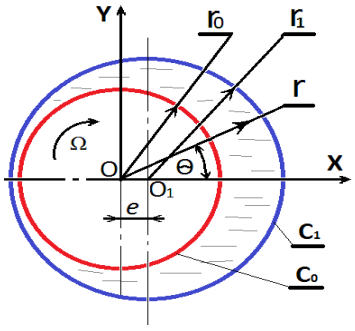


Рис. 2. - Расчетная схема

Исходные уравнения и граничные условия.

Используем обычные уравнения течения с безразмерными переменными с учетом выражения (1), а так же уравнения неразрывности для описания движения микрополярного смазочного материала:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+N^2\frac{\partial \upsilon}{\partial y}=\frac{1}{e^{-\beta T}}\frac{dp}{dx}, \quad \frac{\partial^2 \upsilon}{\partial y^2}=\frac{\upsilon}{N_1}+\frac{1}{N_1}\frac{\partial u}{\partial y}, \quad \frac{\partial u}{dx}+\frac{\partial v}{\partial y}=0. \tag{3}$$

Размерные величины $u', v', \upsilon', p', \mu', x', \gamma, \tau'$ связаны соответствующими безразмерными величинами следующими соотношениями:

$$u' = u^* u; \quad v' = u^* \varepsilon v; \quad \upsilon' = \upsilon^* \upsilon; \quad p' = p^* p; \quad \mu' = \mu_0 \mu; \quad \kappa' = \kappa_0 \kappa;$$
$$\gamma' = \gamma_0 \gamma; \quad p' = p^* p; \quad T' = T_0 T; \quad \varepsilon = \frac{h_0}{L}; \quad \upsilon^* = \frac{u^*}{2h_0}; \quad \beta = \beta' T_0;$$
$$x' = Lx; \quad N^2 = \frac{\kappa_0}{2\mu_0 + \kappa_0}; \quad N_1 = \frac{l^2}{h_0^2}; \quad l^2 = \frac{\gamma_0}{4\mu_0}; \quad p^* = \frac{(2\mu_0 + \kappa_0) L u^*}{2h_0^2}. \tag{4}$$

Здесь υ' – скорость вращения микрочастиц; u', v' – компоненты вектора скорости; p' – гидравлическое давление; T_0 – характерная температура.

Для решения системы уравнений (3) запишем следующие граничные условия:

$$u = 0, \quad v = 0, \quad \upsilon = 0 \text{ при } y = h(x) = 1 + \eta x - \eta_1 \sin \omega x;$$
$$u = 1, \quad v = 0, \quad \upsilon = 0 \text{ при } y = 0, \quad \eta = L tg\alpha / h_0; \quad \eta_1 = a / h_0;$$
$$p(0) = p(1) = p_a / p^*. \tag{5}$$

Осредняя второе уравнение системы (3) по толщине смазочного слоя, получим:

$$\frac{1}{h} \int_0^h \frac{\partial^2 \upsilon}{\partial y^2} dy = \frac{1}{N_1 h} \int_0^h \upsilon dy + \frac{1}{N_1 h} \int_0^h \frac{\partial u}{\partial y} dy \tag{6}$$

Решая уравнения (6) с точностью до членов $O\left(\eta \cdot \frac{1}{N_1}\right), O\left(\eta_1 \cdot \frac{1}{N_1}\right), \quad O\left(1/N_1^2\right)$, получим:

$$\upsilon = -\frac{1}{2N_1}\left(y^2 - hy\right), \qquad \frac{\partial \upsilon}{\partial y} = -\frac{1}{2N_1}(2y - h). \tag{7}$$

Подставляя значения υ и $\frac{\partial \upsilon}{\partial y}$ в систему уравнений (3), получим:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{N^2}{2N_1}(2y - h) = e^{\beta T} \frac{dp}{dx}, \quad \upsilon = -\frac{1}{2N_1}\left(y^2 - hy\right), \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0. \tag{8}$$

Точное автомодельное решение системы (8), удовлетворяющее граничным условиям (5), будем искать в виде:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} + U(x, y), \qquad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} + V(x, y),$$

$$V(x,y)=-v(\xi)h'_x\,,\quad U(x,y)=\tilde{u}(\xi),\quad \xi=\frac{y}{h(x)},$$

$$\psi(x,y)=\tilde{\psi}(\xi),\ e^{\beta T}\frac{dp}{dx}=\frac{\tilde{C}_1}{h^2(x)}+\frac{\tilde{C}_2}{h^3(x)},\ \upsilon=-\frac{1}{2N_1}\left(\xi^2-\xi\right). \tag{9}$$

Подставляя (9) в систему уравнений (8), после преобразований получим:

$$\tilde{C}_1=6-\frac{N^2}{N_1},\quad \tilde{C}_2=-\tilde{C}_1\frac{J_2(1)}{J_3(1)}=\left(\frac{N_2}{N_1}-6\right)\left(1+\frac{\eta}{2}+\frac{\eta_1}{\omega}\cos\omega\right).$$

Определение основных рабочих характеристик подшипника.

Для определения гидродинамического давления $e^{\beta T}\frac{dp}{dx}=\frac{\tilde{C}_1}{h^2(x)}+\frac{\tilde{C}_2}{h^3(x)}$ необходимо, сначала найти выражение для вязкости $\mu=e^{-\beta T}$. Для этого воспользуемся выражением скорости диссипации энергии под действием сил сдвига

$$\frac{dH'}{dx'}=\frac{2\mu_0\mu u^{*^2}h(x)}{h_0}\int_0^1\left(\frac{\tilde{\psi}''(\xi)}{h^2(x)}+\frac{\tilde{u}'(\xi)}{h(x)}\right)^2 d\xi. \tag{10}$$

Тогда повышение температуры определим из выражения:

$$\frac{dT'}{dx'}=\frac{dH'}{dx'}\cdot\frac{1}{c_pQ}=\frac{1}{c_pQ}\cdot\frac{2\mu_0\mu u^{*^2}h(x)}{h_0}\int_0^1\left(\frac{\tilde{\psi}''(\xi)}{h^2(x)}+\frac{\tilde{u}'(\xi)}{h(x)}\right)d\xi. \tag{11}$$

где Q – расход смазки в единицу времени; c_p – теплоемкость при постоянном давлении.

Продифференцируем по x безразмерную зависимость вязкости μ от температуры T, подставляя полученное уравнение значения повышения температуры (11) с учетом $Q=-\frac{h_0u^*\tilde{C}_2}{12}$, получим:

$$\frac{1}{\mu^2(x)}\frac{d\mu}{dx}=\frac{-24\beta\mu_0u^*Lh(x)}{T_0h_0^2c_p}\cdot\frac{\left(1-\frac{\eta}{2}-\frac{\eta_1}{\omega}\cos\omega\right)}{\tilde{C}_1}\int_0^1\left(\frac{\tilde{\psi}''}{h^2(x)}+\frac{\tilde{u}'}{h(x)}\right)^2 dx. \tag{12}$$

И сделав ряд преобразований, получим:

$$\tilde{\mu}=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\left[1+K\left(\frac{\tilde{C}_2}{12}J_3(1)+\frac{\tilde{C}_1}{6}J_2(1)+\frac{A}{\tilde{C}_2}J_1(1)\right)\right], \tag{13}$$

где $K=\frac{24\beta\mu_0u^*L}{T_0h_0^2c_p}$, $\mathrm{A}=\frac{61N^4+2880N_1^2-7200N_1N^2}{720N_1^2}$.

Тогда гидродинамическое давление p с учетом (13) определяем из уравнения:

$$p=\frac{p_a}{p^*}+\tilde{C}_1\int_0^x\frac{\tilde{\mu}dx}{h^2(x)}+\tilde{C}_2\int_0^x\frac{\tilde{\mu}dx}{h^3(x)}=\frac{p_a}{p^*}+\tilde{\mu}\left(6-\frac{N^2}{N_1}\right)\left[\frac{\eta x^2}{2}+\frac{\eta_1}{\omega}\left(\cos\omega x-1-\cos\omega\right)-\frac{\eta x}{2}\right]. \quad (14)$$

Для безразмерной несущей способности, а также безразмерной силы трения с учетом (14), получим:

$$W=p^*L\int_0^1\left(p-\frac{p_a}{p^*}\right)dx=\frac{\left(2\mu_0+K_0\right)L^2u^*\tilde{\mu}}{2h_0^2}\left(6-\frac{N^2}{N_1}\right)\left[-\frac{\eta}{12}+\frac{\eta_1}{\omega}\left(\frac{\sin\omega}{\omega}-1-\cos\omega\right)\right]. \quad (15)$$

$$L_{mp}=\frac{\mu_0u^*L\tilde{\mu}}{h_0}\int_0^1\left[\frac{\tilde{\psi}''(0)}{h^2(x)}+\frac{\tilde{u}'(0)}{h(x)}\right]dx=$$

$$=\frac{\mu_0u^*L\tilde{\mu}}{h_0}\left[-1+\frac{\eta}{2}+\frac{\eta_1}{\omega}\left(\cos\omega+6\right)+\frac{N^2}{N_1}\left(\frac{1}{12}-\frac{\eta}{24}-\frac{\eta_1\cos\omega}{2\omega}+\frac{7\eta_1\cos\omega}{12\omega}\right)\right]. \quad (16)$$

Задача 2. Рассматривается модель установившегося движения вязкого микрополярного смазочного материала в зазоре радиального подшипника скольжения. Вал вращается с угловой скоростью Ω, а подшипниковая втулка с адаптированным профилем опорной поверхности неподвижен. Предполагается, что пространство между валом и подшипником не полностью заполнено смазочным материалом при аналогичной зависимости вязкостных характеристик микрополярной жидкости от температуры (рис. 2).

В полярной системе координат с полюсом в центре вала уравнение контуров вала и подшипниковой втулки запишем в виде:

$$r'=r_0,\quad r'=r_1+e\cos\theta-a\sin\omega\theta \quad (1)$$

где r_0 – радиус шипа; r_1 – радиус подшипника; e – эксцентриситет; $e/\delta, a/\delta$ – малая величина одного порядка ($\delta=r_1-r_0$); ω – подлежит определению.

Исходные уравнения аналогично подобны в задаче 1, но приведены в полярных координатах:

$$\frac{\partial^2u}{\partial r^2}+N^2\frac{\partial\upsilon}{\partial r}=\frac{1}{e^{-\beta T}}\frac{dp}{d\theta},\quad \frac{\partial^2\upsilon}{\partial r^2}=\frac{\upsilon}{N_1}+\frac{1}{N_1}\frac{\partial u}{\partial r},\quad \frac{\partial u}{d\theta}+\frac{\partial v}{\partial r}=0. \quad (2)$$

Здесь размерные величины $u',v',\upsilon',p',\mu',\kappa',\gamma',\tau',T',r'$ связаны с безразмерными $u,v,\upsilon,p,\kappa,\gamma,T,r$ соотношениями:

$$u'=u\Omega r_0;\quad v'=\Omega\delta v;\quad \upsilon'=\upsilon^*\upsilon;\quad p'=p^*p;\quad \mu'=\mu_0\mu;\quad \kappa'=\kappa_0\kappa;\quad T'=T_0T;$$

$$\gamma'=\gamma_0\gamma;\quad \upsilon^*=\frac{r_0\Omega}{2\delta};\quad p^*=\frac{r_0^2\Omega\left(2\mu_0+\kappa_0\right)}{2\delta^2};\quad \delta=r_1-r_0;\quad r'=r_0+\delta r;$$

$$N^2=\frac{\kappa_0}{2\mu_0+\kappa_0};\quad N_1=\frac{l^2 2\mu_0}{\delta^2\kappa_0};\quad l^2=\frac{\gamma_0}{4\mu_0}. \quad (3)$$

Система уравнений (2) с точностью до членов $O\left(\delta/r_0\right)$ решается при следующих граничных условиях:

$$u=0,\quad v=0,\quad \upsilon=0\quad \text{при}\quad r=h(\theta)=1+\eta\theta-\eta_1\sin\omega\theta;$$

$$u=1,\quad v=0,\quad \upsilon=0,\quad \text{при}\quad r=0,$$

$$p(\theta)=0\quad \text{при}\quad \theta=\theta_1\quad \text{и}\quad \theta=\theta_2;\quad \eta=\frac{e}{\delta};\quad \eta_1=\frac{a}{\delta}; \quad (4)$$

где θ_1 и θ_2 – соответственно координаты начала и конца свободной поверхности.

Осредняя второе уравнение системы (2) аналогичным образом, как и в задаче 1, после преобразований получим:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2}-\frac{N^2}{2N_1}\left(2r-h\right)=e^{\beta T}\frac{dp}{d\theta},\quad \upsilon=-\frac{1}{2N_1}\left(r^2-rh\right),\quad \frac{\partial u}{\partial\theta}+\frac{\partial v}{\partial r}=0. \tag{5}$$

Точное автомодельное решение системы (5) с граничными условиями (4) будем искать в виде:

$$u=\frac{\partial\psi}{\partial r}+U\left(r,\theta\right),\qquad v=-\frac{\partial\psi}{\partial\theta}+V\left(r,\theta\right),$$

$$V\left(r,\theta\right)=-\tilde{v}\left(\xi\right)h'_\theta\ ,\qquad U\left(r,\theta\right)=\tilde{u}\left(\xi\right),\qquad \xi=\frac{r}{h\left(\theta\right)},$$

$$\psi\left(r,\theta\right)=\tilde{\psi}\left(\xi\right),\qquad e^{\beta T}\frac{dp}{d\theta}=\frac{\tilde{C}_1}{h^2\left(\theta\right)}+\frac{\tilde{C}_2}{h^3\left(\theta\right)},\qquad \upsilon=-\frac{1}{2N_1}\left(\xi^2-\xi\right). \tag{6}$$

Аналогично, подставляя (6) в систему уравнений (5), после преобразований получим:

$$\tilde{C}_1=6-\frac{N^2}{N_1},\quad \tilde{C}_2=-\tilde{C}_1\frac{J_2(\theta_2)}{J_3(\theta_2)}=\left(\frac{N_2}{N_1}-6\right)\left(\left(\theta_2-\theta_1\right)^2+\frac{\eta}{2}\left(\theta_2-\theta_1\right)^3+\frac{\eta_1\left(\theta_2-\theta_1\right)}{\omega}\cos\omega\left(\theta_2-\theta_1\right)\right). \tag{7}$$

Для определения гидродинамического давления имеем:

$$e^{\beta T}\frac{dp}{d\theta}=\frac{\tilde{C}_1}{h^2\left(\theta\right)}+\frac{\tilde{C}_2}{h^3\left(\theta\right)}. \tag{8}$$

Для решения этого уравнения необходимо вначале найти функцию $\mu\left(\theta\right)=e^{-\beta T}$. Воспользуемся выражением для скорости диссипации энергии под действием сил сдвига, получим

$$\frac{dH'}{d\theta}=\frac{2\mu_0\mu\Omega^2r_0^2h\left(\theta\right)}{\delta}\int_0^1\left(\frac{\tilde{\psi}''\left(\xi\right)}{h^2\left(\theta\right)}+\frac{\tilde{u}'\left(\xi\right)}{h\left(\theta\right)}\right)^2d\xi. \tag{9}$$

Тогда повышенную температуру определим из выражения:

$$\frac{dT'}{d\theta}=\frac{dH'}{d\theta}\cdot\frac{1}{c_pQ}=\frac{1}{c_pQ}\cdot\frac{2\mu_0\mu\Omega^2r_0^2h\left(\theta\right)}{\delta}\int_0^1\left(\frac{\tilde{\psi}''\left(\xi\right)}{h^2\left(\theta\right)}+\frac{\tilde{u}'\left(\xi\right)}{h\left(\theta\right)}\right)d\xi. \tag{10}$$

где Q – расход смазки в единицу времени; c_p – теплоемкость при постоянном давлении.

$$Q=\Omega r_0\delta\int_0^1\psi'\left(\xi\right)d\xi=-\frac{\delta\Omega r_0\tilde{C}_2}{12}. \tag{11}$$

Продифференцируем по θ зависимость μ от температуры T

$$\frac{d\mu}{d\theta}=-\mu\beta\frac{dT}{d\theta}. \tag{12}$$

Комбинируя (10) – (12), получим:

$$\mu\left(\theta\right)=\frac{1}{1-\frac{K}{\tilde{C}_2}\left[J_3\left(\theta\right)\Delta_1+J_2\left(\theta\right)\Delta_2+J_1\left(\theta\right)\Delta_3\right]}, \tag{13}$$

$$K = \frac{2\beta\mu_0\Omega r_0 h}{\delta_0^2 c_p \int_0^1 \tilde{\psi}'(\xi)\,d\xi}, \quad J_\kappa(\theta) = \int_{\theta_1}^{\theta_2}\left(\int_{\theta_1}^{\theta}\frac{d\theta}{h^\kappa(\theta)}\right)d\theta.$$

где

После преобразований, получим:

$$\tilde{\mu} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\left[1 + K\left(\frac{\tilde{C}_2}{12}J_3(\theta_2) + \frac{\tilde{C}_1}{6}J_2(\theta_2) + \frac{1}{\tilde{C}_2}\left(\frac{N^2}{720} + 4 - \frac{N^2}{N_1} + \frac{N^4}{12N_1^2}\right)J_1(\theta_2)\right)\right]. \tag{14}$$

Гидродинамическое давление p с учетом (14) определяем из уравнения (8).

$$p = \tilde{\mu}\left[\int_{\theta_1}^{\theta}\frac{\tilde{C}_1 d\theta}{h^2(\theta)} + \int_{\theta_1}^{\theta}\frac{\tilde{C}_2 d\theta}{h^3(\theta)}\right]. \tag{15}$$

Теперь определим основные рабочие характеристики радиального подшипника. Для безразмерной несущей способности с учетом (15) будем иметь:

$$R_y = -\frac{r_0^3\Omega(2\mu_0 + K_0)\tilde{\mu}}{\delta}\int_{\theta_1}^{\theta_2} p\sin\theta d\theta, \qquad R_x = -\frac{r_0^3\Omega(2\mu_0 + K_0)\tilde{\mu}}{\delta}\int_{\theta_1}^{\theta_2} p\cos\theta d\theta \tag{16}$$

И для безразмерной силы трения с учетом (15) получим выражение вида:

$$L_{mp} = -\frac{\mu_0\Omega r_0\tilde{\mu}}{\delta}\int_{\theta_1}^{\theta_2}\left[-\frac{\tilde{C}_2}{2}\frac{1}{h^2(\theta)} + \left(\frac{7N^2}{12N_1} - 4\right)\frac{1}{h(\theta)}\right]d\theta. \tag{17}$$

Численный анализ, полученных аналитических выражений для основных рабочих характеристик подшипников скольжения (несущей способности и силы трения), приведен на рис. (3–4) для упорного подшипника и на рис. (5) для радиального подшипника.

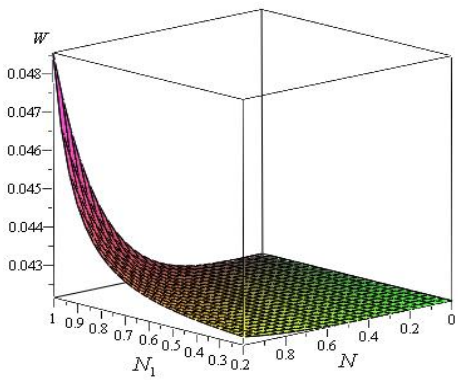


Рис. 3. - Зависимость безразмерной несущей способности от параметра связи *N* и параметра *N₁*

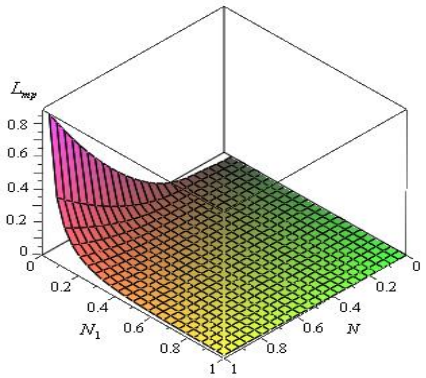


Рис. 4. - Зависимость безразмерной силы трения от параметра связи *N* и параметра *N₁*

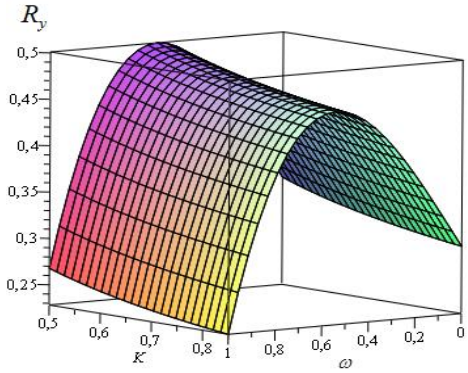


Рис. 5. - Зависимость безразмерной несущей способности от теплового параметра К и параметра ω

Анализируя полученные результаты (рис. 3–5), можем сделать следующие выводы:

1) Основные рабочие характеристики подшипника существенно зависят от параметра ω, характеризующего адаптированный профиль опорной поверхности, от теплового параметра *К*, от экспериментального параметра β, обусловленного зависимостью вязкости от температуры *Т*.

2) С увеличением теплового параметра *К* несущая способность подшипника уменьшается. В случае радиального подшипника наиболее резкое уменьшение при *К*<0,5. В случае радиального подшипника при значении параметра ω=0,5 наблюдается ярко выраженный максимум несущей способности.

Публикация осуществлена в рамках реализации гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в области железнодорожного транспорта.

УДК 544.18:544.723:531.4

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ПРИСАДОК К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ*

И.А. Майба[1], Ю.Ф. Мигаль[2], А.С. Бекетов[1], М.А. Савенкова[1]
[1]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2]*ФГБУН «Южный научный центр РАН», г. Ростов-на-Дону, Россия*

Введение

В условиях граничного трения, когда поверхности тел разделены тонким слоем смазки и иногда могут соприкасаться между собой, широко используют различные типы присадок к смазочным материалам (СМ). В связи с невысокой термической стойкостью граничной пленки, образуемой на металлических поверхностях обычными минеральными смазочными маслами, иногда прибегают к искусственному повышению ее химической активности. Этого достигают путем введения в масла специальных добавок (присадок), содержащих органические соединения серы, фосфора, хлора или сочетание этих элементов.

Однако эти присадки в отдельности не всегда обеспечивают нужный набор свойств, требуемый при работе тех или иных механизмов. И тогда необходимо использовать композиции (или системы) присадок. В этом случае можно получить некоторые новые свойства, благодаря которым возможности системы оказываются шире по сравнению с

* Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант №16-08-00724-а).

возможностями отдельных присадок. Эти композиции обычно включают в себя комплекс разнообразных присадок при широком диапазоне их процентного содержания. Композиции, как правило, подбираются эмпирически, поэтому их разработка занимает большое время.

В связи с этим актуально создание неэмпирических методов, позволяющих более быстро и надежно, с помощью компьютерных технологий разрабатывать смазочные композиции, эффективные при заданных условиях. В основе этих методов, очевидно, должен быть анализ взаимодействия присадок с поверхностью трибосопряжения, а также анализ взаимодействия присадок между собой. Такой анализ должен быть многоуровневым и учитывать, как макроскопические, так и микроскопические свойства вещества. Многочисленные исследования (см., напр., [1, 2]) показывают, что свойства присадок во многом определяются прочностью химической связи между концевыми группами присадок и поверхностью, а также между отдельными элементами молекул присадок между собой. Такие характеристики чрезвычайно трудно определять экспериментально. Поэтому здесь важную роль должны играть теоретические подходы, позволяющие исследовать атомную структуру соединений и прочность химических связей в них.

Целью исследований является оценка возможности установления функциональных зависимостей между показателями, рассчитываемыми в ходе квантово-химического анализа взаимодействия силикатных и фосфатных присадок с поверхностью железа и триботехническими показателями, полученными при проведении трибоиспытаний базовых смазочных сред и наличии в их составе вышеуказанных присадок.

Установление таких зависимостей позволит выработать критерии составления компьютерных моделей при моделировании систем присадок и приблизиться к разработке способа их компьютерного моделирования, опирающегося на изучение межатомных взаимодействий в самой системе и взаимодействии системы с поверхностью трибосопряжения.

Такой способ может быть применен как средство анализа и формирования сбалансированного набора присадок к смазочным материалам, используемым при различных тепловых и механических режимах, в т.ч. в тяжелонагруженных узлах трения всех видов транспорта. С помощью этого способа на основе компьютерных технологий будет возможным создание новых, более эффективных многокомпонентных смазочных композиций, повышающих износостойкость трибосопряжений в условиях граничного трения.

Задачей данной работы является оценка поведения присадок при различных уровнях механических нагрузок в трибосистеме с помощью машин трения ЧШМ, СМТ-1 и сопоставление критических нагрузок, при которых происходит потеря работоспособности смазочного слоя, с энергией адгезии соединений и энергии внутренних связей в соединениях с использованием квантово-химических методов, основанных, в первую очередь, на теории функционала плотности (DFT) [3].

В качестве базовых при проведении исследований были выбраны системы соединений, содержащие фосфаты и силикаты. Эти соединения в последние годы относят к наиболее перспективным антифрикционным и противоизносным присадкам (см., напр, [4]). Каждое из этих веществ обладает своими достоинствами. Силикатные присадки обладают высокой нагрузочной и температурной устойчивостью смазочного слоя при работе в режимах схватывания и заедания, фосфатные присадки характеризуются большей склонностью к полимеризации. Длинные и гибкие цепочки из фосфатов выстраиваются перпендикулярно поверхности защищаемого металла, что при сравнительно невысоких механических нагрузках позволяет получать более низкий коэффициент трения. Естественно ожидать, что, комбинируя эти соединения, т.е. создавая систему присадок и оптимизируя ее химический состав, можно получить более широкий набор свойств по сравнению со свойствами отдельных присадок.

Объекты исследования и модель

В данной работе рассматриваются фосфатные и силикатные присадки, молекулы которых содержат концевые группы $(SiO_4)^{n-}$ и $(PO_4)^{n-}$. Основной задачей является изучение взаимодействия этих групп с поверхностью железа, образование адсорбционного комплекса и распад комплекса при силовом воздействии.

В качестве модели выбрана бесконечно-протяженная пластина, состоящая из трех моноатомных слоев железа и адсорбированного слоя молекул присадок (рис. 1). Эта модель обладает свойством периодичности в двумерном пространстве (в плоскости пластины), и ее можно представить как бесконечную совокупность эквивалентных ячеек. В рамках приближения DFT с помощью такой модели можно рассчитать пространственную структуру молекул присадок, энергию связи внутри молекул, энергию взаимодействия концевых групп молекул с поверхностью, перестройку поверхности металла под воздействием присадок, энергию адгезии. В расчетах принималось, что общий заряд каждой ячейки в адсорбционных комплексах равен нулю. В противном случае вся пластина обладала бы бесконечным зарядом, что нефизично.

В работе [5] показано, что в условиях тяжелого нагружения молекулы силикатных и фосфатных присадок могут распадаться на отдельные фрагменты и при этом наиболее устойчивым фрагментом являются группы $(SiO_4)^{n-}$ и $(PO_4)^{n-}$. В связи с этим при анализе взаимодействия молекул силикатных и фосфатных присадок с поверхностью железа целесообразно рассмотреть взаимодействие с железом именно этих групп.

На рис. 1 изображена модель адсорбционного комплекса, содержащего три атомных монослоя железа и адсорбированные концевые группы $(SiO_4)^{n-}$ и $(PO_4)^{n-}$ (изображен квадратный блок комплекса, состоящий из 3×3 элементарных ячеек бесконечной пластины). При проведении расчетов в рамках данной модели принято, что заряд n=0. Для учета реально существующего заряда концевых групп молекул далее предполагается проведение расчетов с помощью кластерной модели (см., напр., [2]).

Наряду с такой конфигурацией атомов, где рассматриваются одновременно оба типа присадок, изучались также адсорбционные комплексы только с одним типом присадок: Fe + $2(SiO_4)^{n-}$ и Fe + $2(PO_4)^{n}$. Анализ всех типов конфигураций позволяет определить, какие из них реализуются в тех или иных условиях.

а) б)

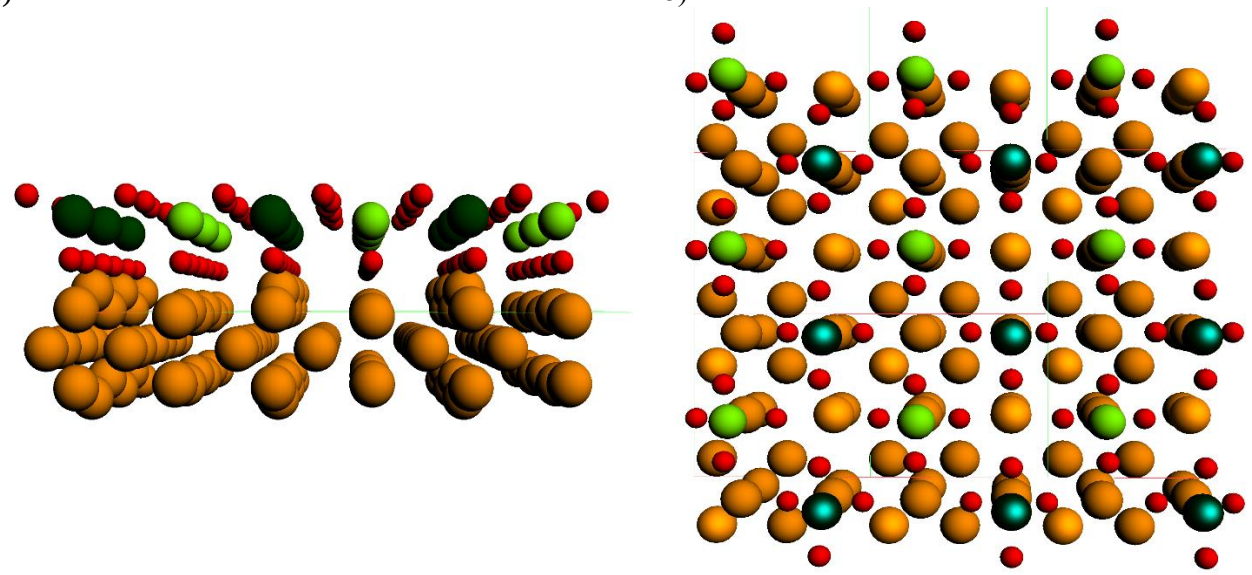


Рис. 1 – Блок из 3×3 ячеек модели пластины, содержащих три атомных монослоя железа и концевые группы $(SiO_4)^{n-}$ и $(PO_4)^{n-}$. Темно-оранжевым цветом изображены атомы Fe, светло-зеленым - атомы Si, темно-зеленым - атомы P, красным – атомы O: a – вид сбоку, b – вид сверху

На рис. 2 изображен распад адсорбционного комплекса Fe + $(SiO_4)^{n-}$ + $(PO_4)^{n-}$ на две отдельные части – слой атомов железа и концевые фрагменты молекул присадок.

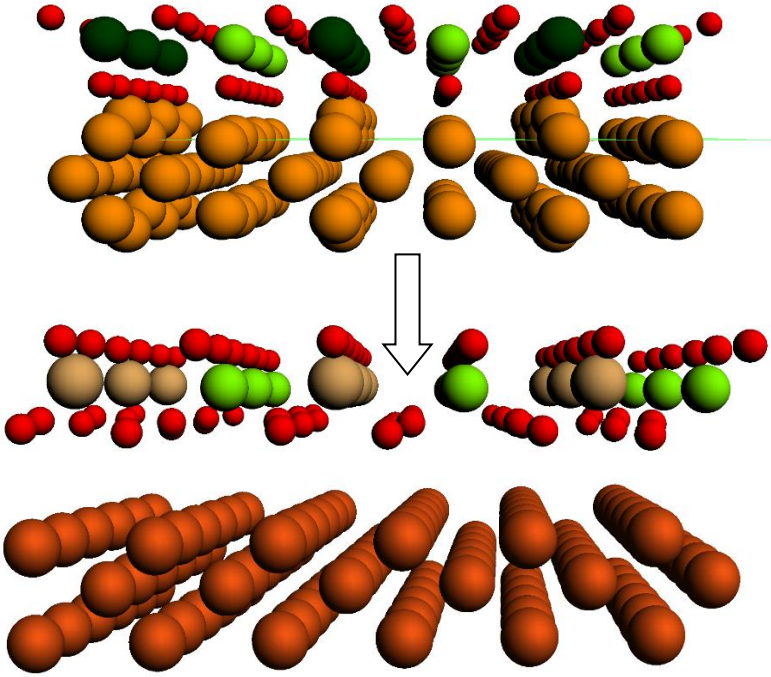


Рис. 2 – Распад адсорбционного комплекса на фрагменты – адсорбированные концевые группы $(SiO_4)^{n-}$ и $(PO_4)^{n-}$ и три атомных монослоя железа

Результаты расчетов

Расчет энергий связи отдельных частей и общей энергии связи всего адсорбционного комплекса проводился с помощью пакета ADF [6], основанного на приближении DFT. В этих расчетах применялся базис TZ2P, использовалась опция с замороженными остовными электронами, энергия вычислялась в приближении LDA. Удобство этого пакета состоит в том, что базисные функции в нем подобраны оптимальным образом для соединений, включающих переходные элементы. Это важно для применений в случае стальных поверхностей.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

С помощью данных из табл. 1 можно найти значения энергии, которые необходимо сообщить адсорбционным комплексам для их распада на отдельные части. Общее выражение для энергии распада E_{disint} некоторой системы на отдельные подсистемы можно представить в виде

$$E_{disint} = | E_{total} - \Sigma E_i |,$$

где E_{total} – энергия связи всей системы, E_i – энергия связи i-ой подсистемы, суммирование ведется по всем подсистемам.

Таблица 1. Энергии связи (в расчете на одну ячейку) адсорбционных комплексов и их частей в модели пластины

№	Система	Энергия связи, эВ
1	Fe (3 слоя)	-105.67
2	$2SiO_4$	-57.30
3	$2PO_4$	-62.26
4	$SiO_4 + PO_4$	-59.71
5	$Fe + 2SiO_4$	-183.15
6	$Fe + 2PO_4$	-183.81
7	$Fe + SiO_4 + PO_4$	-184.38

Для системы $Fe + 2SiO_4$ энергия распада (в расчете на одну ячейку) равна

$$E_{disint} = | E(Fe + 2SiO_4) – E(Fe) – E(2SiO_4) | =| -183.15 +105.67 +57.30| = 20.18 \text{ эВ}.$$

Для системы $Fe + 2PO_4$ энергия распада, полученная таким же способом, равна 15.90 эВ. Сравнивая энергии распада для $Fe + 2SiO_4$ и $Fe + 2PO_4$, видим, что связь силикатной группы с поверхностью железа сильнее, чем связь фосфатной группы. Этот результат коррелирует с результатами работы [5], где расчет подобных систем проводился в другом приближении.

Для системы с двумя перемежающимися типами присадок $Fe + SiO_4 + PO_4$, изображенной на рис. 1, получаем:

$$E_{disint} = |–184.38 –(–105.67– 59.71) | = 19.0 \text{ эВ}.$$

Этот результат близок к энергии распада в случае силикатных присадок. Подобный факт означает, что при плотном и равномерном распределении молекул присадок на поверхности металла энергия распада адсорбционного комплекса не равна энергии, усредненной по присадкам. То есть существует некоторый кумулятивный эффект, обусловленный спецификой химического взаимодействия системы присадок с поверхностью металла. Некоторые предварительные результаты экспериментов, проведенных с использованием силикатных и фосфорсодержащих присадок, подтверждают этот теоретический вывод.

Из расчетов вытекает также важный факт, что при наличии слоя из молекул присадок некоторые атомы железа из поверхности металла испытывают некоторое смещение относительно первоначального своего расположения, т.е. под воздействием присадок поверхность металла слегка деформируется. Этот эффект, обусловленный возникновением достаточно сильной ковалентной химической связи между присадками и металлом, необходимо учитывать при анализе влияния присадок на поверхность. В частности, благодаря этому эффекту может существенно изменяться энергия адгезии слоя присадок, что уже отмечалось в наших предыдущих работах [7-9]. При интенсивном силовом воздействии на поверхность может происходить отрыв слоя молекул присадки вместе с атомами железа.

Заключение

Исследование совместного действия присадок, проведенное с помощью современных квантово-химических методов, показало наличие кумулятивного эффекта, обусловленного спецификой химического взаимодействия системы присадок с поверхностью металла.

УДК 546.182:621.801

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПРИСАДКАМИ КИСЛЫХ ОРТОФОСФАТОВ НАТРИЯ И ЖИДКОГО СТЕКЛА*

И.А. Майба, М.А. Савенкова, А.С. Бекетов, Е.И. Никитин
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

Для уменьшения работы трения и управления процессами структурообразования в поверхностном слое металла трибосопряжений традиционно применяют смазочные

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (гранта № 16-08-00724 А)

материалы (СМ), триботехнические свойства которых совершенствуются введением различных присадок.

Перспективным направлением повышения износостойкости и увеличения срока службы железнодорожной техники является применение в качестве противоизносных и противозадирных присадок ряда неорганических соединений (сульфидов, селенидов, теллуридов, нитридов, молибдатов, сульфатов, силикатов некоторых металлов), некоторых природных минеральных вещества (серпентинитов). Такие вещества в качестве присадок относительно стабильны при тяжелых режимах эксплуатации и в агрессивных средах, придают смазочным материалам термостабильность, сохраняя постоянство химического состава [1]. Однако наиболее существенным недостатком неорганических присадок к смазочным материалам является их олеофобность, проявляющаяся в несовместимости с масляной основой и отсутствием способности к гелеобразованию.

Эффективными неорганическими противоизносными, антифрикционными, коррозионно-стойкими присадками, термостабильными и экологичными, совместимыми с нефтяной масляной основой смазочных материалов являются полимерные фосфаты метафосфатного состава [2].

Полимерные фосфаты щелочных металлов метафосфатного состава с соотношением оксида металла и пентаоксида фосфора $\frac{M_2^{'}O}{P_2O_5}=1$ можно получить термической конденсацией кислых ортофосфатов, меняющих анионный состав гораздо ниже температуры плавления. Поэтому представляло интерес исследовать триботехнические свойства дигидро- и гидроортофосфата натрия как модельных веществ в качестве неорганических присадок, а в качестве смазочной основы был выбран глицерин (ГОСТ 6259-75). Поскольку известны силикофосфаты некоторых металлов, то перспективно изучение совместного действия кислых ортофосфатов натрия и силиката натрия.

В работе были использованы дигидроортофосфат натрия двуводный $NaH_2PO_4{\cdot}2H_2O$ марки «х.ч.» (I), гидроортофосфат натрия двуводный $Na_2HPO_4{\cdot}2H_2O$ квалификации «ч.д.а.» (II) и метасиликат натрия $Na_2SiO_3{\cdot}\ 9H_2O$ марки «ч.» (III).

Соединение (I) относится к ромбической сингонии со строением пространственной группы – *p*3*c*1 [3]; по данным термогравиметрии температура плавления 60˚С, а температура обезвоживания 89˚С.

Соединение (II) также относится к ромбической сингонии, отличаясь от (I) строением пространственной группы (*p*222) [3]. На дериватограмме фиксируется плавление соединения 92˚С (II) и полное обезвоживание при температуре 92˚С.

Соединение (III) – ромбической сингонии, но содержит примеси силикатов с различными соотношениями Na_2O/SiO_3 [3]. Соединение (III) плавится при 102˚С и обезвоживается в интервале температур 120 – 154˚С

Были сняты ИК спектры поглощения в области волновых чисел от 500 до 3500 см$^{-1}$. В таблице 1 приведены частоты колебаний (см$^{-1}$) и их интенсивности для одно- и двузамещенного гидроортофосфатов натрия.

Таблица 1 Характер колебаний кислых ортофосфатов натрия и их интенсивности

Соединение $NaH_2PO_4{\cdot}2H_2O$		Соединение $Na_2HPO_4{\cdot}2H_2O$	
Частота колебаний (см$^{-1}$)	Характер колебаний и их интенсивность	Частота колебаний (см$^{-1}$)	Характер колебаний и их интенсивность
535	δP, PO_2 ср.	530	δ PO_3 сл.
830	H-O-P плоскости	560	δ PO_2 ср.

880	$\nu_s P(OH)_2$ ср.	870	$\nu_s P(OH)$ ср.
940	ν_{as} $P(OH)_2$ ср.	960-1080	$\nu_s PO_3$ с.
1110	ν_s PO_3 сл.	1170	$\nu_{as}PO$ ср.
1130	ν_{as} PO_2 сл.	1320	δ H-O-Pср.
1290	δ H-O-Pср.	1660	δ H-O-H сл.
2300-2400	γ O-H(POH) сл.	2800-3000	γ O-H о.сл.
3450	γ O-H(H_2O) сл.		

Примечание. Оценка интенсивности частот колебаний: с. – сильная; ср. – средняя; сл. – слабая; о.сл. – очень слабая.

В ИК-спектрах исследованных солей проявляются симметричные колебания концевых групп PO_3 (ν_s PO_3), более интенсивные для Na_2HPO_4 со смещением полос в коротковолновую область.

Малоинтенсивные размытые полосы в спектрах при 2300 – 2400 и 2800 – 3000 см$^{-1}$ наблюдаются для гидро- и дигидроортофосфата натрия. Они относятся к полосам колебаний *OH* в группах *H-O*(*P*).

Колебания δ *H-O-P* усиливаются при переходе от дигидро- к гидроортофосфату, что объясняется, по-видимому, возрастанием влияния водородной связи.

Валентные колебания *OH* – связей в молекулах воды находятся в диапазоне частот от 2800 до 3450 см$^{-1}$, а смещение полос в этой области может быть обусловленно изменением суммарной массы катионов натрия в исследуемых солях.

Следует отметить, что ИК-спектр двузамещенного фосфата натрия отличается несколько большей простотой (число и характер колебаний) по сравнению со спектром однозамещенной соли.

В ИК-спектре поглощения метасиликата натрия можно выделить наиболее интенсивные частоты колебаний групп ν_s*Si-O-Si* – 635 см$^{-1}$; ν_{as}*Si-O-Si* – 920 см$^{-1}$; ν_s*O-Si-O* – 934 см$^{-1}$ и ν_{as}*O-Si-O* в области 1010 – 1035 см$^{-1}$. Колебания тетраэдров SiO_4 с увеличением их числа отмечены в длинноволновой области в интервале 602 – 620 см$^{-1}$. Следует отметить, что подсчет числа полос колебаний связей *Si-O-* и антисимметричных колебаний ν_{as}*Si-O-Si* затруднен неполным разрешением налагающихся полос.

Проведены испытания триботехнических свойств жидких смазочных композиций, полученных на основе глицерина с добавлением 5 масс % кислых ортофосфатов натрия, а также 5 масс % метасиликата натрия в виде жидкого стекла.

Исследование пятна износа и определение критической нагрузки смазочных материалов (состав которых указан в таблице 2) осуществлялись на четырехшариковой машине трения (ЧТМ-1) при нагрузке 196 Н и скорости вращения 1400 об/мин в течении 1 часа. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Узел трения четырехшариковой машины представляет собой пирамиду из четырех контактирующих друг с другом стальных шариков. Три нижних шарика закреплены неподвижно в чаше машины с испытуемым смазочным материалом. Верхний шарик, закрепленный в шпинделе машины, вращается относительно трех нижних под заданной нагрузкой с частотой вращения (1400±70) мин$^{-1}$. Проворачивание шариков в процессе испытания не допускается.

Шарики (12,70±0,001) мм – 10,16 или 20 по ГОСТ 37722 из стали ШХ-15 по ГОСТ 801.

Диаметр пятна износа измерялся на стереоскопическом микроскопе МБС-10 с 8-ми кратным увеличением окуляра.

Из данных таблицы 2 следует, что триботехнические свойства смазочного материала с добавлением дигидроортофосфата натрия по сравнению с основой (глицерин) улучшились на 70 – 212 % ($d_{ср}$ – $P_к$). Для смазочной композиции №4 диаметр пятна износа снизился на 65%, а критическая нагрузка возросла на 167%. На фотографиях поверхностей трения после испытаний для образцов смазочных материалов с добавлением кислых ортофосфатов, а также с добавлением ортофосфатов и жидкого стекла зафиксированы сглаженные микрорельефы с выровненной регулярной структурой. Образующаяся морфоструктура характерна для плосковершинного рельефа, обеспечивающего максимальный поверхностный контакт трибосопряжения с малым локальным давлением в зоне трения.

Структуры преобладающих форм фосфатов, образующихся в процессе трения в среде глицерина, представлены на рисунке 1.

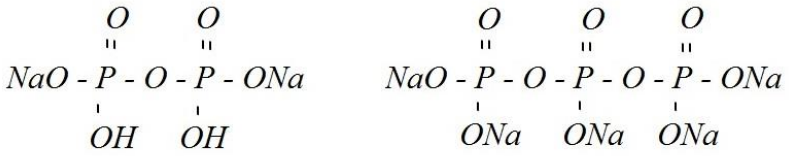
Таблица 2 Результаты испытаний на ЧМТ-1

№ п/п		№ обр.	Состав смазочного материала	Критическая нагрузка, $P_{кр}$ Н	Диаметр пятна износа при 196 Н, $d_{ср}$ мм
	Максимальное (более 20%)				
1		№3	Глицерин	490	0,507
2		№2	Глицерин + жидкое стекло	617	1,141
3		№1	Глицерин + дигидроортофосфат натрия	1098	0,425
	Присадки 5%				
5		№2	Глицерин + жидкое стекло (5%)	872	0,784
6		№1	Глицерин + гидроортофосфат натрия (5%)	1039	0,359
	Присадки (в сумме 5%)				
7		№4	Глицерин + жидкое стекло (2,5%) + гидроортофосфат натрия (2,5%)	823	0,332

По результатам испытаний можно сделать выводы о том, что на поверхности трения формируются модифицированные пленки с выраженным защитным действием.

Действия нагрузки в сочетании с высокоскоростным режимом трения влияет на кислые ортофосфаты аналогично термической дегидратации их. С течением времени в ходе эксперемента происходит удаление кристаллизационной воды, а затем части и конституционной связанной. В ходе дегидратации протекают процессы конденсации, которые приводят к образованию дигидродифосфата и метафосфата натрия, при взаимодействии которых в данных условиях частично образуется триполифосфат натрия, а также возможно образование и тетраполифосфата натрия. В реакционной зоне может происходить образование двойных солей, расщепление ионов тетраполифосфатов, а также процесс замыкания и раскрытия колец триметафосфата натрия [4]. Благоприятными условиями для наиболее полного и быстрого превращения смеси фосфатов в более конденсированные анионные формы является высокая дисперсность веществ, увеличение контакта между всеми фазами, а также, по-видимому, каталитическое действие некоторых промежуточных форм фосфатов. Вероятно, что реакции образования более конденсированных форм фосфатов протекают через диффузионную стадию. В

диффузионных процессах участвуют наиболее подвижные частицы смесей – протоны и ионы натрия, влияющих на скорость конденсационных процессов.



дигидродифосфат натрия $(Na_2H_2P_2O_7)$ триполифосфат натрия $(Na_5P_3O_{10})$

Рис.1 – Структуры некоторых фосфатов натрия

Различные формы фосфатов, обладающие высокой поверхностной активностью по отношению к трущимся телам, надежно экранируют силовое поле металлических поверхностей, оказывают антиокислительное действие. Высокодисперсные фосфаты в среде глицерина способствуют образованию гелей, приводящих к возникновению синергетического эффекта функционального действия. Образование в зоне трения смесей фосфатов с лабильными анионами положительно сказывается на триботехнических свойствах созданных смазочных материалов, что приводит к улучшению их противоизносных свойств. Безусловно, что в действительности процессы образования указанных форм фосфатов являются более сложными и протекают через ряд промежуточных стадий. Смеси фосфатов действуют как комплексные присадки и пластифицируют поверхности трибосопряжений. По-видимому, образование силикофосфатов существенно предотвращает износ поверхности трибосопряжений (данные по $d_{ср}$), но способствует формированию менее гибких структурных фрагментов (данные по $P_{кр}$) в поверхностных слоях металла.

Необходимо отметить, что фосфаты натрия по сравнению с другими солями этого металла одни из более безопасных для человека соединений (данные по сравнению с *NaCl*). Они вводятся в широкий ассортимент продуктов питания, добавляются в тонизирующие напитки, лекарственные препараты и др. [4].

Резервы для дальнейшей оптимизации триботехнических свойств смазочных материалов с участием фосфатов и в их сочетании с жидким стеклом заключены в поиске оптимума соотношения концентраций добавок, которые предстоит выявить в процессе дальнейших исследований.

Полученные нами предварительные данные о триботехнических свойствах позволяют положительно оценить возможности использования этих соединений для защиты поверхности трения от износа.

УДК 539.219.3:621.89.012

РОЛЬ И МЕХАНИЗМЫ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕСУРСА УЗЛОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ РЕСУРСНОГО СМАЗЫВАНИЯ

П.И. Маленко, К.Д. Релмасира, А.Ю. Леонов
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Россия

Узлы с ресурсным смазыванием используются в различных отраслях, в частности, в железнодорожном транспорте (подшипники скольжения). Температурный режим подобных узлов строго регламентирован и обычно обеспечивается их конструкцией. В узлах стрелково-пушечного вооружения достигнуть подобной регламентации затруднительно, так

как высокие скорострельность и нерегламентированный характер эксплуатации приводят к экстремальным температурным режимам. В этих условиях остро стоит проблема обеспечения гарантированного ресурса узлов. Имеющиеся теоретические и полуэкспериментальные исследования [1], как правило, проводят к расхождениям в значениях расчетных и экспериментальных параметров, так как оперируют только исходными физико-механическими свойствами и выходными параметрами, исключая период эксплуатации.

В последние годы на процессы, происходящие в поверхностных слоях трения, обратили внимание многие исследователи. В результате установлена определяющая роль диффузионных процессов в поверхностных слоях деталей. Предложен параметр- накопление повреждаемости, физический смысл которого заключается в движениях атомов в дефектах структуры (вакансиях и дислокациях) и перемещении атомов основных, легирующих и примесных элементов в результате диффузионных процессов [2].

Однако, последствия диффузионных процессов весьма многообразны, особенно в экстремальных условиях ресурсного смазывания. Если обратиться к узлам автоматики стрелково-пушечного вооружения, то конструкционная прочность деталей обеспечивается использованием теплостойкой легированной стали 25Х3М3НБЦА, а износостойкость – термодиффузионным низкотемпературным процессом нитроцементации (никотрирование). В результате никотрирования образуется поверхностное покрытие толщиной 10 … 20 мкм, состоящее из нитридов (Fe_3N, Fe_4N), карбидов (Fe_3C) и карбонитридов $Fe_3(CN)$).

Для определения процессов, происходящих в поверхностных слоях, на машине трения производили эксперименты с контролем температуры T, коэффициентов трения $f_{тр}$ и времени τ. Рентгеноструктурным анализом установлено, что в диапазоне T=140 … 500 ^{0}C и времени τ=6 … 1400 с исходные никотрированные фазы исчезают и образуются вторичные структуры (ВС): оксиды (FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4), силициды ($FeSi$, $MoSi_{0,65}$), сульфиды (FeS_2, MoS_2) и фосфиды (Fe_2P). Образование ВС связано с двумя диффузионными процессами: распадом исходных фаз и образованием собственно ВС, донорами для которых служат окружающая среда (O, S) легирующие (Mo) и примесные (Si, S, P) атомы основы. Малые времена образования ВС объясняются измеренными чрезвычайно высокими коэффициентами диффузии D=10^{-4} … 10^{-7} м^2/с. Объяснение причин подобных значений D заключается в трансформации температур на переходном температурном процессе, зависящей от морфологии поверхности трения

$$T_{max} = T_{суб} \rightarrow T_{всп} \rightarrow T_{пов} \rightarrow T_{об}. \qquad (1)$$

Компьютерное моделирование [3] $T_{суб}$ и $T_{всп}$ показало наличие высокочастотных температурных процессов с параметрами: темп тепловвода $\frac{dT}{d\tau}$=10^6 … 10^9 К/с; скорость тепловвода U=10^4 … 10^7 1/с, плотность мощности теплового потока q_0=10^9 … 10^{11} Вт/м^2. Данное обстоятельство позволяет утверждать о наличии при трении внезапных термических ударов (ТУ). Решение дифференциальных уравнений теории термоупругости гиперболического типа позволило установить наличие высокочастотных давлений при ТУ порядка $P_{ТУ}$=10^{10} Па [4]. Исследование трансформации ТУ по глубине поверхностного слоя выявило наличие восходящей диффузии с давлениями $P_{ВД}$ несколько меньшими, чем $P_{ТУ}$ за счет диссипации энергии. Таким образом, диффузионные процессы в поверхностной зоне вызваны восходящей диффузией в поверхностном слое, обладающим высоким давлением. Восходящая диффузия не подчиняется законам Фика, быстротечна (τ<10^{-12} с) и в этой связи для определения ее механизмов использовали методы молекулярной динамики (ММД). Сущность моделирования заключалась в формировании кристаллитов из кристаллических решеток исходных фаз (количество атомов n>10^4), приложении к кристаллитам давления $P_{ВД}$, исследовании траекторий перемещения атомов в соответствующих

кристаллографических плоскостях и определении на этой основе коэффициентов диффузии. Расчеты по известным в металловедении механизмам диффузии (вакансионному, обменному, междоузельному и другим) дают значение скоростей диффузии в десятки и сотни раз ниже экспериментальных и носят скорее эвристический характер.

Исследовались в количественном аспекте процессы термического ускорения диффузионной подвижности атомов и собственно диффузия. На рис. 1 схематично показана кристаллическая решетка α-Fe, а на рис. 2 приведены результаты для кристаллической решетки α-Fe. В решетку была введена одна вакансия. Из рисунка следует, что термическое увеличение диффузионной подвижности атомов заключается в образовании в кристаллических плоскостях разряжений, названных дилатонами и сгущений атомов.

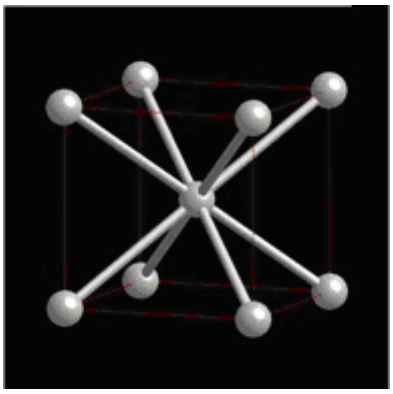


Рис. 1 – Схематическое изображение кристаллической решетки α-Fe

В дилатонах происходит деформация межатомных связей

$$\varepsilon_0 = \frac{\alpha_T T}{3}, \qquad (2)$$

где $\alpha_T=1{,}17\cdot10^{-5}$ 1/град – коэффициент термического расширения; $\tau_0=2{,}5\cdot10^{-12}$ с – период тепловых колебаний атомов; $\tau=n\Delta\tau=5\cdot10^{-13}$ с (количество шагов моделирования $n=5\cdot10^3$, шаг моделирования $\Delta\tau=10^{-16}$ с); T=600 … 900 К

$\varepsilon_0=(3{,}24 \ldots 4{,}9)\cdot10^3$.

Размер дилатона

$$\Delta = \frac{aE\varepsilon_0}{\sigma}, \qquad (3)$$

где $a=2{,}87\cdot10^{-10}$ м – параметр решетки; $E=2{,}15\cdot10^{11}$ Па – модуль упругости; $\sigma=6\cdot10^8$ Па – реальная прочность стали, $\Delta=(3{,}3 \ldots 5)\cdot10^{-10}$ м.

Исходным результатом расчетов является определение коэффициента перегрузки

$$\chi = \frac{\Delta}{a}. \qquad (4)$$

Δ=1,5 … 2,5.

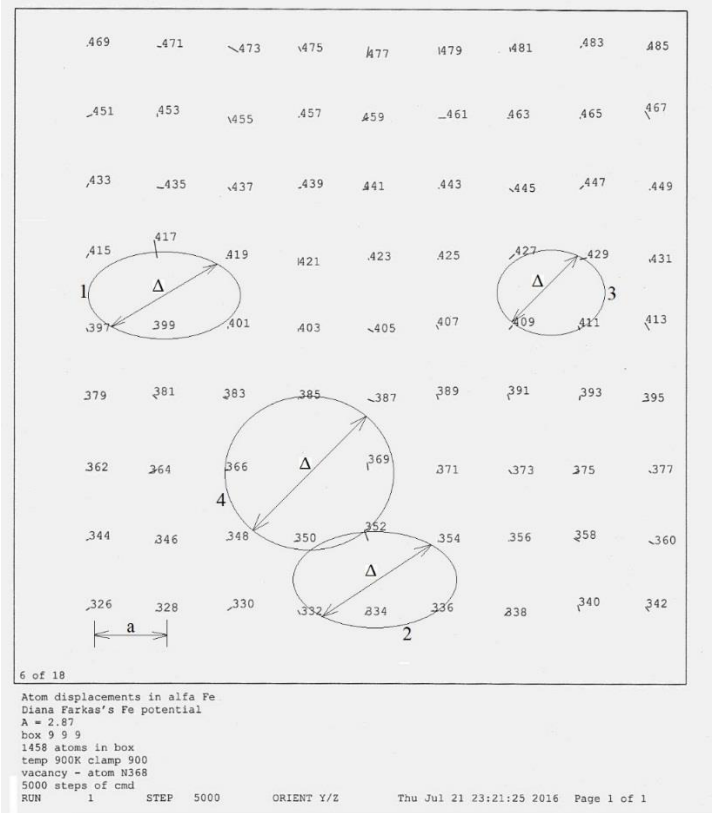


Рис. 2 – Изменение структуры исходного кристаллита в результате увеличения диффузионной подвижности атомов (T = 900 K) в плоскости <100>:
(1 – 30 мкм, 2 – 35 мкм, 3 – 50 мкм, 4 – 30 мкм)

Таким образом, количественное описание термического увеличения диффузионной подвижности атомов заключается в определении коэффициента перегрузки χ. Отметим, что дилатон с вакансией имеет максимальное значение χ.

Для моделирования собственно диффузии изменялись граничные условия, в результате атомы начинают диффундировать по восходящей диффузии под действием ТУ (рис. 3).

Расчеты коэффициентов диффузии целесообразно производить по формуле Эйнштейна

$$D = \frac{A^2}{6\tau}, \qquad (5)$$

где A – длина траектории перемещения атомов; $\tau=5\cdot10^{-13}$ с.

$D=1{,}35\cdot10^{-7}$ м^2/с.

Механизм диффузии является кооперативным, так как одновременно диффундирует n>10 атомов, в отличие от вакансионного. Следует отметить, что в отличие от моделей Френкеля и Шоттки сама вакансия не диффундирует, а в результате диффузии увеличивается в размерах, образуя вакансионные пустоты.

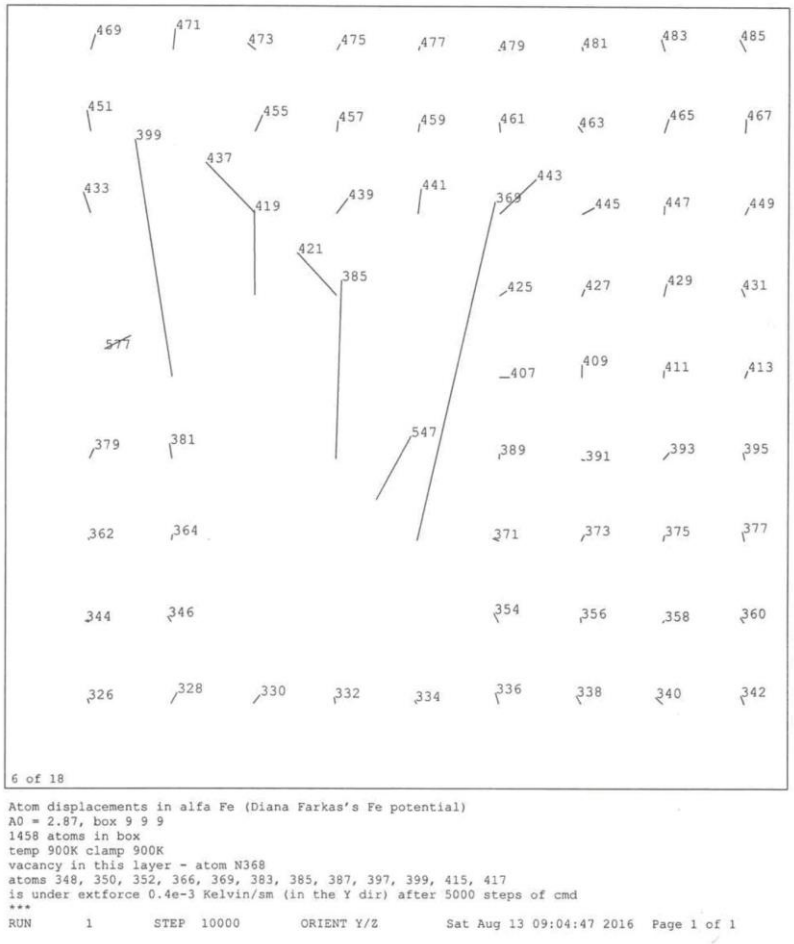


Рис. 3 – Результаты моделирования исходного кристаллита
по восходящей диффузии под действием ТУ

В заключение отметим, что в результате действия ТУ имеет место и резонансный механизм с совпадением в определенных диапазонах частот собственных колебаний атомов ω_0 и частот действия ω ТУ. Определенные по формуле (5) коэффициенты резонансной диффузии имеют значение $D=10^{-4} \ldots 10^{-5}$ м^2/с [5].

УДК 544.18:539.4

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ*

Ю.Ф. Мигаль, В.И. Колесников, Е.С. Новиков
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

В данном сообщении речь пойдет о новой технологии повышения износостойкости металлов, идею которой мы предложили и разработкой которой мы сейчас занимаемся.

В настоящее время разработаны и эффективно используются многочисленные методы повышения износостойкости. К ним относятся: термическая и химико-термическая обработка, механическое и электромеханическое упрочнение, защитные покрытия и др.

*

Каждый из этих методов обладает своими достоинствами и недостатками. Например, для метода химико-термической обработки (ХТО), наиболее близкого по технологии к разрабатываемому нами подходу, характерны, с одной стороны, повышенная твердость поверхности, а с другой – ее хрупкость, что нежелательно, например, для колес железнодорожного транспорта.

Предлагаемый нами подход обладает принципиальной новизной. Ранее нашей группой теоретически было показано, что для увеличения износостойкости узлов трения целесообразно вводить в поверхностные слои металла такие химические элементы, которые, располагаясь на границах зерен, упрочняли бы связь между зернами металла. В отличие от метода ХТО, речь идет о введении элементов не в весь поверхностный слой материала, а только на поверхность зерен этого слоя. При этом, что существенно, должна увеличиваться прочность материала, но не его хрупкость. В результате наших исследований установлено, что элементом, наиболее эффективно упрочняющим связь между зернами в стали, является бор [1-3]. Наряду с высокой прочностью химической связи, возникающей между бором и поверхностью стали, этот элемент обладает высоким коэффициентом диффузии и малой растворимостью в объеме стали. Благодаря этим свойствам атомы бора могут легко проникать в сталь и располагаться в основном на поверхности зерен, вытесняя оттуда разупрочняющие элементы, в т.ч. серу и фосфор. Важно, чтобы в процессе диффузии концентрация бора в стали оставалась относительно малой – не более сотых долей процента. В этом случае атомы бора насыщают поверхность зерен и упрочняют поверхностные слои стали. Если же увеличивать далее содержание бора, то атомы бора будут проникать в объем зерен и неизбежно будут возникать химические соединения бора с железом, прочностные свойства которых невысоки. В результате свойства стали будут ухудшаться.

Для практической реализации этого подхода в рамках проекта, поддержанного Российским научным фондом, запланирована разработка метода диффузионного введения бора и других упрочняющих элементов в поверхностные слои трущихся металлов без образования химических соединений вводимых элементов с металлами. Предполагается, что появление атомов упрочняющих элементов на границах зерен будет контролироваться с использованием рентгеноэлектронной и оже-электронной спектроскопии. В этом методе, как ожидается, не будет побочных последствий, ухудшающих характеристики металла. Здесь будут использоваться режимы тепловых и силовых воздействий, которые не допускают образование в металле химических соединений, увеличивающих хрупкость металла.

На 2016 г. в рамках проекта были запланированы следующие этапы работ:

1. Поиск технологий диффузионного насыщения металлической поверхности, обеспечивающих при минимальных затратах получение поверхности с высокими прочностными и трибологическими свойствами. Определение способов подготовки компонентов и отработка режимов нанесения поверхностного слоя.
2. Определение типов химических соединений или чистых веществ, в которых наиболее быстро происходит атомизация упрочняющих элементов (отделение атомов от массивного тела) для ускорения процесса диффузии.
3. Разработка термодинамической модели механизма образования упрочненных структур при воздействии концентрированным потоком энергии и вещества.
4. Исследование методами рентгеноэлектронной спектроскопии измененного поверхностного слоя, возникающего вследствие диффузионного введения отдельных выбранных элементов. Оптимизация геометрических и механических параметров поверхностного слоя.
5. Моделирование многоатомных систем на поверхности металла при помощи модели бесконечной плоской пластины, состоящей из нескольких моноатомных слоев металла. Использование периодических граничных условий для этой модели.
6. Разработка математических и компьютерных моделей задач контактного взаимодействия деталей с покрытиями для различных трибосопряжений с учетом трения и тепловыделения.

7. Разработка метода решения модельных задач на основе конечно-элементного подхода, построение твердотельных моделей, конечно-элементной сетки с возможностью ее оптимизации.

Ниже приведено выполнение работ по некоторым из этих этапов.

Этапы 1+4. В качестве одного из возможных вариантов технологий диффузионного насыщения металлической поверхности бором рассматривается технология, близкая к ХТО-борированию. Отличие состоит в температурном режиме – выбирается диапазон температур, при котором не возникают бориды железа. Вначале происходит обмазка металлического образца борсодержащим соединением, и затем этот образец на несколько часов помещается в печь, где температура выдерживается в диапазоне 700-760°С. После этого образец очищается от шлаков, образовавшихся на поверхности, и проводятся его испытания на износ. Предварительные измерения показывают повышение износостойкости образцов. На поверхности образца, как показывают измерения на металлографическом микроскопе, отсутствуют следы боридов железа. При исследовании поверхности образцов методами рентгеноэлектронной и оже-электронной спектроскопии фиксируется наличие бора в поверхностной пленке (пленке переноса), однако при первом же травлении этой поверхности сигнал, свидетельствующий о наличии бора, исчезает. Этот факт имеет следующее объяснение. Как отмечалось выше, бор при данных условиях может проникать только на границы зерен в стали. Учитывая размеры границ, количество бора в поверхностных слоях стали крайне незначительно. Объемная концентрация бора при этом столь мала, что она не позволяет зафиксировать этот элемент методом оже-электронной спектроскопии. С целью обнаружения бора при такой низкой его концентрации нами планируется провести масс-спектроскопическое исследование состава поверхности образца.

Наряду с печным борированием нами изучается возможность введения бора с помощью метода, имитирующего воздействие тормозных колодок на поверхность стального рельса. Если при изготовлении тормозной колодки ввести в ее состав борсодержащие соединения и затем осуществить тормозной контакт колодки с испытуемым образцом, атомы упрочняющих элементов будут диффундировать из колодки в металл и, в конечном счете, упрочнять поверхностный слой металла. Способствовать такому процессу будут высокие температуры и давления, возникающие на трибоконтакте. Наши предыдущие исследования взаимодействия тормозной колодки с поверхностью металла продемонстрировали возможность диффузии элементов, входящих в состав колодки, в поверхностный слой металла. В настоящее время проводятся испытания такого механизма борирования.

Этап 2. Для определения типов химических соединений, в которых наиболее быстро происходит атомизация бора, проведены квантовохимические расчеты энергии связи атомов бора в соединениях. Получено, что атомы бора наиболее легко отрываются от поверхности металлического или аморфного бора. В случае сложных борсодержащих соединений атомы бора находятся внутри этих соединений и энергия связи бора в этом случае выше. В таких вариантах необходимо создавать условия для химических реакций, в которых бор атомизируется. В частности, в среде, содержащей буру и карбид бора при температуре выше 500°С происходит диссоциация буры с образованием борного ангидрида, а затем борный ангидрид при температуре выше 700°С восстанавливается карбидом бора:

$$Na_2B_4O_7 \rightarrow Na_2O + 2\,B_2O_3;$$
$$2B_2O_3 + 3B_4C \rightarrow 16B + 3CO_2.$$

Этап 5. С целью поиска новых упрочняющих элементов проводилось моделирование многоатомных систем на поверхности металла при помощи модели бесконечной плоской пластины, состоящей из нескольких моноатомных слоев металла.

Ранее такие исследования были проведены нами для элементов первых пяти периодов таблицы Д.И. Менделеева. На данном этапе изучались элементы шестого периода.

Для имитации границы зерна использована двупериодическая модель пластины, в которой граница имитируется набором параллельных моноатомных плоскостей, включающих несколько слоев атомов железа и один (промежуточный) слой атомов примесных элементов (рис. 1). В данной модели рассматривается участок границы с минимальной (одноатомной) толщиной примесного слоя.

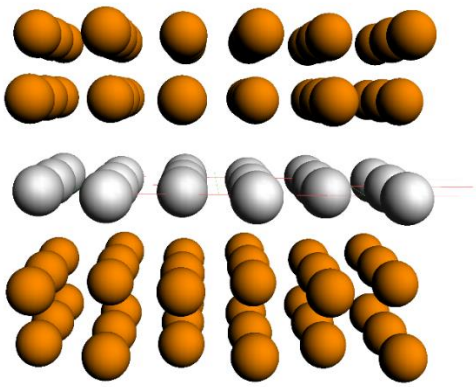


Рис. 1 – Модель границы зерна с поверхностью, соответствующей индексу Миллера (110). Верхняя и нижняя части модели состоят из атомов железа, средний слой - из примесных или легирующих атомов.

Прочность границы оценивалась в работе следующим образом. Предполагалось, что при механическом воздействии общая модельная система (сегрегационный комплекс) распадается на две части, одна из которых состоит только из атомов железа (имитация поверхности зерна железа), а вторая включает также и примесные атомы (адсорбционный комплекс) (рис. 2). В наших предыдущих расчетах было показано, что такой вариант распада границы на ее *локальных* участках наиболее вероятен.

Энергия E_d, необходимая для распада сегрегационного комплекса, в расчете на одну ячейку вычислялась по формуле

$$E_d = | E_s - E_g - E_a |,$$

где E_s– энергия связи сегрегационного комплекса, E_g и E_a– энергии связи его распадающихся частей. Все энергии вычислялись в расчете на ячейку (энергия всего бесконечно протяженного комплекса, очевидно, равна бесконечности).

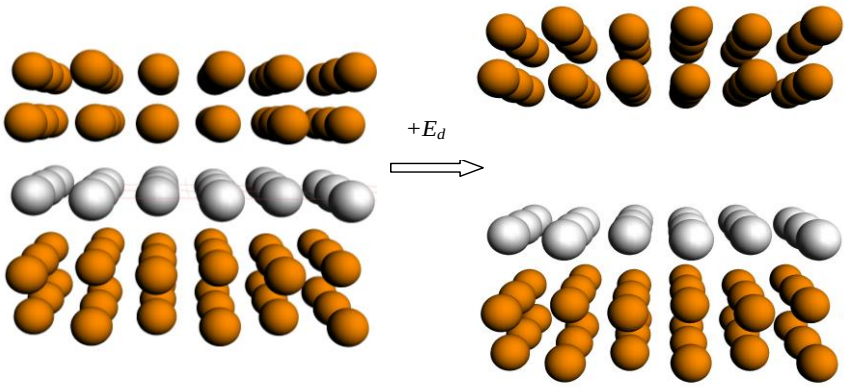


Рис. 2 – Распад модельного сегрегационного комплекса на две части

Результаты расчетов представлены в табличной форме.

Таблица 1. Энергия E_d (X) (в эВ), необходимая для распада сегрегационных комплексов с поверхностью (110)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0
6	Cs ?	Ba 0.9	La 1.1	Hf 2.6	Ta 2.7	W 2.4	Re 2.1	Os 1.7	Ir 1.5	Pt 1.0	
	Au 0.8	Hg 0.5	Tl 0.5	Pb 0.4	Bi 0.4	Po 0.1	At 0.2				Rn 0.

Таблица 2. Энергия E_d (X) (в эВ), необходимая для распада сегрегационных комплексов с поверхностью (100)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0
6	Cs ?	Ba 0.8	La 1.3	Hf 2.4	Ta 2.4	W 2.8	Re 2.4	Os 1.9	Ir 1.6	Pt 1.4	
	Au 0.4	Hg 0.6	Tl 1.6	Pb 0.6	Bi 0.2	Po 0.1	At 0.				Rn 0.

Из представленных таблиц вытекает следующая зависимость энергии распада сегрегационных комплексов от атомного номера примесных элементов – при перемещении вдоль периода энергия распада вначале увеличивается, а затем уменьшается. (Такая закономерность справедлива и для первых пяти периодов.) Наибольшей прочностью обладают комплексы, содержащие атомы гафния, тантала и вольфрама. Энергия распада для них сопоставима с энергией, характерной для комплекса из чистого железа (2.6 эВ) [3]. Это означает, что данные элементы, попадая на границы зерен в железе, упрочняют связь между зернами. Следовательно, такие элементы наряду с бором и др. можно рекомендовать для использования в качестве упрочняющих.

Заключение. Проведенные исследования показывают принципиальную возможность создания новой технологии повышения износостойкости металлов, основанную на диффузионном введении упрочняющих элементов на границы зерен металлов.

УДК 621.9.01

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕНИЯ НА КОНТАКТЕ «СТРУЖКА-Инструмент» ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

В.В. Новиков
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет», г. Иваново, Россия

Работа посвящена актуальной проблеме определения физического смысла коэффициента трения при резании. Поверхность контакта стружка-инструмент при резании представляет собой сложную трибосистему, в которой имеют место высокие давления, температуры, развитое адгезионное взаимодействие контактирующих поверхностей, высокие значения коэффициента трения. Основной особенностью трения при резании — различное физико-химическое состояние контактирующих поверхностей, интенсивное схватывание обрабатываемого и инструментальных материалов, сложный характер распределения нормальных и сдвиговых напряжений на контактных площадках, малая продолжительность контакта инструмента со стружкой и деталью при постоянном обновлении зоны контакта.

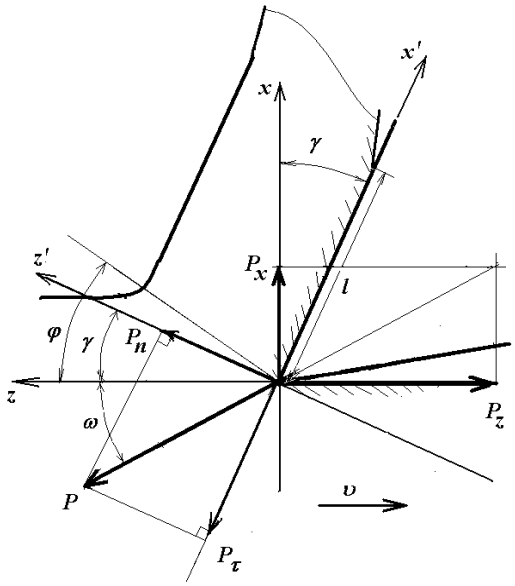


Рис. 1. - Схема сил, действующих в зоне резания

Общепринятой характеристикой процесса трения при резании является так коэффициент трения μ. [1]. Инструмент взаимодействует с заготовкой передней и задней поверхностью силами трении на задней поверхности в большинстве случаем можно пренебречь. Тогда коэффициент трения на передней поверхности может быть выражен по аналогии с аналогичным параметром, описывающим процесс трения поверхностей в технике пол закону Кулона:

$$\mu = \frac{P_\tau}{P_n} = tg\,(\omega + \gamma) = tg\,\eta \quad , \qquad (1)$$

где ω — угол действия силы резания, γ — передний угол инструмента, η — угол трения. P_n и P_τ — нормальная и тангенциальная составляющая силы резания соответственно (рис. 1).

Значение коэффициента трения при резании как правило выше, при обычном трении материалов и варьируются от 0,3…2.0. На величину коэффициента трения при резании влияют различные факторы: напряжение на контакте, скорость резания, температура на передней поверхности, СОТС.

Эксперименты показывают, что трение при резании не подчиняется закону Амонтона-Кулона. В настоящее время общепринятой моделью трения при резании является модель М.Б. Гордона [2] на основе модели трения Б.В. Дерягина:

$$\mu = \mu_0 + \frac{a_F}{q_N} \quad , \qquad (2)$$

где μ_o — постоянный коэффициент трения, a_F — адгезионная составляющая сдвиговых напряжений. Выражение (2) правильно описывает характер уменьшения значения коэффициента трения от средних напряжений на поверхности. Однако при выводе формулы (2) трение принималось в виде равномерного процесса на всем участке контакта «стружка — инструмент».

В тоже время исследования [3] показывают, что распределение сдвиговых напряжений по зоне контакта носит сложный характер (рис.2). Рассмотрение характера

распределения сдвиговых напряжений на поверхности контакта при резании позволяет применить для описания зонную модель.

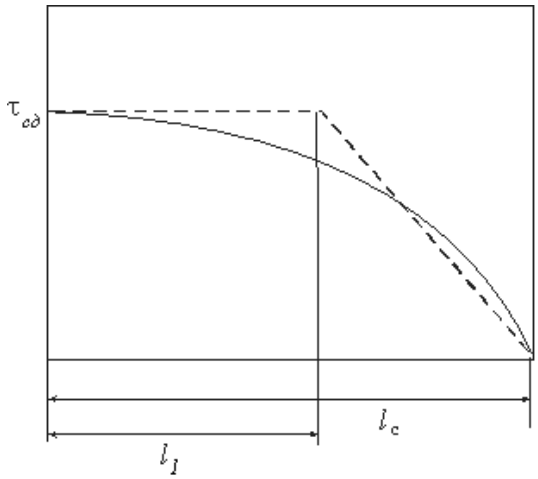


Рис. 2. - Схема распределения тангенциальных контактных напряжений на передней поверхности зоны контакта «стружка—инструмент»

При вершине резца формируется так называемая «застойная» или пластическая зона, которая характеризуется тем, что обрабатываемый материал затормаживается и «прилипает» к резцу. «Внешнее» трение в застойной зоне заменяется внутренним трением пластического сдвига внутри тонкого слоя металла стружки, называемого зоной вторичной деформации. Площадь фактического и номинального контакта поверхностей совпадают. Следовательно, нет полостей, несплошностей и микрокапилляров, в которые бы проникала внешняя среда. Скорость относительного перемещения материала стружки по поверхности инструмента значительно меньше средней скорости движения в стружке. Как следствие, в этой зоне нет износа инструментального материала. Лунка износа образуется на определенном отдалении от режущей кромки. Среднее напряжение в ней описывается выражением (2).

Во второй зоне имеет место упруго-пластический контакт стружки. Прижимного давления не хватает для обеспечения полной пластической деформации и прилипания стружки к инструменту. Площадь фактического контакта меньше площади контакта поверхностей. Поверхности стружки и инструмента начинают контактировать только выступами микронеровностей. Появляется микрокапиллярная сеть, куда проникает внешняя среда. Скорость относительного перемещения материала стружки по поверхности инструмента становится равна средней скорости движения в стружке. Появляется износ инструментального материала. Среднее напряжения сдвига $\tau_{сд}$ в этой зоне будет уменьшаться из-за уменьшения площади фактического контакта по сравнению с номинальной площадью, что вызвано уменьшением прижимного давления в соответствии с законом Амонтона. В итоге напряжение становится равным нулю в месте отрыва стружки от инструмента.

Математическое описание напряжения сдвига в зоне контакта можно формализовать системой (рис. 2):

$$\left.\begin{aligned} \tau(x) &= \tau_{сд} && при \quad 0 < x < l_p \\ \tau(x) &= \tau_{сд}\frac{l_c - x}{l_c - l_1} && при \quad l_1 < x < l_c \end{aligned}\right\}, \qquad (3)$$

где l_1 — длина зоны пластической зоны , l_c — длина контакта.

Напряжение сдвига в застойной зоне будет определятся величиной сдвиговых напряжений в более мягком материале пары трения:

$$\tau_{\tilde{n}\ddot{a}} = \tau_0 + \beta_N \sigma_n, \tag{4}$$

где τ_0 — постоянная составляющая сдвигового напряжения, β_N — пьезокоэффициент сдвига, σ_n — нормальное напряжение на контакте. Коэффициент трения будет уменьшаться с ростом средних нормальных напряжений на контакте по гиперболическому закону.

Нами показано, что путем интегрирование системы (3) с учетом внутреннего трения, средний коэффициент трения при резании можно выразить выражением

$$\mu = \alpha_l \left(\frac{\tau_0}{q_N} + \beta_N \right), \tag{5}$$

где $\alpha_l = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{l_1}{l_c}\right)$ — коэффициент эффективного контакта, q_N — среднее нормальное напряжение на контакте.

Сравнение выражения (5) и закона трения Гордона—Дерягина (2) показывает, что они описывают одну и ту же гиперболическую зависимость μ от q_N. Однако физический смысл выражений различен. В нашем случае трение при резании — это явление, связанное в основном с внутренним трением материала, происходящее в заторможенном слое.

Опираясь на физическую модель трения при резании (5), нам удалось показать, что единственной причиной смазочного действия среды при резании является изменение длины контакта «стружка—инструмент». Внешняя среда экранирует контакт, сокращает его длину и тем самым обеспечивает меньшие значения силы трения.

Смазочная эффективность СОТС при резании можно выразить коэффициентом экранирования контакта:

$$k_{\eth\mathring{a}\varsigma} = \frac{P_\tau^{\tilde{n}\grave{\imath}\grave{a}\varsigma}}{P_\tau^{\tilde{n}\acute{o}\acute{o}}} = \frac{l_c^{c\grave{\imath}\grave{a}\varsigma}}{l_c^{\tilde{n}\acute{o}\acute{o}}}. \tag{6}$$

После начала обработки при резании всухую (рис 3. кривая 1) по истечению определенного времени формируется стационарная длина застойной зоны $(l_1)^{сух}$. Если мы подадим СОТС, она начинает проникать через случайно возникающие в застойной зоне капилляры по механизму микрокапиллярного взрыва и формировать устойчивые разделяющие пленки. Длина застойной зоны при этом постепенно сократится и примет новый стационарный уровень $(l_1)^{смаз}$. СОТС также будет стремиться проникать и дальше в застойную зоны. Но механические свойства формируемых пленок будут недостаточны для изменения положения границы зон. На границе зон устанавливается динамическое равновесие между процессом формирования и разрушения пленки. Если же мы сразу с нулевого момента резания начнем подавать СОТС в момент механического контакта, система также постепенно выйдет на стационарную величину $(l_1)^{смаз}$ (рис. 3, кривая 2). Если положение границы зоны будет меняться, это будет приводить к возникновению колебаний силы трения и как следствие силы резания. Эти колебания наблюдаются в реальных системах резания. Известно, что СОТС обладают демпфирующим действием. Поэтому вполне вероятно, что причиной колебаний является определенная нестационарность положения длины застойной зоны, вызванная нестационарностью смазочного процесса при сухом резании.

Образование застойной зоны объясняет также малое влияние трения при резании на износ инструмента. Длина застойной зоны определяет величину трения при резании. В тоже время в застойной зоне практически отсутствует износ, так как нет перемещение материала относительно инструмента.

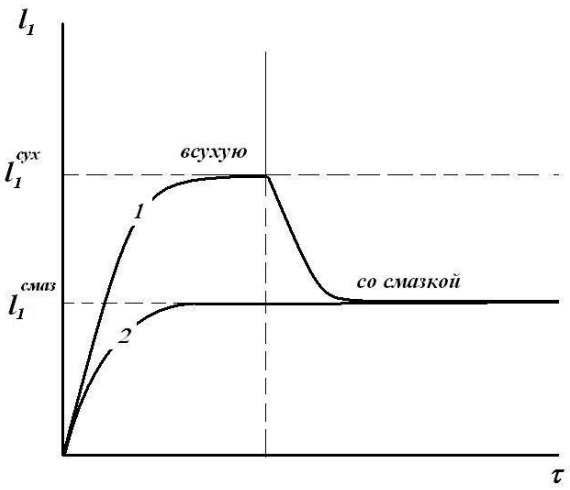


Рис. 3. Схематический график изменения длины зоны плотного контакта при резании всухую с последующей подачей СОТС (кривая 1) и с начальной подачей СОТС (кривая 2)

Главной причиной сокращения длины контакта является сокращение длины застойной зоны. Застойная зона характеризуется полным вытеснением с нее смазочной пленки. Исходя из физико-химических свойств смазок, нами была сделана оценка сдвигового напряжения, необходимого для оттеснения смазочного слоя. Не рассматривая для упрощения температурный фактор, оценим сдвиговые напряжения, при которых граничные смазочный слой будет вытесняться из зоны контакта. Критическое напряжение сдвига на контакте, достаточное для вытеснения граничного слоя, можно оценить формулой:

$$\tau_m = \frac{E_m}{S_{m1} \cdot b_m} = \frac{Q_m}{N_a S_{m1} b_m}, \qquad (7)$$

где $S_{m1} = a_m \times b_m$ — площадь поверхности, занимаемая лежащей молекулой, τ_m — напряжение сдвига, приходящееся на молекулу, a_m — длина молекулы, b_m — ширина молекулы, $Q_m = E_m N_a$ — молярная энергия связи граничного слоя с поверхностью, $N_a = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ *моль*$^{-1}$ — число Авагадро.

Примем для расчетов, что энергия Ван-дер-ваальсовой связи молекулы с поверхностью металла 10…20 *к*Дж/моль, слой состоит из анизотропных молекул 0,5×2,5 *нм.* Тогда сдвиговое напряжение, необходимое для оттеснения слоя молекул равно

$$\tau_m = \frac{(1...2) \cdot 10^4}{6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot (0.5 \times 0.5 \times 2.5) \cdot 10^{-27}} [Па] \approx 75...150\ МПа$$

Полученные оценки порядка величин давлений, способных сдвинуть и вытеснить граничный смазочный слой, в несколько раз ниже напряжений сдвига в контактной зоне при резании. Следовательно, граничный смазочный слой должен разрушаться и вытесняться как минимум из зоны пластического контакта. В зоне упруго-пластичного контакта граничный смазочный слой способен существовать только во впадинах между контактирующими микронеровностями. На самих же контактирующих вершинах этот слой должен так же разрушаться.

Согласно выражению (7), увеличение способности молекул СОТС сопротивляться вытеснению из контактной зоны будет увеличиваться с ростом энергии связи и уменьшению размеров молекул, образующих смазочный слой. Химические реакции молекул среды с

поверхностью с образованием более сильных химических связей, чем Ван-дер-ваальсовая, хемосорбция молекул способствуют формированию более прочных на сдвиг пленок, а смазочный эффект от таких явлений будет возрастать. Например, известно, что эффективное смазочное действие в СОТС оказывают присадки веществ, способных обеспечивать трение при высоких давлениях за счет химических реакций образовывать на поверхностях трения стойкие защитные пленки [4]. Недостатком использования химически активных веществ является их коррозионное воздействие на поверхность инструмента и изделия, возрастание износа инструмента, возможное образование токсичных соединений. Поэтому их применение в составах СОТС ограничено производством СОТС специального назначения для обработки труднообрабатываемых материалов.

Можно предложить следующую обобщенную модель формирования касательных напряжений на контактных площадках:

1) При соприкосновении инструмента с обрабатываемым материалом в зоне контакта резко повышаются нормальные и сдвиговые напряжения. Обрабатываемый материал деформируется и вытесняет из зоны перед режущей кромкой внешние непрочные слои с поверхности инструмента (смазка, оксидный слой) приходя в плотный контакт с поверхностью инструмента. Обрабатываемый материал налипает и обволакивает на инструмент. Так формируется застойная зона на передней и на задней поверхности инструмента.

2) Процесс формирования застойной зоны заканчивается, когда несущая способность смазочного слоя становится достаточной для сопротивления вытеснению. Существует определенное контактное давление на поверхности, при котором это произойдет.

3) После формирования застойной зоны на нагруженных участках контакта, напряжение на которых меньше критического, формируется упруго-пластического контакта.

4) Каждое смазочное вещество, формирующее смазочный слой, в конкретных условиях резания обладает своим характерным критическим значением напряжения на контакте. Применение в качестве смазок веществ, образующих более прочные смазочные слои, приводит к сокращению длины застойной зоны и общей длины контакта. Сокращение длины контакта и приводит к появлению смазочного эффекта при действии СОТС.

УДК 53.043

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯИ ТЕПЛОЭКРАНИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГРАНИЧНЫХ МАСЛЯНЫХ ПЛЕНОК*

Д.А. Попов, А.М., Кадырметов, А.С. Пустовалов
ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия

Согласно тепловой динамике трения и износа, определяющим фактором возникновения очагов схватывания, задиров и аварийного изнашивания деталей машин, работающих в условиях граничной смазки, является температурная вспышка, которая возникает на микроконтакте сопряжения и приводит к деструкции смазочного материала, возникновению сухого фрикционного контакта [1-2].

По мнению ряда авторов [1-4], возникновение температурных вспышек в сопряжениях, разделенных масляной пленкой, обусловлено её термическим сопротивлением

* Работа выполняется при поддержке Гранта РФФИ № 16-38-00060

распространению теплового потока, создающим экранирующее действие в течение какого-то промежутка времени.

Практическое исследование экранирующего действия масляных пленок имеет объективные сложности, а именно:

– даже при стационарном режиме трения, на фактическом пятне контакта всегда имеет место нестационарный режим;

– продолжительность контактирования единичной микронеровности при Pe ≥ 20 (где Pe – число Пекле) очень мала и температурный режим всегда нестационарен, температурная вспышка существует по разным источникам при $t = 10^{-6} \ldots 10^{-3}$ с;

– в реальных динамических условиях трения всегда существует ряд факторов (вибрации, загрязнения, непрерывное смещение фрикционного контакта и др.), препятствующих объективной оценке температуры в зоне контактирования.

По этим причинам исследование экранирующего действия масляных пленок на серийных машинах трения с применением общепризнанных методик и средств оценки температуры не представляется возможным.

Для изучения экранирующего эффекта нами предложено устройство, которое схематично представлено на рис. 1, позволяющее имитировать температурную вспышку на фрикционном контакте сопряжения и фиксировать во времени распространение теплового потока от ее воздействия.

Устройство состоит из узла I, имитирующего фрикционную пару трения и контакт на ней, рукоятки зажима 1 с винтовой передачей, с помощью которых осуществляется прижим образцов, тензорезистора 2, регистрирующего уровень прижима, корпуса зажимного устройства 3 и основания 4.

Сигнал с термопар требовал усиления и записи на ЭВМ. Самые быстродействующие модули ввода-вывода сигналов термопар с интерфейсом RS-485 имели быстродействие на уровне 300 мс, а минимальное время прохождения тока через нагреватель составляло 100 мс, поэтому требовалось создать усилитель с подходящими параметрами.

За основу усилителей 1 и 2 (рис.1) была взята микросхема операционного усилителя (ОУ) Analog Devices Inc. с нулевым дрейфом нуля и эффективным шумоподавлением. ОУ обладает достаточным быстродействием для наших условий.

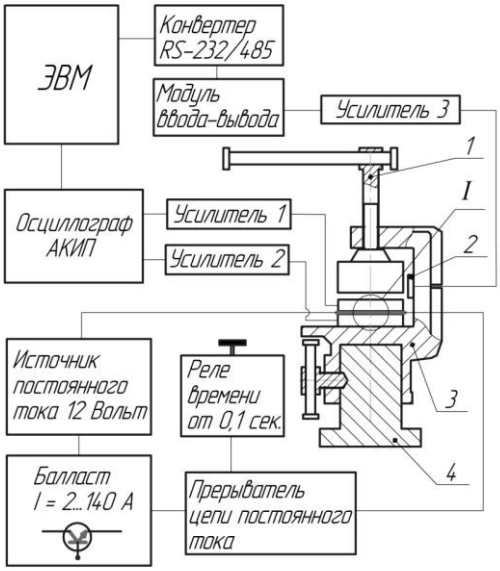


Рис. 1 – Блок-схема измерительно-регулирующей аппаратуры и устройство для исследования экранирующего эффекта: I – имитационный узел; 1 – рукоятка зажима с винтовой передачей; 2 – тензорезистор; 3 – корпус зажимного устройства; 4 – основание

С целью снижения помех применили в качестве источников питания для каждого отдельного усилителя малогабаритные аккумуляторные батареи (АКБ) напряжением 12 В.

Для записи массива данных, регистрируемых термопарами был применен USB-осциллограф АКИП™ и ЭВМ. По этим осциллограммам для каждой термопары архивировались значения и строились графики.

Для оценки усилия зажима образцов применяли тензорезистор 2 (рис.1) типа КФ5 сопротивлением 400 Ом и длиной базы 10 мм. Усиление сигнала от тензорезистора производилось инструментальным прецизионным усилителем с регулировкой нижней величины выходного сигнала, а также коэффициента усиления в пределах 50-1000 раз. Первоначально для записи усилия использовался один из свободных каналов осциллографа АКИП™, но для разгрузки осциллографа от наводок на собственные измерительные каналы был применен вместо него для записи модуль ввода-вывода компании ОВЕН в режиме измерения постоянного напряжения. Модуль собирал сигнал от усилителя тензорезистора и передавал его через конвертер RS-232/485 на ПК, где система SCADA подхватывала значения переменных, и по ним строились графики усилия сжатия, а данные архивировались. Питание осуществлялось также от малогабаритного АКБ с регулируемым положительным стабилизатором напряжения.

Схема подачи и регулирования импульса тока на нагреватель выбиралась по принципу минимального вклада помех в измерительную часть, поэтому после предварительных опытов выбор пал на постоянный ток от аккумуляторной батареи. Система состоит из стартерного АКБ емкостью 60 А/ч, балласта, прерывателя, реле времени (таймера).

Балласт для регулирования тока в нагревателе состоит из 4 мощных биполярных транзисторов типа КТ8143Ф с максимальным током перехода эмиттер-коллектор 80 А, соединенных параллельно, системы управления для этих силовых транзисторов в виде дополнительных биполярных транзисторов серии КТ829, и рукоятки выбора величины тока.

Прерыватель сделан из нескольких полевых транзисторов типа IRF2804 для снижения сопротивления цепи на максимальный ток 280 А. Выбор такой конструкции связан с отсутствием коммутационных помех (в случае использования магнитного пускателя появляются помехи от дребезга контактов).

Реле времени (таймер ТМ-2) модернизировано для запуска полевых транзисторов, питание осуществлялось также от отдельного АКБ. Время срабатывания задавалось в пределах от 0,1 сек. до 3 сек. с шагом в 0,1 сек.

Узел I (рис. 1), имитирующий фрикционный контакт, собранный в виде пакета деталей, представлен на рис. 2. Он состоит из верхнего и нижнего образцов 1, пластинок слюды 3, необходимых для изоляции горячих спаев термопар от их соприкосновении с нагревателем или, при использовании стальных образцов, для защиты от замыкания нагревателя. Горячие спаи термопар 4 выполнены из стали, регулировочная пластинка (прокладка) 5 из слюды для регулировки толщины масляной пленки 2, нагревательный элемент 6 в виде пластины из нержавеющей стали толщиной в 60 мкм.

Для повышения быстродействия термопар, т.е. уменьшения их инерционности, были изготовлены спаи типа медь-константан, у которых диаметр каждой жилы составлял 0,1 мм с контролем диаметра спая-шарика (0,55 … 0,56 мм) после сварки. Данные термопары монтировались с помощью термостойкой эпоксидной смолы с наполнителем для придания твердости. Затем, горячие спаи 4 (рис.2) этих термопар в виде шариков зашлифовывались на одном уровне с поверхностью материала образца. Термопары имели одинаковое сопротивление с точностью до 1 %. Нагреватель 6 выполнен из нержавеющей стали толщиной 60 мкм и заужен в области III для локализации выделяемой мощности в зоне присутствия термопар.

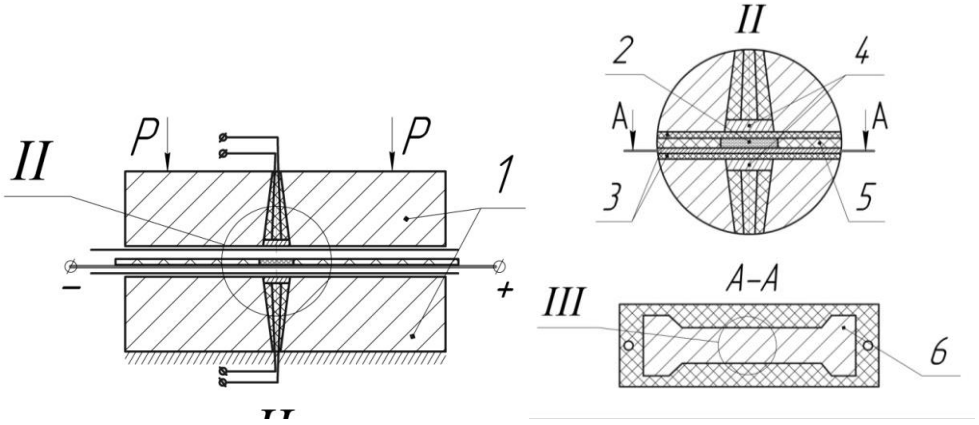


Рис. 2 – Узел устройства, имитирующий фрикционную пару и температурную вспышку на ней: II – область возникновения температурной вспышки; III – область распространения температуры; 1 – верхний и нижний образцы; 2 – масляная пленка; 3 – пластинки слюды; 4 – горячие спаи термопар; 5 – регулировочная пластинка; 6 – нагревательный элемент

Ток, протекающий через нагреватель 6, меняется от 2 А до максимально необходимого в зависимости от сопротивления нагревателя. К примеру, если нагреватель имеет сопротивление 0,06 Ом и на нём падает 6 В, то максимальный возможный ток без учета потерь равен 100 А. При этом максимальная температура нагревателя достигает около 300 … 350 ˚С за 100 мс с учетом переходных процессов.

Выбор величины сопротивления нагревателя зависит от его теплопроводности и максимально необходимой температуры (мощности нагрева).

Возможность оценки усилия прижатия обеспечивает воспроизводимость опытов по нагрузке. Толщина масляной пленки 2 соответствует толщине принятой регулировочной пластины 5.

Принцип создания теплового импульса и его считывание.

Опыты проводятся следующим образом: на нижний образец 1 (рис.2) устанавливается нагреватель 6 и закрепляется винтами от скольжения или смещения в процессе сборки. На нагреватель, в обозначенной на рис. 2 области III, наносится тонкий слой масла. На верхний образец прикрепляется пластинка 5 нужной толщины с отверстием по центру, которое имеет такой же размер, как и нагревательный элемент. В это отверстие добавляется масло, а затем, образцы по меткам, нанесенным на них, совмещаются и прижимаются рукояткой зажима с винтовой передачей 1 (рис. 1) до определенных показаний тензорезистора. После этого в режим записи включается вся регистрирующая аппаратура, производится выставление нужного тока рукояткой на балласте и нажимается кнопка «Пуск» на таймере реле времени. Как только истечёт запрограммированное время, снимается управляющий сигнал открытия полевых транзисторов в прерывателе, и они запираются, тем самым выключая ток через нагреватель. Погрешность отсчета времени находится в пределах 1 %.

Для задания необходимой толщины масляной пленки был применен набор пластинок из слюды разных толщин от 5 мкм до 50-70 мкм, причем в пластинке делалось отверстие небольшим диаметром для помещения масла. Достоинством данной конструкции является то, что при любом усилии, прикладываемом на образцы, толщина масляной пленки в отверстии пластинки не изменяется.

Экспериментальные значения собирались посредством фиксации показаний на осциллографе и обрабатывались по отдельности для каждой термопары, при этом фиксировались величины их пиков в мВ, т.е. собирался массив данных по показаниям каждой термопары.

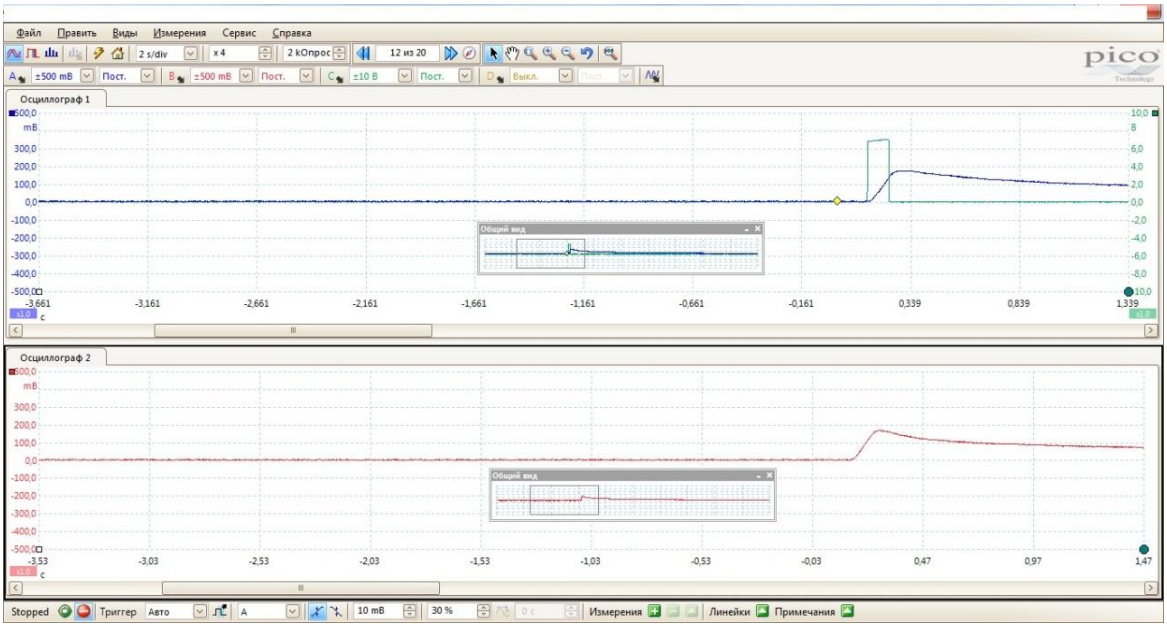


Рис. 3 – Интерфейс программы с показаниями термопар
от верхнего и нижнего образцов

Проводилась серия опытов с различными толщинами масляной пленки и токами.

Запись производилась от каждой конкретной термопары в отдельный файл. Сравнение осуществлялось по собственным показаниям каждой термопары. Например, в одном опыте нижняя термопара показала максимальное напряжение 154 мВ, а верхняя – 130 мВ, разница показаний при этом составила 18 %. В следующем опыте с увеличенной интенсивностью теплоподвода, показания термопар составили 196 и 152 мВ соответственно, а их разница – 29 %.

Тестовые испытания предложенной конструкции для исследования экранирующего действия тонких масляных пленок показали, что устройство отличается высокой информативностью и точностью показаний с погрешностью воспроизводимых измерений, не превышающей 1,0…1,5 %. В результате серии опытов также было отмечено, что для дальнейших исследований экранирующего эффекта целесообразным является понижение интервала времени действия импульса до 0,05 с., которое может быть достигнуто применением специальной микросхемы для реле времени.

УДК 62-251

МЕХАТРОННЫЕ ПОДШИПНИКИ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Л.А. Савин, Д.В. Шутин, А.С. Фетисов
ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»
г. Орел, Россия

Практически во всех триботехнических системах используются роторные машины и агрегаты. Сфера их применения обширна: от двигателя автомобиля до газотурбинных

двигателей и паровых турбин электростанций. Применение той или иной конструкции опоры роторной машины зависит от степени ответственности и загруженности агрегата. Развитие науки и технологии обусловливает постоянное ужесточение предъявляемых к техническим системам и их отдельным элементам требований. К ним можно отнести такие комплексные показатели, как надежность, энергоэффективность, долговечность, безопасность и т.д. Для роторных машин и агрегатов соответствие указанным требованиям во многом определяется характеристиками применяемых опорных узлов. Нередко роторные машины работают в сложных условиях, связанных с нестационарными нагрузками, непостоянством и негативным воздействием внешней среды и т.д. В таких условиях одним из основных критериев применимости роторных машин является надёжность, представляющая собой комплексный показатель и включающая долговечность, износостойкость, виброустойчивость. Последний критерий при этом является для роторных систем особенно важным и во многом определяет другие показатели надёжности. В процессе работы ротор по тем или иным причинам может иметь значительный дисбаланс, приводящий к возникновению колебаний в роторной системе и, как следствие, к значительному повышению нагрузки на опорные элементы – гидростатические подшипники, вызывая их повышенный износ, а в отдельных случаях – преждевременное разрушение. Для замены подшипников необходим демонтаж ротора и, как следствие, приостановка производства, что является весьма негативным с экономической точки зрения. Интегрирование электрических, механических, электромагнитных, информационных устройств в системы контроля и управления роторными машинами может привести к радикальному изменению технических характеристик и надежности. Анализ литературы по интеллектуальным машинным технологиям свидетельствует об отсутствии единства в рассмотрении частей и функций машин.

В настоящее время более рационально использовать интегральный подход к роторной машине как к мехатронному изделию [1,2]. Отсюда следует возможность и необходимость создания мехатронных и интеллектуальных устройств на основе триботехнических машин и агрегатов (рис. 1).

В общем случае мехатронная система использует три составляющие: 1) механическая составляющая включает совокупность триботехнических узлов машин, элементы и материалы трибосопряжений; 2) электронная составляющая включает совокупность сенсоров, преобразователей, микроконтроллеров, микропроцессорной и вычислительной техники, актуаторов; 3) интеллектуальная составляющая включает совокупность математических моделей, алгоритмов и программ реализации способностей обучения, адаптации, совершения акта принятия решений (рис. 2) [3].

Рис. 1 – Сфера применения трибомехатронных устройств

Автоматическая диагностика работы агрегата представляет собой наиболее изученную категорию интеллектуальных машинных технологий. Это связано, прежде всего, с необходимостью выявления причин отказов двигателей, начиная с момента пуска. Использование современных сенсорных устройств, в том числе беспроводных, информационных систем позволяет автоматизировать процесс снятия, обработки информации и выработки управляющих решений по корректировке параметров в течение всего цикла работы машин.

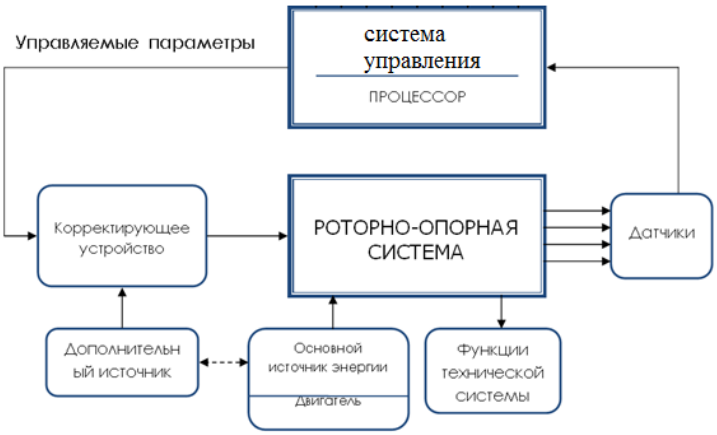


Рис. 2 – Принципиальная схема трибомехатронного устройства

В настоящее время существует три принципиально различных вида подвеса роторов: подшипники качения, опоры жидкостного трения и электромагнитные опоры. Каждому виду опорных узлов свойственны свои преимущества и недостатки, относительно которых определяется возможность их применения для различных условий работы. Механизм выхода из строя опорных узлов заключается в превышении действующих нагрузок и/или скоростей сверх допустимых, что приводит к повышенному износу рабочих поверхностей и последующему неустранимому функциональному отказу. Любой процесс, приводящий можно контролировать с помощью первичных преобразователей той или иной физической величины. Введение сенсорных элементов в конструкцию опорного узла превращает его в чисто мехатронную систему, состоящую из механической части (деталей подшипника), электрической (сенсоры, микроконтроллеры управления) и программной (программное обеспечения по управлению сигнальной системой). Соответственно можно выделить следующие виды мехатронных опор:

1. Подшипники качения с интегрированными датчиками. Многие Мехатронные подшипниковые узлы, такие как Active Sensor Bearing (ASB), Sensor Line Encoder компании SNR Group (рисунок 3), содержат интегрированные датчики, позволяющие контролировать такие параметры как угловое положение, скорость, направление вращения, количество оборотов, температуру. Они обладают компактностью и высокой надежностью работы в сложных окружающих условиях, сейчас вызывают большой интерес в различных сферах промышленности.

2. Активный магнитный подшипник (АМП) – это управляемое мехатронное устройство, в котором стабилизация положения ротора осуществляется силами магнитного притяжения, действующими на ротор со стороны электромагнитов, ток в которых регулируется системой автоматического управления по сигналам датчиков перемещений ротора.

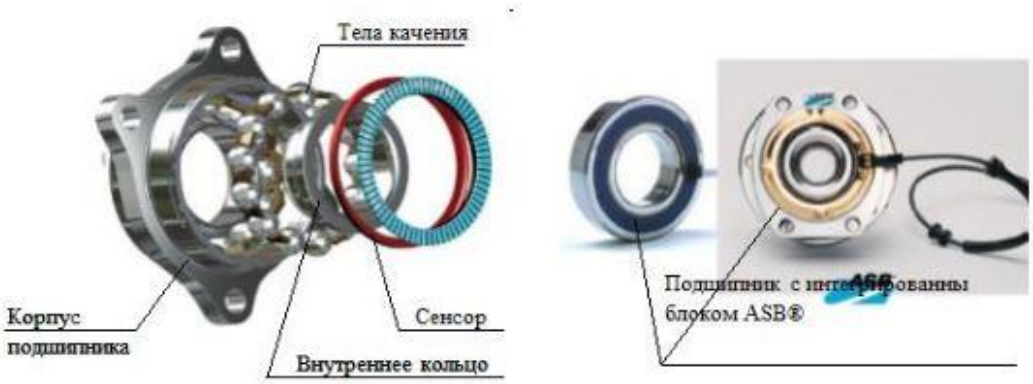


Рис. 3 – Мехатронный подшипник качения.

3. Адаптивный гидростатодинамический подшипник (рисунок 4) – роторная опора, работоспособность которой обеспечивается за счет регулирования давления подачи смазочного материала в питающие камеры и формирования гидродинамического клина из-за наличия достаточно больших свободных опорных поверхностей и высокой скорости вращения ротора.

Давление подачи смазочного материала регулируется схемой управления, в зависимости от величины конфузорно-диффузионного зазора, положения ротора, скорости вращения ротора. Смазочный слой ГСДП обладает достаточными упругими и демпфирующими свойствами и обеспечивает требуемую несущую способность в течение длительного промежутка времени в широком диапазоне скоростей вращения ротора.

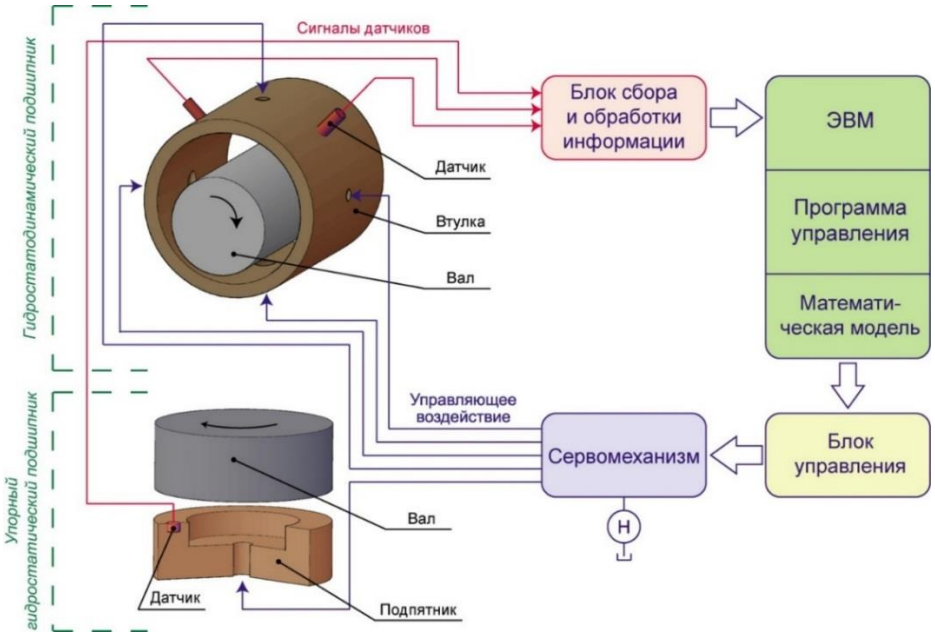


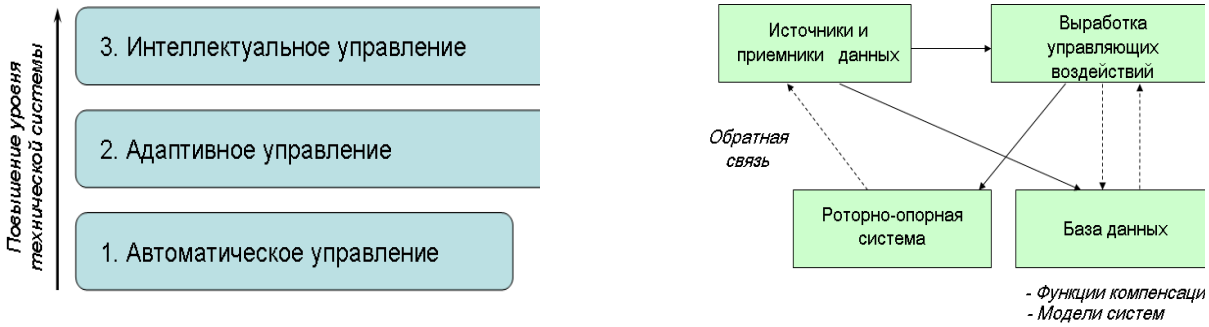
Рис. 4 – Адаптивный гидростатодинамический подшипник.

Разнообразие возможных форм и методов активного управления в опорах роторов обусловливает целесообразность их классификации. На рисунке 5а представлена схема, отражающая иерархию уровней управления применительно к активным опорам роторов, выделенных по принципу комплексного усложнения, информатизации и интеллектуализации соответствующих систем.

Далее рассмотрим основные отличительные особенности, а также конкретные технические решения и приемы, характерные для отдельных уровней управления в опорных узлах роторных систем.

1. Автоматическое управление. Для данного уровня наиболее характерными являются системы управления традиционной структуры как с обратной связью, так и без нее. Выработка управляющих воздействий, вносящих изменения в режимы работы роторной системы, осуществляется по заранее определенным зависимостям на основании данных, получаемых с сенсорных элементов (рис. 5б).

Система управления может быть построена как на основе специфических элементов, интегрированных в конструкцию опор (например, подвижные элементы в гидростатических опорах, осуществляющие дросселирование питающих каналов), так и представлена внешней информационной системой. В последнем случае наиболее значимыми разработками на сегодняшний день можно считать активные магнитные подшипники (АМП), которые нашли широкое применение в роторных машинах, главным образом – в турбокомпрессорной технике. В АМП были заложены многие базовые принципы управления движением роторов и реализованы соответствующие системы управления, однако такое управление возможно осуществлять также на основе физических принципов, отличных от взаимодействия электромагнитных полей – например, с использованием переменного давления подачи смазочного материала в гидростатодинамических опорах, либо за счет коррекции зазора между цапфой и опорной поверхностью, осуществляемой механическим перемещением актуаторами элементов конструкции подшипника.



а б

Рис. 5 – Организация автоматического управления в роторно-опорных узлах

В активных опорах с автоматическим управлением наиболее часто применяются алгоритмы ПИ, ПИД-регулирования и т.п., вместе с тем высокие требования к точности и надежности процесса управления нередко диктуют необходимость использования ряда других приемов. Примером могут служить алгоритмы, реализующие методы упреждающей компенсации возмущений, коррекции формы входного сигнала в активных упорных гидростатодинамических опорах [4]. В таком случае система управления должна иметь в составе специальные базы данных, содержащие необходимые математические модели, вспомогательные функции компенсации и т.д. К числу специальных методов управления в активных гидростатодинамических опорах относится также разработанный коллективом авторов алгоритм плавного приближенного регулирования для радиальных опор, позволяющий компенсировать обусловленное инерционными свойствами отдельных элементов системы управления отставание по фазе, наличие которого делает невозможным своевременное реагирование на возмущения в роторной системе [5].

2. Адаптивное управление. На данном уровне представлены системы, которым свойственна адаптация к изменяющимся условиям функционирования. Для активных роторно-опорных узлов можно выделить два основных направления адаптации – функциональную и структурную. Функциональная адаптация подразумевает изменение параметров функционирования опорного узла без изменения структуры системы в целом. Примером может служить применение различных алгоритмов управления (в частности, алгоритмов ПИД-регулирования и плавного приближенного регулирования) для разрабатываемых коллективом авторов активных гидростатодинамических опор, в составе

одной системы, и переходы между ними в зависимости от текущих условий работы. Структурная адаптация подразумевает управляемое изменение структуры системы, позволяющее учитывать изменяющиеся внешние факторы и обеспечивать наилучшее ее функционирование. Применительно к роторно-опорным узлам такая схема адаптации реализуется в комбинированных опорах с активным переключением, сочетающих в себе подшипники качения и скольжения, что позволяет обойти недостатки каждого из них и обеспечить оптимальную работу роторной системы в широком диапазоне условий (частот вращения).

3. Интеллектуальное управление. Построение систем управления активных мехатронных опор роторов на базе современных программных и аппаратных средств делает возможным внедрение интеллектуальных технологий, которые позволяют значительно расширить границы применимости таких опор. На настоящий момент интеллектуальные технологии еще не находят широкого применения при разработке роторно-опорных узлов как в инженерной практике, так и в научных исследованиях, однако их использование в данной области является весьма перспективным.

Наиболее выгодным направлением применения интеллектуальных технологий при создании мехатронных опор роторов с активным управлением является функция обеспечения виброустойчивости роторной системы. Коллективом авторов доклада на базе значительного опыта исследования динамики роторных систем была разработана концепция интеллектуальной системы компенсации нежелательных колебаний различных типов. Суть ее состоит в поэтапном решении задачи нахождения оптимальных алгоритмов активного контроля вибраций в мехатроной опоре. На первом этапе происходит анализ графических образов траекторий движения их отождествление с элементами базы данных типовых видов колебаний с последующим принятием первичного решения о выборе необходимого алгоритма компенсации. На втором этапе происходит анализ эффективности выбранного алгоритма и, в случае необходимости, его коррекция с использованием самообучающихся структур в составе системе управления. Для решения указанных задач применимыми являются методы нечеткой логики, нейронных сетей и прочие методы, которые нередко относятся к методам искусственного интеллекта.

УДК 534.014

ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ

Д.В. Шехов, В.П. Шехов.
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»
г. Ростов-на-Дону, Россия

Трением называется такое механическое движение твердого тела относительно другого, которое происходит при постоянном контакте между ними [1-3].

Ограничимся рассмотрением случая, когда контакт между трущимися телами происходит в одной точке, называемой далее *пятном контакта*.

Обозначим цифрой 1 движущееся тело, а цифрой 2 – неподвижное тело, которое далее будем называть опорой (рис. 1). K – пятно контакта. n – общая нормаль к поверхностям соприкасающихся тел, проведенная из точки K.

Верчение – вид движения, когда перемещение пятна контакта K по поверхностям обоих тел не происходит. В этом случае тело может (рис. 1) вращаться ω вокруг общей нормали n к поверхности трущихся тел в обе стороны.

Если вектор угловой скорости тела 1 направлен в сторону этого тела, верчение будем называть верхним (рис. 1). В противном случае – нижним.

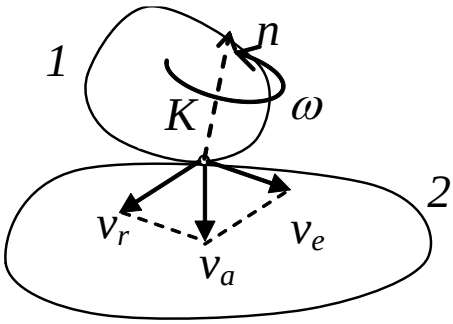


Рис. 1. - Скорость пятна контакта *K*

При других видах движения механическое взаимодействие между трущимися телами зависит от трех процессов: перемещения пятна контакта по поверхностям соприкасающихся тел, истирания поверхности тела и истирания поверхности опоры. Сочетание этих процессов зависит от скорости точки движущегося тела, совпадающей с пятном контакта.

В общем случае пятно контакта *K* может перемещаться по поверхностям обоих трущихся тел. Рассмотрим движение пятна контакта *K* как сложное. Перемещение по опоре (неподвижному телу 2) будет абсолютным, по телу 1 – относительным, вместе с телом 1 – переносным (рис. 1).

При сложном движении абсолютная скорость пятна контакта (v_a – скорость по опоре) равна векторной сумме относительной скорости пятна контакта (v_r – скорость по телу) и переносной скорости пятна контакта v_e, то есть скорости той точки тела 1, с которой в данный момент совпадает пятно контакта:

$$\bar{v}_a = \bar{v}_r + \bar{v}_e$$

Именно скорость v_e той точки тела 1, с которой совпадает пятно контакта *K* при трении тела 1 по опоре 2, определяет вид движения при трении. Эту скорость далее будем обозначать: $v_K = v_e$. Скорость перемещения пятна контакта по поверхности тела будем обозначать: $v_1 = v_r$, а по поверхности опоры: $v_2 = v_a$.

Итак, скорость той точки тела 1, с которой в данный момент совпадает пятно контакта, выражается через скорости перемещения пятна контакта по поверхностям соприкасающихся тел следующим выражением:

$$\bar{v}_K = \bar{v}_2 - \bar{v}_1$$

Помимо верчения выделим три особых вида движения при трении.

Качение. В этом случае перемещение пятна контакта *K* происходит по поверхностям обоих тел с одинаковой скоростью ($v_1 = v_2$) в одинаковом направлении. Скорость той точки тела 1, с которой совпадает пятно контакта, равна нулю: $\bar{v}_K = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = 0$.

Качение тела может происходить или с верхним, или нижним верчением, или без верчения.

При качении без проскальзывания механическое взаимодействие между трущимися телами происходит при преобладании процесса перемещения пятна контакта по поверхностям соприкасающихся тел (с минимальным истиранием поверхностей трущихся тел). Качение представляет собой вращение тела вокруг бинормали к траектории пятна контакта.

Буксование. В этом случае перемещение пятна контакта *K* происходит только по поверхности тела. Скорость точки тела 1, с которой совпадает пятно контакта, равна

скорости скольжения по поверхности тела и направлена в противоположную сторону: $\bar{v}_K = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = -\bar{v}_1$.

Буксование тела может происходить или с верхним, или нижним верчением, или без верчения.

При буксовании механическое взаимодействие между трущимися телами происходит при преобладании процесса истирания поверхности тела. Буксование представляет собой вращение тела вокруг оси, параллельной бинормали к траектории пятна контакта и проходящей через центр кривизны поверхности тела.

Юз. В этом случае перемещение пятна контакта *K* происходит только по поверхности опоры. Скорость точки тела 1, с которой совпадает пятно контакта, равна скорости скольжения по поверхности опоры: $\bar{v}_K = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = \bar{v}_2$.

Юз тела может происходить или с верхним, или нижним верчением, или без верчения.

При юзе механическое взаимодействие между трущимися телами происходит при преобладании процесса истирания поверхности опоры. Юз представляет собой вращение тела вокруг оси, параллельной бинормали к траектории пятна контакта и проходящей через центр кривизны поверхности опоры.

Определим (рис. 2) три смешанных вида движения при трении, когда все вектора скорости (рис. 1) направлены по одной прямой.

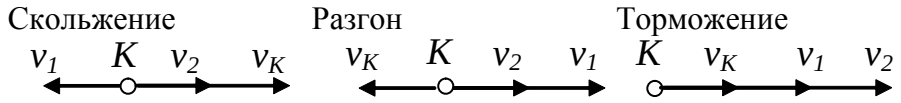


Рис. 2. - Смешанные виды движения при трении

Скольжение – вид движения, когда скорости v_1 и v_2 направлены противоположно. При скольжении механическое взаимодействие между трущимися телами происходит при преобладании процессов истирания поверхности тела и опоры (буксование и юз). Такой вид движения используется в обрабатывающей промышленности: точильные, фрезерные и другие станки.

Скольжение тела может происходить или с верхним, или нижним верчением, или без верчения.

Разгон – вид движения, когда скорости v_1 и v_2 направлены в одну сторону и $v_1 > v_2$. При разгоне механическое взаимодействие между трущимися телами происходит при преобладании процессов перемещения пятна контакта и истирания поверхности тела (качение и буксования).Такой вид движения при трении возникает при разгоне (торопливом).

Разгон тела может происходить или с верхним, или нижним верчением, или без верчения.

Торможение – вид движения, когда скорости v_1 и v_2 направлены в одну сторону и $v_2 > v_1$. При торможении механическое взаимодействие между трущимися телами происходит при преобладании процессов перемещения пятна контакта и истирания поверхности опоры (качение и юз). Такой вид движения при трении возникает при торможении (экстренном).

Торможение тела может происходить или с верхним, или нижним верчением, или без верчения.

Когда все вектора скорости (рис. 1) имеют произвольное направление для того чтобы построить вектор v_K, надо соединить конец вектора v_1 с концом вектора v_2.

Любой возможный вид движения при трении можно выразить через введенные ранее особые и смешанные виды движения. Для этого нужно разложить вектора v_1 и v_2 на составляющие параллельные ($v^{/}_{12}$) и перпендикулярные ($v^{//}_{12}$) вектору v_K (рис. 3–7).

Разница перпендикулярных вектору v_K составляющих ($v^{//}_{12}$) будет всегда равна нулю, так как они равны, что соответствует качению тела без проскальзывания.

Параллельные вектору v_K составляющие (v'_{12}) векторов v_1 и v_2 будут располагаться по прямой линии, что соответствует одному из особых или смешанных (рис. 2) видов. Какой вид движения будет происходить, зависит от значения углов α_1 и α_2 между векторами v_1 и v_2 и вектором v_K (рис. 3–7).

Когда оба угла острые, возможны 6 видов движения при трении, а именно: скольжение тела по опоре с правым или левым (рис. 3) качением и с верчением в обе стороны или с отсутствием оного.

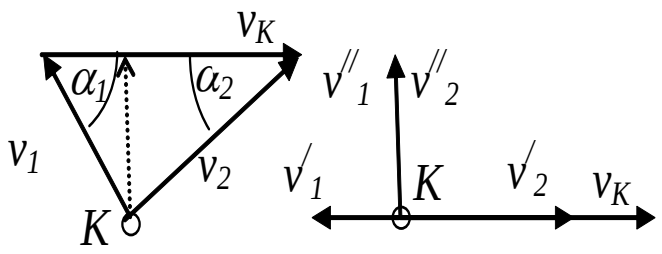


Рис. 3. - Скольжение с левым качением

Когда угол α_2 тупой, возможны 6 видов движения при трении, а именно: разгон тела по опоре с правым (рис. 4) или левым качением и с верчением в обе стороны или с отсутствием оного.

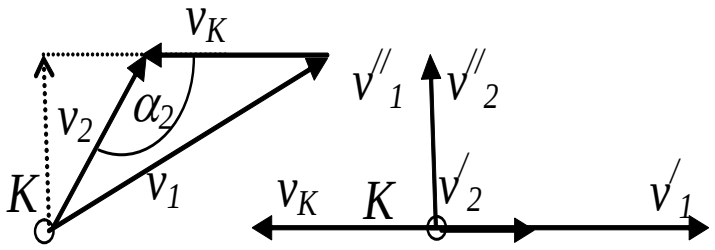


Рис. 4. - Разгон с правым качением

Когда угол α_1 тупой, возможны 6 видов движения при трении, а именно: торможение тела по опоре с правым или левым (рис. 5) качением и с верчением в обе стороны или с отсутствием оного.

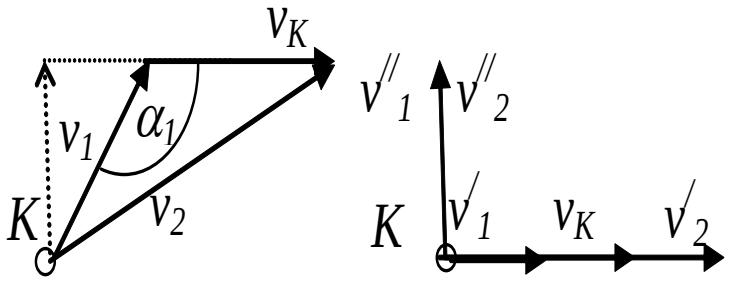


Рис. 5. - Торможение с левым качением

Когда угол α_2 прямой, возможны 6 видов движения при трении, а именно: буксование тела по опоре с правым (рис. 6) или левым качением и с верчением в обе стороны или с отсутствием оного.

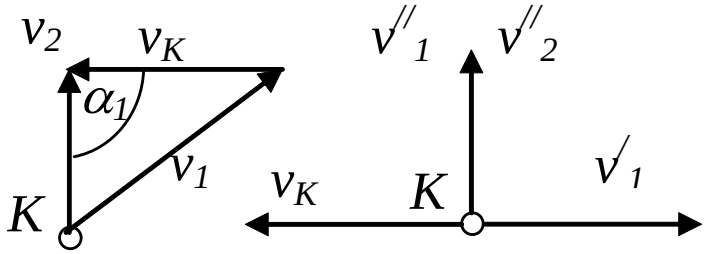


Рис. 6. - Буксование с правым качением

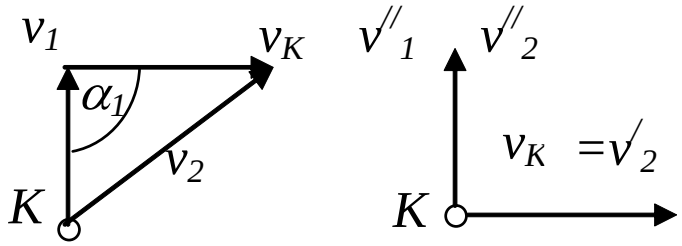


Рис. 7. - Юз с левым качением

Когда угол α_1 прямой, возможны 6 видов движения при трении, а именно: юз тела по опоре с правым или левым (рис. 7) качением и с верчением в обе стороны или с отсутствием оного.

Итак, при трении возможны 50 видов движения: 2 – верчение в обе стороны, 3×3=9 – особые виды движения с верчением и без, 3×3=9 – смешанные виды движения с верчением и без, 5×6=30 – остальные виды движения.

Наверное, поэтому так трудно играть в бильярд.

УДК 534.014

О ПРИРОДЕ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ-ТРЕНИЯ

Д.В. Шехов, В.П. Шехов.
ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия

По определению [1-2] силой является количественная мера механического взаимодействия между материальными телами.

Основную часть сил тяжести, действующих на все тела, составляет сила гравитационного взаимодействия с планетой Земля. Почти все остальные силы, встречающиеся в задачах теоретической и технической механики, имеют электромагнитную природу. Механическое взаимодействие, определяемое этими силами, происходит при контакте материальных тел.

В твердом, жидком и газообразном агрегатном состоянии материальных тел положительный заряд ядер их атомов компенсируется отрицательным зарядом оболочек атомов [3-4]. Поэтому даже при незначительном удалении между материальными телами электромагнитное взаимодействие отсутствует.

Контактом называется такое сближение материальных тел, при котором между частицами этих тел происходит электромагнитное взаимодействие. А именно: отталкивание

одинаково заряженных электронных оболочек атомов различных тел или притягивание ядрами атомов одного из соприкасающихся тел оболочки атомов другого.

Примерами сил, возникающих из-за электромагнитного взаимодействия между материальными телами, являются:

1) выталкивающие силы, действующие на материальные тела, помещенные в газообразные или жидкие среды;

2) силы сопротивления, действующие на материальные тела, движущиеся в газообразных или жидких средах;

3) силы упругости и сцепления, действующие между твердыми материальными телами, находящимися в контакте;

4) силы трения, действующие между твердыми материальными телами, движущимися относительно друг друга при постоянном контакте.

В мире, в котором мы живём, действие всех перечисленных сил обеспечиваеться наличием силы тяжести. Если бы не было сил тяжести, не существовало бы атмосферы и тем более жидких сред, а, значит, и сил сопротивления и выталкивания. Силы упругости, сцепления и трения проявлялись бы только при ударе. А относительное равеовесие было бы весьма редким событием.

На поверхности нашей планеты привычна картина, когда, силы сопротивления среды (ветер) срывают листья с веток деревьев. Порывы ветра разгоняют и тормозят их движение, но никогда не останавливают до конца. Сила тяжести заставляет листья падать на землю. Силы трения остарнавливают их движение. Силы упругости и сцепления травинок и упавших веток удерживают их на поверхности земли, а выталкивающие силы – на поверхности воды (луж).

Если бы сила тяжести была больше, как на Юпитере или Сатурне, то проявлялись бы из-за большой плотности жидких и газообразных сред в основном выталкивающие силы и силы сопротивления (тайфуны и цунами). Наблюдалась бы картина, как в глубинах океана, где практически нет относительного покоя.

Если бы сила тяжести была ещё больше, как на Солнце, то электромагнитное взаимодействие происходило бы совсем по другим законам, исключающим понятия и механического движения, и механического взаимодействия.

Если бы сила тяжести была меньше, как на Луне или Меркурии, то из-за отсутствия атмосферы выталкивающих сил и сил сопротивления не наблюдалось бы и движение не тормозилось. Силы упругости, сцепления и трения обепечивали бы постоянное равновесие упавших на поверхность тел.

Если бы сила тяжести была ещё меньше, как на астероидах, то силы упругости, сцепления и трения проявлялись бы только при редких соударениях.

Для определения величины сил (всех кроме сил тяжести), действующих на нашей планете и имеющих электромагнитную природу, можно сформулировать общую аксиому ЭМВ (электромагнитного взаимодействия).

АКСИОМА ЭМВ

Величина сил, возникающих при контакте материальных тел, имеющих электромагнитную природу, пропорциональна количеству частиц соприкасающихся тел, вовлеченных в электромагнитное взаимодействие между ними.

Отметим, по крайней мере, две причины, создающие сложности использования этой аксиомы на практике. Как подсчитать число взаимодействующих частиц? Что понимать под словом «частицы»: атомы, молекулы, пузырьки, капли или кристаллы?

Развитие науки показало, что эти проблемы можно обойти тогда, когда удается отыскать некоторый параметр, пропорциональный числу взаимодействующих частиц и легко определяемый на практике. Подобными примерами являются следующие законы и формулы.

ЗАКОН АРХИМЕДА

На тело, погруженное в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной этим телом жидкости (или газа).

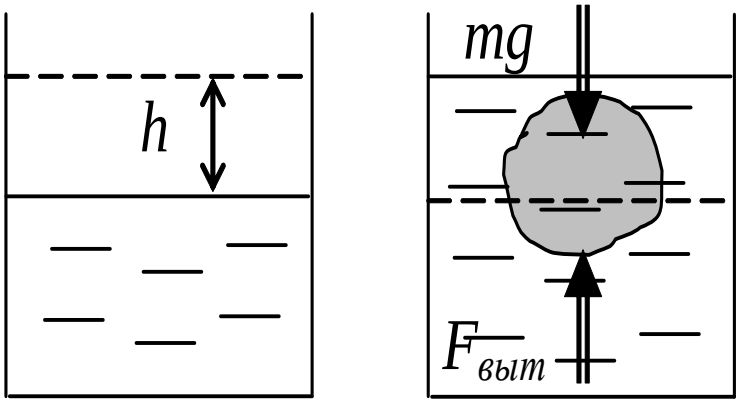


Рис. 1. - Определение выталкивающей силы

Полагая известным γ – удельный вес жидкости и определив V – объём её вытесненной части: $V = h\ S$ (S – площадь сечения сосуда), можно вычислить выталкивающую силу $F_{выт}$ (рис. 1) и из уравнений равновесия (законов Ньютона) силу тяжести тела, погруженного в него:

$$F_{выт} = \gamma V = m\ g$$

ФОРМУЛА СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В задачах аэро и гидромеханики считается, что *сила сопротивления среды пропорциональна скорости* движущегося в этой среде *объекта*:

$$R_{сопр} = \mu\, v$$

ЗАКОН ГУКА

Сила упругости, возникающая в теле при его деформации, пропорциональна величине этой деформации.

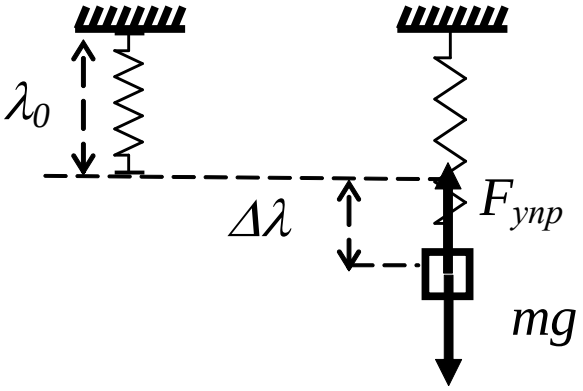


Рис. 2. - Определение силы упругости

Деформация упругой пружины пропорциональна её удлинению $\Delta\lambda$.

Зная силу тяжести подвешенного к пружине тела, из уравнений равновесия (законов Ньютона) можно определить жесткость пружины c, а затем и силу упругости пружины при любом её удлинении (рис. 2):

$$m\,g = c\,\Delta\lambda = F_{упр}$$

Когда силы упругости не удается определить из законов Архимеда и Гука, используются *законы Ньютона*.

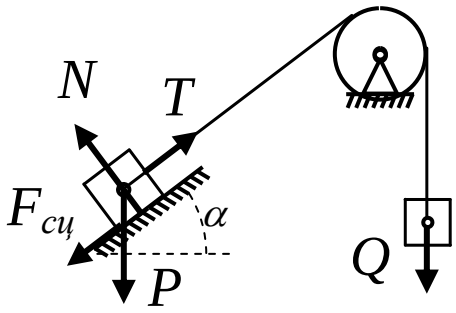


Рис. 3. - Определение реактивных сил

Так определяются реактивные силы: гибкие, упругие, опорные, шарнирные и другие (рис. 3):

$$T = Q,\ N = P\cos\alpha,\ F_{сц} = T - P\sin\alpha$$

Предельные значения упругих сил, определяемых законами Ньютона, ограничены аксиомой затвердевания, то есть условиями, при которых деформацией можно пренебрегать.

Исключением являются силы сцепления. Их предельные значениями называются силами трения и определяются законами Амонтона.

ЗАКОНЫ АМОНТОНА

Сила трения при относительном перемещении поверхностей тел, находящихся в контакте, *пропорциональна контактному давлению* между телами и *не зависит от площади соприкосновения*.

$$F_{тр} = f\,N$$

Величина силы сцепления не может превышать величины силы трения.

Это означает, что на рис 3 равновесие возможно, если

$$P\,(\sin\alpha - f\cos\alpha) \le Q \le P\,(\sin\alpha + f\cos\alpha)$$

Итак, приведенные здесь законы определяют различные силы, возникающие при электромагнитном взаимодействии тел, находящихся в контакте.

Аксиома ЭМВ справедлива в каждом из рассмотренных примеров.

В законе Архимеда число взаимодействующих частиц пропорционально объему вытесненной телом жидкости (или газа).

В формуле силы сопротивления среды число взаимодействующих частиц пропорционально скорости движущегося в этой среде объекта, так как чем выше скорость,

тем большее количество частиц среды одновременно участвуют в электромагнитном взаимодействии (не успевают разлететься).

В законе Гука число взаимодействующих частиц пропорционально удлинению пружины.

В законе Амонтона число взаимодействующих частиц пропорционально номинальной площади поверхности тел, находящихся в контакте. Сама номинальная площадь (сумма тех участков, где происходит электромагнитное взаимодействие) пропорциональна контактному давлению, то есть силе, обеспечивающей контакт между телами, и не зависит от «геометрической» площади соприкасающихся тел.

Сравним величины и ограничения сил, действующих на нашей планете и имеющих электромагнитную природу.

Величина сил сцепления (по крайней мере их механической составляющей) ограничена величиной сил трения.

Величина сил трения обычно меньше величин сил упругости, в частности контактного давления.

Величина сил упругости ограничена аксиомой затвердевания, возможностью пренебрегать деформацией тел.

Величина выталкивающих сил ограничена погружаемым объемом тел, да и глубиной самих водоемов.

Величина сил сопротивление ограничена космическими скоростями. Эти силы могут достигать наибольших значений. Достаточно вспомнить механическое воздействие ураганов, тайфунов и цунами.

УДК 629.42

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА СИСТЕМЫ «КОЛЕСО – РЕЛЬС»

П.Н. Щербак[1], Э.Э.Фейзов[2], В.Б. Мищиненко[1]
[1]*ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2]*Северо-Кавказская дирекция тяги – СП Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД», г. Ростов-на-Дону, Россия*

Наиболее эффективным методом повышения эффективности фрикционной системы колесо – рельс, увеличения ресурса, снижения потерь тяговой энергии является технология лубрикации (смазывания) рабочих поверхностей гребня или колеса. Контакт гребней колес с боковой поверхностью головки рельса относится к открытым узлам трения. При выборе технологии, технологического оборудования и расходных материалов для лубрикации контакта колеса с рельсом необходимо учитывать специфику и условия эксплуатации данного фрикционного узла, определяющие соответствующие ресурсные характеристики.

В основе реализации максимально эффективной технологии лубрикации лежат научно-обоснованные оптимальные варианты смазочного материала и способа его нанесения на поверхности трения. Все находящиеся в эксплуатации бортовые системы лубрикации можно разделить на два типа – форсуночные и стержневые.

В открытых узлах трения отсутствуют условия формирования масляного клина, что резко снижает эффект при использовании жидких, а также консистентных смазочных материалов. В утвержденном Старшим вице-президентом ОАО РЖД В.А. Гапановичем протоколе совещания в Департаменте технической политики №388-ЦТех от 15 июня 2011 года указывается, что бортовые гребнесмазыватели стержневого типа имеют определяющие преимущества по сравнению с бортовыми гребнесмазывателями форсуночного типа:

1. Устанавливаются на каждую колесную пару, при этом подача смазочного материала на гребень колеса четко ориентирована и их работа в эксплуатации не зависит от действий локомотивной бригады.

2. Обладают простой конструкцией, обеспечивающей их надежную эксплуатацию, при этом для проведения работ по их техническому обслуживанию и ремонту не требуется специализированного технологического оборудования и заправочных установок.

3. Работоспособность стержневых гребнесмазывателей не зависит от скорости движения локомотива, направления и силы ветра, температуры окружающего воздуха.

4. Смазочные материалы, применяемые в стержневых гребнесмазывателях не загрязняют головку рельса и экипаж локомотива.

5. Имеют более низкую стоимость для оборудования одного локомотива и позволяют в 2 - 4 раза снизить расходы на лубрикацию, имея при этом высокие экологические показатели.

Опыт зарубежного применения стержневых лубрикаторов, например, в Пражском метро показал, что стержневые гребнесмазыватели, кроме отмеченных, уменьшают риск схода колесной пары при низких скоростях движения, не загрязняют, не влияет на тягу и торможение, обеспечивают точную дозированную подачу нужного количества смазочного материала необходимого качества в контакт гребня колеса с рельсом.

В настоящее время ведущие зарубежные и отечественные фирмы ведут активные работы по созданию высокоресурсных, твердых смазочных материалов, устойчиво воспринимающие интенсивные динамические нагрузки и обладающими стабильными трибохарактеристиками в широком температурном диапазоне (от +50 до –50°С). Специалистами РГУПСа разработан твердый смазочный материал ПАМ (плакирующий антифрикционный материал), который по комплексному показателю цена-ресурс соответствует лучшим отечественным и зарубежным аналогам твердых смазочных материалов. Разработана технология контактно-ротапринтного стержневого гребнерельсосмазывания «ГРС-РАПС», отвечающая требованиям оптимальной схемы лубрикации. Согласно технологии смазочный материал контактно-ротапринтным способом наносится на гребень колеса с последующим активным переносом на боковые грани головки рельсов. В данном случае лубрикация системы «колесо-рельс» может проводиться любым типом подвижного состава при любых скоростных режимах.

В основе технологии «ГРС-РАПС» лежат два базовых принципа:

- создание технических средств лубрикации контакта «колесо-рельс» не имеющих эксплуатационных ограничений по типу базового подвижного состава, скорости движения при нанесении смазочного материала, пределов температурного диапазона и пр.;

- обеспечение на протяжении всего жизненного цикла взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути оптимальных трибологических характеристик в системе «колесо-рельс» путем формирования в зоне фрикционного контакта «колесо-рельс» многофазного смазочного слоя, устойчивого к внешними воздействиям в широком диапазоне эксплуатационных факторов.

Для реализации способа лубрикации ГРС-РАПС разработаны три технологические схемы: гребнесмазывание ГС, гребнерельсосмазывание ГРС, гребнерельсосмазывание посредством автоматизированных устройств АГРС.

Гребнесмазывание ГС предусматривает нанесение ограниченного объема СМ, необходимого для защиты гребней колес. Схема гребнерельсосмазывания ГРС посредством маневровых тепловозов, локомотивов или МВПС, работающих на участках с короткими плечами оборота, предназначена для рельсосмазывания при расходе смазочного материала РАПС до 100 г на 1 км пути. Схема АГРС базируется на автоматизированных гребнерельсосмазывателях с управляемым процессом дозирования смазочного материала и бункером повышенной емкости.

Примером эффективного применения систем ГРС является локомотивное депо Туапсе Северо-Кавказской ж.д., где по распоряжению вице-президента ОАО РЖД Гапановича В.А. проводились сравнительные испытания технических средств лубрикации.

За 8 месяцев 2006 г. средняя удельная интенсивность износа гребней бандажей колесных пар локомотивов серии ВЛ10 оснащенных ГРС составила 0,3мм/10000км. Количество обточек гребней колесных пар на 54% меньше, чем за аналогичный период 2005г. Ресурс бандажей колесных пар увеличился в 2,4 раза и составил 402 тыс. км, за 8 месяцев 2005г. – 167 тыс. км. Количество обточек на млн. км пробега на 53,2% меньше, чем за аналогичный период 2005г, средний пробег между обточками составил 47150 км, что на 44,8% больше, чем за аналогичный период 2005 г (26031км).

В 1,5-2,0 раза снизилась интенсивность изнашивания гребней колесных пар электровозов ВЛ80, оснащенных системами ГРС20.05 (или ГРС20.07) на Северо-Кавказской, Восточно-Сибирской, Дальне-Восточной, Горьковской железных дорогах, при увеличении ресурса колесных пар до 15%, с учетом работы на участках эксплуатации передвижных рельсосмазывателей. Одним из преимуществ систем ГРС20.07 кассетного типа заключается в обеспечении работы в режиме смазывания после разовой заправки смазочными стержнями РАПС-Нанотех до 20 тыс.км пробега.

Примером эффективности систем ГРС40.05 является локомотивные депо С-Петербург Сортировочная Октябрьской ж.д., Минеральные Воды Северо-Кавказской ж.д., Поворино и Ртищево Юго-Восточной ж.д.

Наряду с предприятиями ОАО «РЖД» системы ГРС внедрены и показали положительный результат на ряде предприятий промышленного транспорта ОАО «Газпром» (Оренбургский и Сургутский филиалы), ОАО Минудобрения (г. Россошь), где интенсивность износа гребней колесных пар маневровых локомотивов снизилась в 1,5 - 2 раза.

При планомерном контроле технического состояния систем ГРС, поддержании работоспособности навесного оборудования и его своевременной заправки обеспечивается снижение интенсивности износа гребней колес до 10 раз, т.е. на уровне 0,2 мм/10^4 км пробега локомотива и соответственно увеличение ресурса колесных пар и рельсов, а также сокращения расходов топливно - энергетических ресурсов.

Разработана система для устранения термомеханических дефектов (односторонних «ползунов») поверхностей катания колес вагонов, при осуществлении «башмачного» торможения. Получен патент на изобретение. Настоящее изобретение относится к железнодорожному транспорту и может быть использовано при ручном торможении отцепов на сортировочных горках. Технический результат достигается тем, что система противоползунная состоит из рельса 1, на котором расположено подбашмаченное колесо, и разгружающей балки 2, которая контактирует с накладкой 3 по плоскости, имеющей угол наклона +α относительно горизонтальной плоскости (линии горизонта) через упругодемпфирующую связь 4, и опирается через упругий элемент (виброопору) 5 на шпалу 6 (рис. 1).

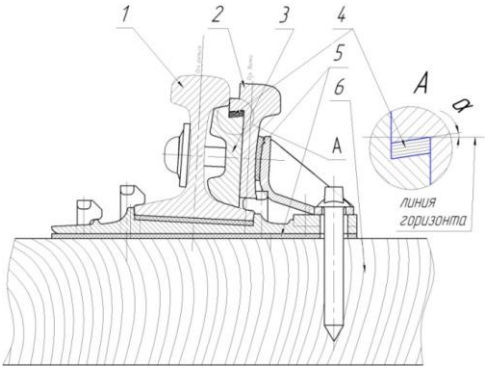


Рис. 1 - Противоползунная система (схема)

Эффект самоуплотнения системы реализуется за счет контактирования разгружающей балки 2 с накладкой 3 по плоскости, имеющей угол наклона +α относительно горизонтальной плоскости (линии горизонта), и обеспечивает надежность противоползунной системы и ее долговечность. Наличие упругодемпфирующей связи 4 и упругих элементов (виброопор) 5 обеспечивает двухкоординатное демпфирование и, следовательно, исключает негативное воздействие разгружающей балки 2 на гребни колес (рис. 2).

Рис. 2 - Противоползунная система (общий вид)

Комплексные всесезонные эксплуатационные испытания подтвердили высокую эффективность разработанных и усовершенствованных методов увеличения ресурса колесных пар подвижного состава.

На основе накопленного опыта эксплуатации систем лубрикации ГРС-РАПС, а также противоползунных систем ППС учеными ФГБОУ ВО РГУПС и специалистами Северо-Кавказской железной дороги разработан комплекс мероприятий по увеличению ресурса системы «колесо – рельс». В основу данных мероприятий положены цели: обеспечить практику проведение обточки бандажей колесных пар тягового подвижного состава по прокату, исключив обточку по «тонкому» гребню и остроконечному накату и исключить образование односторонних ползунов на немеханизированных горках. Для достижения первой цели необходимо обеспечить оптимальную интенсивность износа гребней бандажей колесных пар в пределах 0,1-0,2 мм/10 тыс. км пробега, для второй – внедрение и использование эффективных противоползунных систем. Комплекс мероприятий по увеличению ресурса системы «колесо – рельс» заключается в:

– применении многофазового высокоэффективного твердосмазочного материала РАПС, предназначенного для работы в открытых, тяжелонагруженных (до 3,5 ГПа) узлах трения, обеспечивающего работоспособность в температурных диапазонах от –50 до +130 ºС, имеющего высокий ресурс разового нанесения, исключающего в рабочей фазе налипание на смазываемую поверхность частиц абразива (песка) и не оказывающего вредного воздействия на окружающую среду;

– использовании для лубрикации контактно-ротапринтного способа нанесения смазочного материала, который позволяет исключить замасливание балласта, наносить смазочный материал на поверхности трения при любых скоростях движения (рабочим органом в технологии лубрикации ГРС-РАПС является гребень колеса подвижного состава);

–защите более нагруженных в эксплуатации гребней бандажей колесных пар тягового подвижного состава, необходимо оснастить весь парк локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава бортовыми системами гребнесмазывания (ГС);

– лубрикации горловин станций и узлов маневровыми локомотивами, оборудованными системами ГРС, а также главных путей за счет применения системы «сквозной» лубрикации на любых плечах оборота (до 5000 км и более);

– применении системы АГРС с программным комплексом и бункером повышенной емкости для обеспечения эффективной работы систем гребнерельсосмазывания между техническими обслуживаниями без дозаправки;

– лубрикации главных путей за счет применения рельсосмазывающих поездов, при этом, для лубрикации электрифицированных участков пути использовать МВПС с автоматизированными гребнерельсосмазывателями (АГРС) с управляемым процессом дозирования смазочного материала и бункером повышенной емкости; для неэлектрофицированных участков пути конструкции АГРС смонтированные как минимум на 2-х вагонах рельсового автобуса или специально разработанного для этих целей рельсосмазывающего поезда на базе 4-х тележечной конструкции из 2-х базовых модулей путевых машин среднего типа;

– повышении эффективности и безопасности движения железнодорожных поездов за счет применения метода идентификации поверхностных температур контакта «колесо – рельс», обеспечивающего динамический мониторинг наличия «третьего тела» в контакте колеса с рельсом и управление процессом его нанесения;

– модифицировании поверхности катания колеса фрикционными модификаторами трения, что позволит гарантировать устойчивое значение коэффициента сцепления колес локомотива с рельсом не менее 0,3 без применения песка, исключить попадание антифрикционного смазочного материала лубрикатора на тяговую поверхность;

– реализации схемы управляемого движения тележек локомотива в кривых за счет автономного управления приводом подачи модификаторов трения;

– оптимизации затрат на техническое обслуживание и ремонт участков пути в кривых радиусом менее 350 м за счет унификации элементов верхнего строения пути;

– применении противоползунной системы ППС для исключения образования «ползунов» на немеханизированных сортировочных горках.

УДК 621.833.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПИРОИДНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ САМОТОРМОЖЕНИЯ

В.Н.Анферов, А.В.Кузьмин
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия

Спироидная передача по принципу действия относится к передачам червячного типа, но имеет перед червячной передачей некоторые существенные преимущества, объясняющиеся фундаментальными отличиями геометрии и кинематики спироидного зацепления [1]. Эти преимущества определяют перспективность использования спироидной передачи в механизмах машин как более прогрессивного аналога червячной передачи. На практике это отражается в расширяющемся применении спироидных передач в механизмах машин всех отраслей промышленности, где распространены червячные передачи.

Спироидная передача (как и большинство передач червячного типа) относится к классу *самотормозящих* механизмов, которые можно привести в движение только со стороны входного звена (червяка), но попытка привести механизм в движение со стороны выходного звена (колеса) вызывает затормаживание. Возможность самоторможения является важнейшим свойством спироидной передачи, влияние которого на свойства механизма в целом следует оценивать и учитывать на самых первых этапах проектирования. В настоящей

статье рассмотрены вопросы геометрического, математического и физического моделирования спироидного зацепления, проведенного с целью оценки самоторможения спироидной передачи.

Характерной особенностью спироидной передачи является несимметричность профиля витка червяка в осевом сечении (см. рис. 1). Рабочая сторона витка червяка называется *правой*, а обратная сторона – *левой* [2]. Делительный осевой угол профиля витка спироидного червяка с правой стороны обозначается α_{xR} и обычно принимается равным 8°; такой же угол с левой стороны обозначается α_{xL} и обычно находится в диапазоне 28°…32° [3].

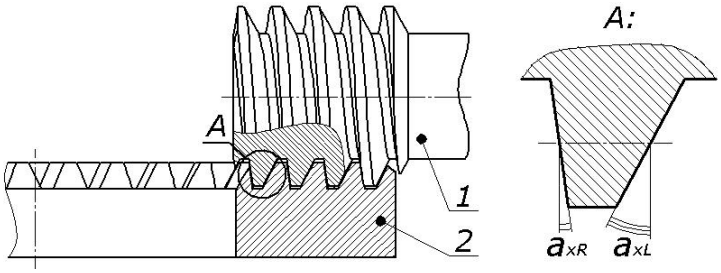


Рис. 1 – Профиль витка спироидного червяка в осевом сечении:
1 – червяк; 2 – колесо спироидное.

Для анализа самоторможения спироидной передачи определим зависимость её работоспособности от делительного угла подъема витка червяка γ в тяговом режиме обратного хода. Оценку работоспособности проведем при помощи параметра, находящегося в основе свойства самоторможения, – коэффициента полезного действия η'_c. Для этого необходимо выяснить математическую функциональную зависимость КПД η'_c спироидной передачи от угла γ.

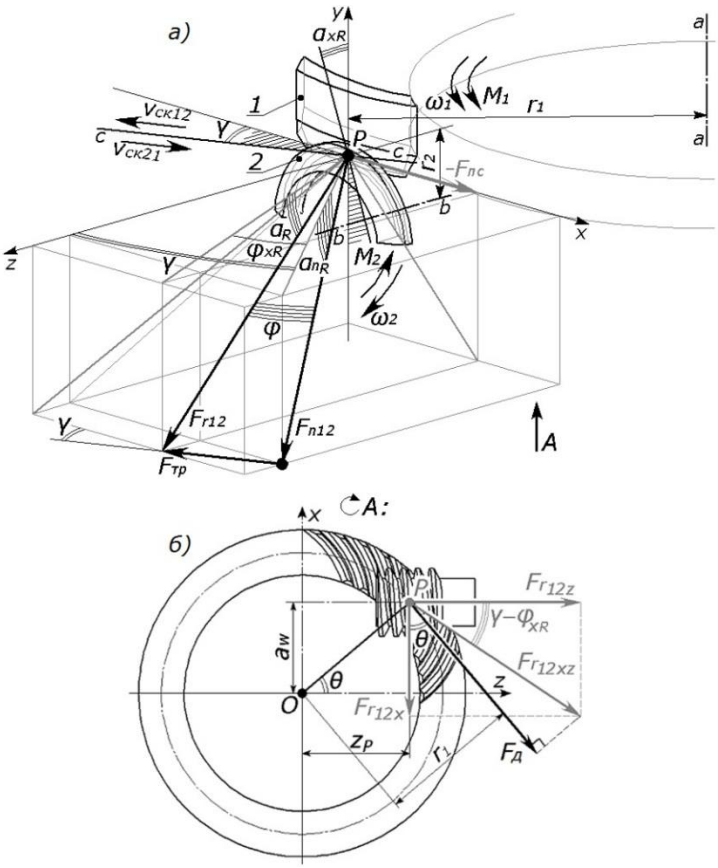


Рис. 2 – Геометрическая модель спироидного зацепления в тяговом режиме обратного хода: а) общий вид: 1 – зуб спироидного колеса; 2 – виток червяка; б) проекционный вид А.

Геометрическая силовая модель спироидного зацепления в тяговом режиме обратного хода (рис. 2) содержит вектора следующих сил: F_{n12} – нормальная сила реакции со стороны зуба колеса на виток червяка; $F_{тр}$ – сила трения между контактирующими поверхностями; F_{r12} – полная сила реакции; $F_{д}$ – движущая сила в зацеплении, являющаяся проекцией реакции F_{r12} на плоскость колеса xPz; F_{nc} – сила полезного сопротивления в зацеплении, являющаяся проекцией силы F_{r12} на плоскость червяка xPz.

Для определения КПД η'_c спироидной передачи справедлива формула:

$$\eta'_c = \frac{|A_{nc}|}{A_{д}} = \frac{M_{nc}\delta_2}{M_{д}\delta_1}, \tag{1}$$

где $A_{пс}$ – мгновенная работа по преодолению момента полезных сопротивлений M_{nc}; $A_{д}$ – мгновенная работа, производимая движущим моментом $M_{д}$; δ_2 и δ_1 – мгновенные углы поворота спироидных червяка и колеса соответственно.

Вращающий момент M_{nc} создается в зацеплении проекцией F_{nc} вектора F_{r12}; из модели на рис. 2 момент M_{nc} равен:

$$M_{nc} = F_{r12}\cos\alpha_R \sin(\gamma - \varphi_{xR})\frac{d_2}{2}, \tag{2}$$

где d_2 – делительный диаметр червяка.

Вращающий момент $M_{д}$ определим как сумму моментов, создаваемых относительно центра вращения колеса O проекциями F_{r12x} и F_{r12z} вектора F_{r12}:

$$M_{д} = [\cos(\gamma - \varphi_{xR})\sin\theta + \sin(\gamma - \varphi_{xR})\cos\theta]F_{r12}\cos\alpha_R\frac{d_1}{2}, \tag{3}$$

где d_1 – средний диаметр спироидного колеса.

После подстановки в формулу (1) равенств (2) и (3) получим:

$$\eta'_c = \frac{\sin(\gamma - \varphi_{xR})d_2\delta_2}{[\cos(\gamma - \varphi_{xR})\sin\theta + \sin(\gamma - \varphi_{xR})\cos\theta]d_1\delta_1}. \tag{4}$$

Отношение $d_2\delta_2/ d_1\delta_1$ здесь равно:

$$\frac{d_2\delta_2}{d_1\delta_1} = \frac{u_c q}{z_2} = \frac{1}{tg\gamma}, \tag{5}$$

где u_c – передаточное число спироидной передачи; q – коэффициент диаметра червяка; z_2 – число витков червяка.

Подставим зависимость (5) в формулу (4):

$$\eta'_c = \frac{\sin(\gamma - \varphi_{xR})}{[\cos(\gamma - \varphi_{xR})\sin\theta + \sin(\gamma - \varphi_{xR})\cos\theta]tg\gamma} = \frac{tg(\gamma - \varphi_{xR})}{tg\gamma[tg(\gamma - \varphi_{xR})\cos\theta + \sin\theta]}.$$

Т.о., для определения КПД η'_c спироидной передачи в тяговом режиме обратного хода при работе правой стороной витка будем использовать формулу:

$$\eta'_c = \frac{tg(\gamma - \varphi_{xR})}{tg\gamma}\cdot\frac{1}{tg(\gamma - \varphi_{xR})\cos\theta + \sin\theta}. \tag{6}$$

Здесь угол φ_{xR}, который назовем *правым осевым углом трения*, определяется по формуле:

$$\varphi_{xR} = arctg\frac{tg\varphi}{\cos\alpha_{nR}},$$

где α_{nR} – делительный нормальный угол правой стороны профиля витка червяка.

Та же формула (6) будет справедлива для случая работы левой стороной витка червяка при условии замены правого угла φ_{xR} на левый угол φ_{xL}.

Представим функциональную зависимость (6) как произведение двух функций $\eta'_{c1} = \eta'_{c1}(\gamma)$ и $\eta'_{c2} = \eta'_{c2}(\gamma)$:

$$\eta'_c(\gamma) = \eta'_{c1}(\gamma) \cdot \eta'_{c2}(\gamma);$$

$$\eta'_{c1}(\gamma) = \frac{tg(\gamma - \varphi_{xR})}{tg\gamma};$$

$$\eta'_{c2}(\gamma) = \frac{1}{tg(\gamma - \varphi_{xR})\cos\theta + \sin\theta}.$$

Графики функций $\eta'_{c1} = \eta'_{c1}(\gamma)$ и $\eta'_{c2} = \eta'_{c2}(\gamma)$ в собственных системах координат и в едином масштабе показаны на рис. 3.

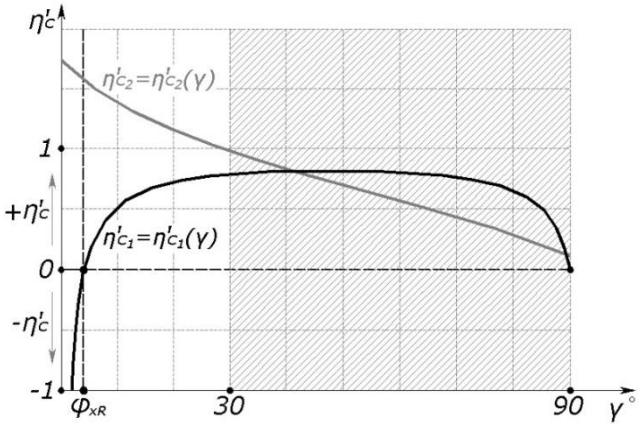


Рис. 3 – Графики функций $\eta'_{c1} = \eta'_{c1}(\gamma)$ и $\eta'_{c2} = \eta'_{c2}(\gamma)$.

Из графика (рис. 3) отметим, что функция $\eta'_{c2} = \eta'_{c2}(\gamma)$ во всем возможном диапазоне γ = (0°…30°) *всегда имеет значение* $\eta'_{c2} > 0$. В то же время, функция $\eta'_{c1} = \eta'_{c1}(\gamma)$ описывает потери в винтовом зацеплении спироидной передачи, и именно её кривая осуществляет переход из области $+\eta'_{c1}$ в область $-\eta'_{c1}$ при $\gamma = \varphi_x$. В результате получим, что, если угол γ находится в диапазоне (0°…φ_{xR}), то КПД η'_c принимает отрицательное значение. Отсюда выведем основное условие самоторможения спироидной передачи:

$$\gamma < \varphi_{x_R}. \tag{7}$$

При выполнении условия (7) передача вращательного движения от спироидного колеса к червяку невозможна, т.к. вектор движущей силы в зацеплении $F_д$ при любом собственном значении окажется *внутри треугольника трения* с катетами-векторами F_{n12} и $F_{тр}^n$ (вектор *потенциальной* максимальной силы трения, возможной в зацеплении при данном значении коэффициента трения), что означает самоторможение спироидной передачи. Геометрическая силовая модель самотормозящего спироидного зацепления показана на рис. 4, где указанный треугольник трения выделен серой штриховкой.

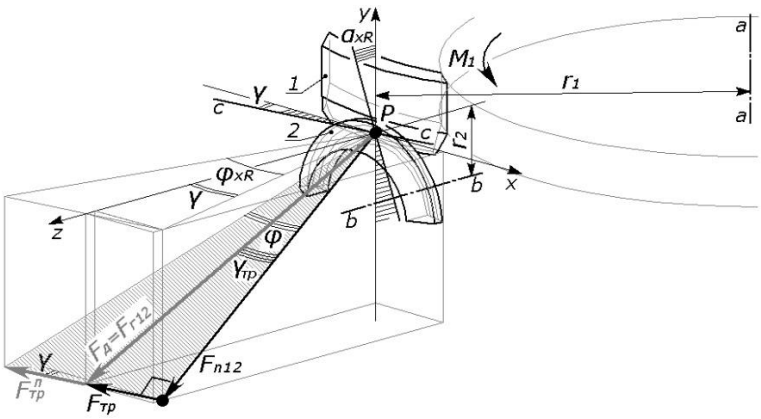


Рис. 4 – Геометрическая модель самотормозящего спироидного зацепления:
1 – зуб спироидного колеса; 2 – виток червяка.

Из геометрической силовой модели (рис. 4) следует, что второе условие самоторможения спироидной передачи имеет вид:

$$F_{mp}^{n} > F_{mp}.$$

При его выполнении самоторможение обеспечивается *с запасом*, величину которого (запаса) можно оценить численно при помощи коэффициента k_c, который назовем *коэффициентом запаса самоторможения*:

$$k_c = \frac{F_{mp}^{n}}{F_{mp}} = \frac{F_{n12} tg\varphi}{F_{n12} tg\gamma_{mp}} = \frac{tg\varphi}{tg\gamma_{mp}}. \quad (8)$$

Угол γ_{mp} для профиля витка спироидного червяка равен:

$$\gamma_{mp} = arctg\left[tg\gamma \cos\left(arstg\left(tg\alpha_x \cos\gamma\right)\right)\right]. \quad (9)$$

Заменим тангенс угла трения φ в числителе формулы (8) на коэффициент трения f, а также подставим в неё значение угла γ_{mp} из формулы (9):

$$k_c = \frac{f}{tg\gamma \cos\left[arstg\left(tg\alpha_x \cos\gamma\right)\right]}. \quad (10)$$

Полученная *формула* (10) *определяет коэффициент* k_c *запаса самоторможения спироидной передачи*, который может быть определен еще на начальной стадии проектирования. В соответствии с определением данного коэффициента:

1) при значении $k_c > 1$ передача проявляет свойство самоторможения *с запасом*;

2) при $k_c = 1$ передача находится на грани самоторможения, и это её свойство может проявиться или скрыться при бесконечно малом увеличении или уменьшении коэффициента трения f соответственно;

3) при значении $k_c < 1$ спироидная передача не является самотормозящей.

Коэффициент k_c может быть определен для правой или для левой стороны профиля витка спироидного червяка; в первом случае в знаменатель дроби (10) следует подставлять угол α_{xR}, а во втором случае – соответствующий угол α_{xL}. Проведенные исследования позволили сформулировать последовательность оценки самоторможения спироидной передачи при помощи коэффициента запаса k_c:

1. Определение значения коэффициента трения скольжения f в спироидном зацеплении для заданного сочетания материалов, качества обработки поверхностей червяка и колеса, контактного напряжения σ в зацеплении и температуры смазочного масла t.

2. Определение значения делительного угла подъема винтовой линии червяка γ:

$$\gamma = arctg\frac{z_1}{q}.$$

3. Определение значения коэффициента k_c запаса самоторможения для правой и левой сторон витка по формуле (10).

4. Вывод об отсутствии или наличии самоторможения спироидной передачи при заданных параметрах на основе сравнения рассчитанного коэффициента k_c с переходным значением, равным единице.

В приведенной последовательности решение первого пункта представляется наиболее неявным и сложным, поскольку для спироидной передачи в широком доступе отсутствуют базы значений коэффициента трения f в зацеплении в зависимости от многих трибологических параметров. Коэффициент трения является важнейшим параметром для самоторможения спироидной передачи (как и любой другой механической передачи), поэтому для его определения проведен комплекс исследований методом физического моделирования на стенде (рис. 5, а), моделирующем фрикционные и трибологические процессы в спироидном зацеплении.

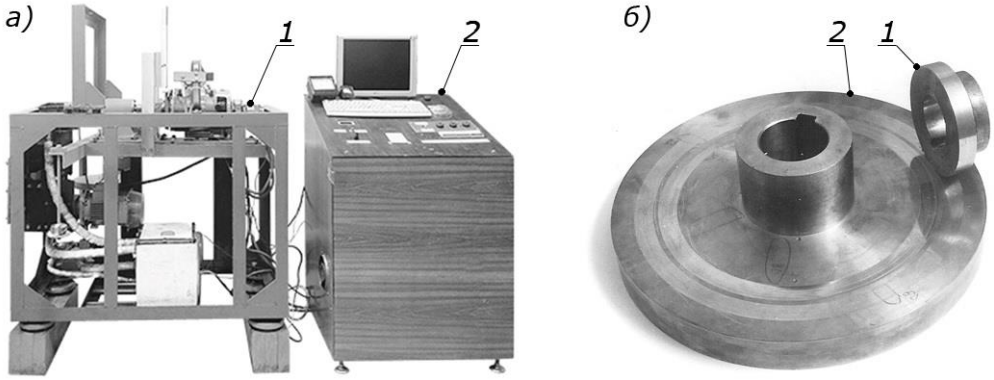


Рис. 5 – Стенд для моделирования спироидного зацепления:
а) общий вид стенда: 1 – модуль контрольно-управляющий; 2 – модуль узла трения;
б) узел трения стенда: 1 – ролик; 2 – диск.

Узел трения стенда (рис. 5, б) выполнен по схеме «ролик – диск с пересекающимися осями». Конструкции стенда и узла трения позволяют менять в широком диапазоне следующие параметры: скорость скольжения в зацеплении, длину контактного отрезка между роликом и диском, удельную нагрузку на единицу длины контактного отрезка, приведенный радиус кривизны в зацеплении, температуру смазочного масла.

В ходе экспериментов непосредственно в область контакта ролика и диска подавалось масло *CAT TDTO SAE30* – трансмиссионное масло для коробок передач и бортовых редукторов строительных машин с переключением под нагрузкой. Серия экспериментов была проведена для ряда рабочих температур t подаваемого масла: от 40 до 100 С° с шагом в 20 С°. Для каждой указанной температуры эксперимент проводился при следующих скоростях скольжения v_s в зацеплении: 0,49; 0,76; 0,94; 1,29; 1,83; 2,54; 3,43 м/с, что соответствует диапазону от 30% до 205% от номинальной скорости для смоделированной передачи. Также для каждой указанной температуры и скорости скольжения эксперимент проводился для различных значений контактного напряжения σ в зацеплении: 200; 280; 336; 384 МПа (что соответствует диапазону 55%...200% от номинального контактного напряжения $\sigma_н$).

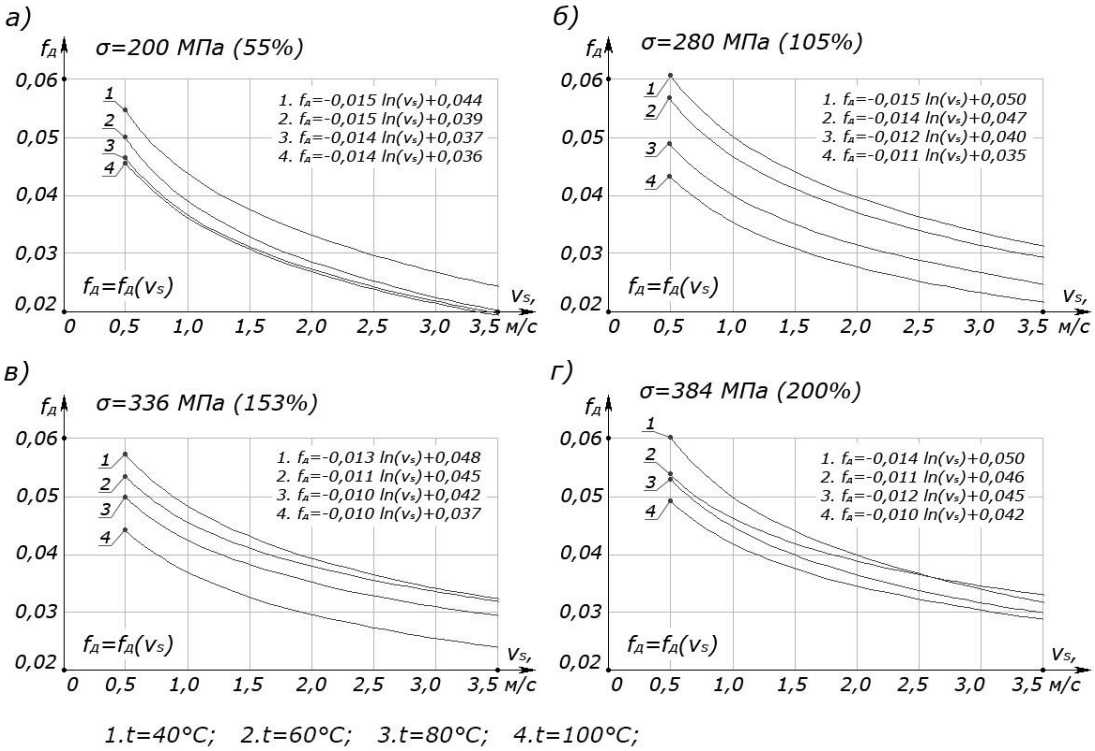


Рис. 6 – Графики зависимостей $f_д$ от v_s для различных сочетаний значений t и σ.

В результате серии проведенных многократных измерений и вычислений получена табличная база значений коэффициента трения в зацеплении смоделированной спироидной передачи. На основе полученных таблиц построены графики зависимости динамического коэффициента трения $f_д$ от скорости скольжения в зацеплении v_s, которые показаны на рис. 6.

При помощи представленных графиков возможно определять коэффициент трения в зацеплении смоделированной спироидной передачи при различных сочетаниях параметров трения для любой скорости скольжения из указанного диапазона v_s. Такой подход к определению коэффициента трения при помощи таблиц или графиков, построенных по экспериментальным данным, представляется достаточно доступным и дающим наиболее адекватные результаты при расчете самоторможения механических передач в проектно-конструкторской деятельности. Относительная погрешность $\varepsilon_{fд}$ косвенных измерений коэффициента трения $f_д$ составила 4%.

Экспериментальные данные значений коэффициента трения, полученные методом физического моделирования передачи, являются необходимым средством и условием получения адекватных результатов при оценке самоторможения спироидных передач.

УДК 621-822-5

РАСЧЁТ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

В.А. Морвинкин, Р.А. Сергиенко
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на- Дону, Россия

Введение. Подшипники скольжения применяются во многих отраслях тех-ники. В данной работе предлагается методика расчёта несущей способности таких подшипников с учётом зависимости вязкости от давления. Методика расчёта базируется на использовании метода конечных элементов. В качестве примера рассмотрен расчёт подшипника скольжения двигателя внутреннего сгорания.

Постановка задачи. В данной работе ограничимся расчётом одного из подшипников ДВС, который представляет собой два вкладыша с питателем, расположенным в нижнем вкладыше на рисунке 1.

Рис. 1. Вкладыш коренного подшипника ДВС с питателем.

При расчёте подшипника будем считать, что движение установившееся, температура смазываемой жидкости постоянна, вязкость зависит от давления по формуле Баруса $\mu=e^{\alpha P}$, где α - пьезокоэффициент вязкости. При данных предположениях основная задача, возникающая при расчёте подшипника сводится к определению поля давлений в смазочном слое. Для определения поля давлений воспользуемся уравнениями Навье-Стокса, которые в цилиндрической системе координат и в пренебрежении силами инерции примут вид:

$$\frac{1}{R}\frac{\partial P}{\partial \varphi}=\mu\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial R^2};\ \frac{\partial P}{\partial R}=0;\ \frac{\partial P}{\partial z}=\mu\frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2}. \qquad (1)$$

При расчёте давления в смазочном слое будем считать, что корпус подшипника неподвижен, а вал вращается с некоторой постоянной угловой скоростью ω, при этом центры вала и подшипника не соосны и сдвинуты на величину е - эксцентриситета подшипника, что и создаёт условие для возникновения несущей способности подшипника. Разность радиусов подшипника и шипа определяет средний зазор – с (рис.2).

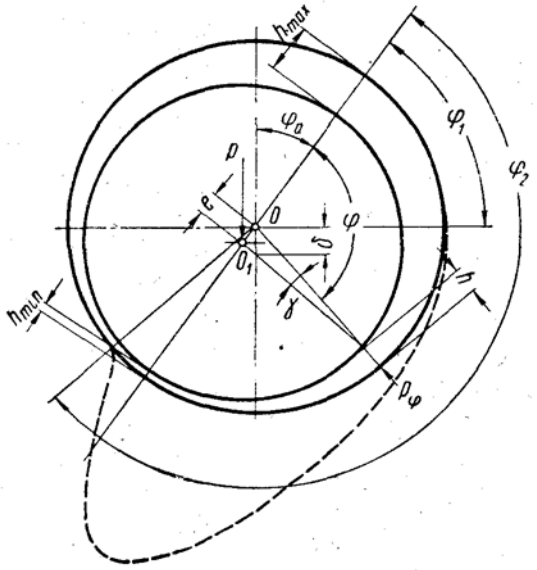


Рис. 2. Схема радиального подшипника скольжения

Полученные уравнения (1) можно упростить с учётом отсутствия радиального движения частиц смазки. Производя в системе уравнений (1) замену переменных:

$$\varphi=\varphi;\ z=z;\ \eta=R-R_0;\ d\eta=dR, \qquad (2)$$

приходим к системе вида:

$$\frac{1}{R_0}\frac{\partial P}{\partial \varphi}=\mu\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial \eta^2};\quad \frac{\partial P}{\partial \eta}=0;\ \frac{\partial P}{\partial z}=\mu\frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \qquad (3)$$

С граничными условиями:

на подшипнике (неподвижная поверхность) при η=0

$$V_\varphi=0;\ V_z=0. \qquad (4)$$

на шипе (подвижная поверхность, вращающаяся с угловой скоростью ω_0.) при η=H;

$$V_\varphi=\omega_0 r_0;\ V_z=0. \qquad (5)$$

Интегрируя первое и третье уравнения системы (3) с учётом граничных условий(4) ,(5), устанавливаем:

$$V_\varphi=\frac{1}{2\mu R_0}\frac{\partial P}{\partial \varphi}(\eta^2-H\eta)+\frac{\omega_0 R_0}{H}\eta\ ; \qquad (6)$$

$$V_z=\frac{1}{2\mu}\frac{\partial P}{\partial z}(\eta^2-H\eta). \qquad (7)$$

Подставляя значения V_φ и V_z ((6),(7)) в уравнение неразрывности, которое для несжимаемой жидкости(ϱ=const) и постоянной вязкости (μ=const), имеет вид

$$\frac{1}{R_0}\frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi}+\frac{\partial V_r}{\partial \eta}+\frac{\partial V_z}{\partial z}=0,$$

получим

$$\frac{1}{R_0}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left[\frac{1}{2\mu R_0}\frac{\partial P^I}{\partial \varphi}(\eta^2-H\eta)+\frac{\omega_0 r_0}{H}\eta\right]+\frac{\partial V_r}{\partial \eta}+\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{2\mu}\frac{\partial P^I}{\partial z}(\eta^2-H\eta)\right]=0. \quad (8)$$

Проинтегрируем уравнение (8) по толщине слоя η:

$$\frac{1}{R_0}\int_0^H \frac{\partial}{\partial \varphi}\left[\frac{1}{2\mu R_0}\frac{\partial P^I}{\partial \varphi}(\eta^2-H\eta)+\frac{\omega_0 r_0}{H}\eta\right]d\eta+\int_0^H \frac{\partial V_r}{\partial \eta}d\eta+$$
$$+\int_0^H \frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{2\mu}\frac{\partial P^I}{\partial z}(\eta^2-H\eta)\right]d\eta=0$$

и учитывая, что

$$\int_0^H \frac{\partial}{\partial q}[f(\varphi,\eta,z)]d\eta=\frac{\partial}{\partial q}\int_0^H f(\varphi,\eta,z)\,d\eta-f(\varphi,H,z)\frac{\partial H}{\partial q},$$

после преобразования получим уравнение Рейнольдса для радиального подшипника скольжения:

$$\frac{1}{R_0^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(H^3\frac{\partial P^I}{\partial \varphi}\right)+\frac{\partial}{\partial z^I}\left(H^3\frac{\partial P^I}{\partial z^I}\right)=6\mu\omega_0\frac{\partial H}{\partial \varphi}. \quad (9)$$

С граничными условиями:

$$P^I\Big|_{z^I=\pm L}=P_{\text{изб}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{изб}}$- избыточное давление масла на торцах.

$$P^I\Big|_{\gamma^I_{\text{питатель}}}=P_s,$$

где P_s- избыточное давление масла на выходе из питателя.

Для удобства дальнейших расчётов перейдём в (9), (10) к безразмерному виду по формулам:

$$R=R_0 r;\ \varphi=\varphi;\ z^I=zR_0;\ \varepsilon=\frac{e}{c};\ P^I=P_s P;\ H=ch. \quad (11)$$

Преобразовывая (9),(10) с помощью формул (11), приходим к уравнению Рейнольдса в безразмерном виде

$$\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(h^3\frac{\partial P}{\partial \varphi}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(h^3\frac{\partial P}{\partial z}\right)=-\frac{6\mu\omega_0 e R_0^2}{c^3 P_s}, \quad (12)$$

с соответствующими граничными условиями

$$P\Big|_{z=\pm\frac{L}{R_0}}=P_{\text{изб}};\ P\Big|_{\gamma_{\text{питат}}}=1. \quad (13)$$

Решая численно уравнение Рейнольдса (12) с граничными условиями (13) методом конечных элементов, в программном комплексе FlexPDE, определяем поле давлений в смазочной области подшипника, варьируя параметры вязкости, геометрии подшипника, перепада давлений и эксцентриситета. При реализации метода конечных элементов представим область смазки подшипника в виде развёрнутого цилиндра, длиной 2L с охватом шипа от φ_1 до φ_2

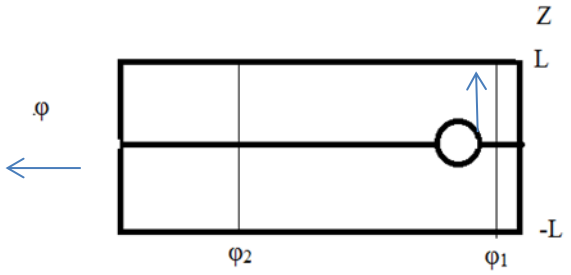


Рис. 3. Схема развёрнутой поверхности подшипника скольжения

Для определения несущей способности (вертикальной составляющей главного вектора сил давления) подшипника Wy, справедлива формула

$$Wy = -R_0^2 P_s \int_{-L}^{L} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (P - P_{изб}) \cos\varphi \, d\varphi \, dy \cos(\varphi_a) -$$

$$-R_0^2 P_s \int_{-L}^{L} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (P - P) \cos\varphi \, d\varphi \, dy \cos(\varphi_a).$$

При этом угол отклонения определим из соотношения:

$$\varphi_a = arctg\left(-\frac{1}{e}\frac{(I_1 - HI_2)}{(J_1 - HJ_2)}\right) \text{ ,где } I_n = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{d\varphi}{h^n}; \quad J_n = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\sin\varphi d\varphi}{h^n}; \; H = \frac{I_1}{I_2}.$$

Анализ несущей способности подшипника удобней производить с помощью безразмерного коэффициента несущей способности:

$$C_w = \frac{Wy}{4LR_0(P_s - P_{изб})}.$$

Анализ результатов. По предложенной методике рассчитан радиальный подшипник скольжения с параметрами: $P_{изб}=0{,}98*10^5$Н/м^2; $P_S=2P_{изб}$; $R_0=3.75*10^2$м; $L=3.75*10^2$м; $\mu_0=0{,}4\frac{Нс}{м^2}$; $\alpha=2{,}5*10^{-8}$; $d_{пит}=1{,}7*10^{-2}$м.

Результаты расчёта представлены на графиках (рис.4 –рис.7) из которых следует, что предложенный в работе метод расчёта позволяет с достаточной степенью точности определить основные характеристики опоры, а также влияние давления на вязкость смазки в зазоре.

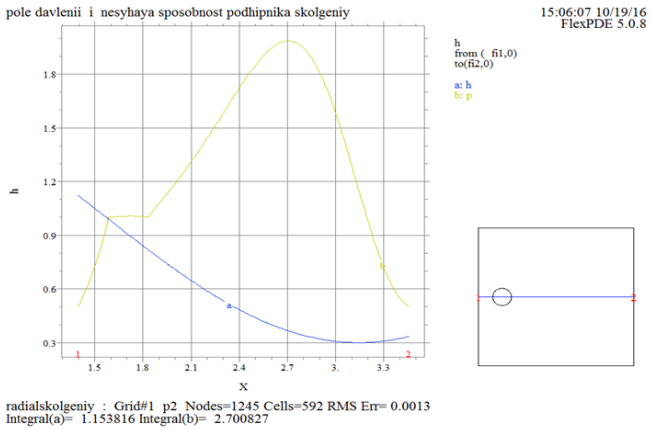


Рис. 4 . Изменение давления P и величины зазора h в области смазки

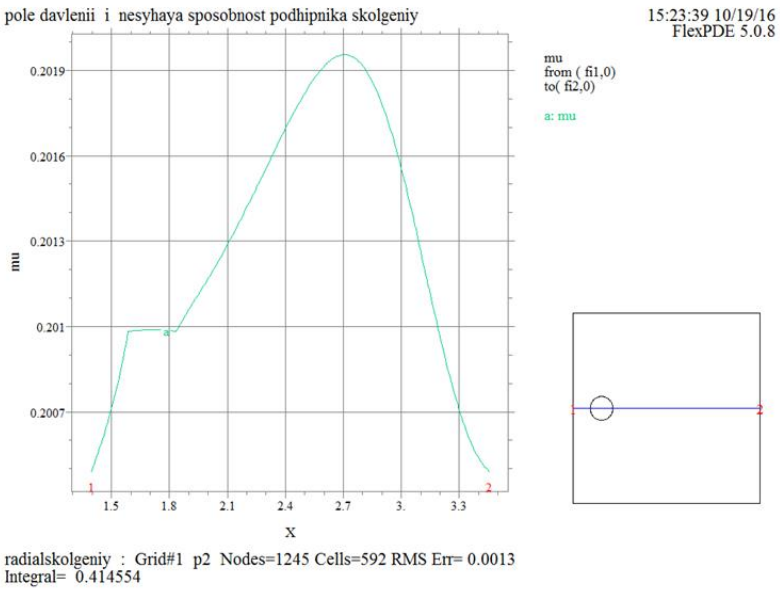


Рис. 5. Изменение вязкости μ в области смазки

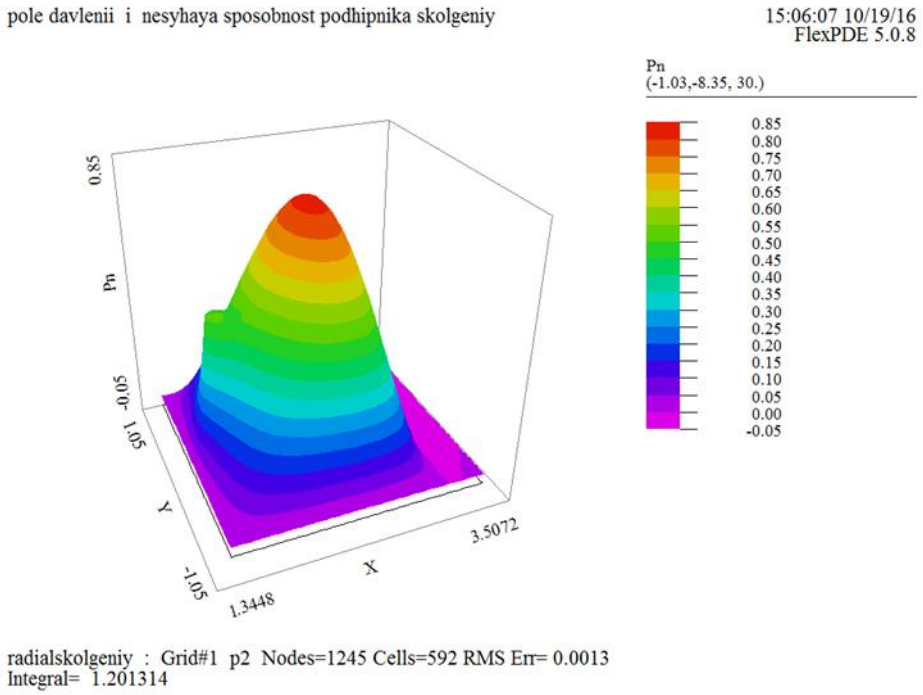


Рис . 6. Распределение давления P в зазоре подшипника

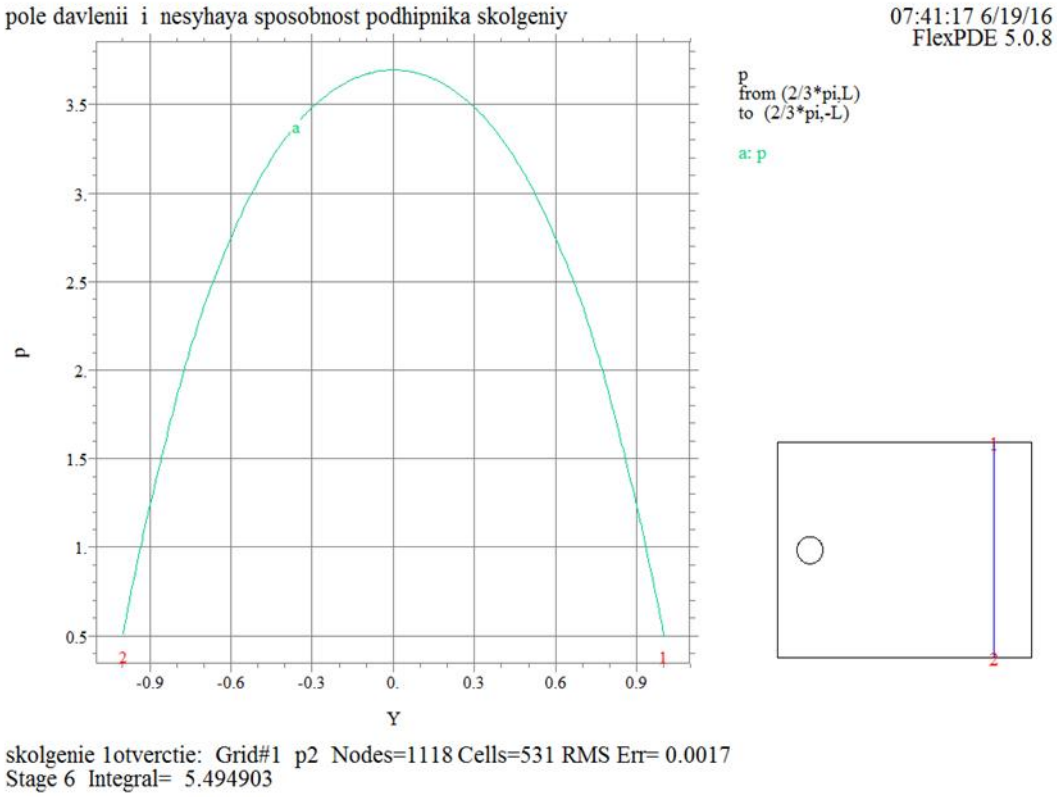


Рис. 7. Изменение давления P по длине подшипника

АННОТАЦИИ

УДК 519.85:681.3+0.6

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛОГИСТИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ РЫНКА В УСЛОВИЯХ ОЛИГОПОЛИИ

Давыдов Юрий Владимирович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Вычислительная техника и АСУ», аспирант,
Телефон: (863) 272-64-56,
E-mail: dav_ui@rgups.ru

Богачев Виктор Алексеевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Высшая математика»,
Кандидат физико-математических наук, доцент,
Телефон: (863) 272-63-30,
E-mail: bogachev-va@yandex.ru

Богачев Тарас Викторович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный экономический университет»,
344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69.
Кафедра «Фундаментальной и прикладной математики»,
Кандидат физико-математических наук, доцент,
Телефон: (863) 261-38-85,
E-mail: bogachev73@yandex.ru

Даглдиян Григорий Дзарукович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Автоматика и телемеханика на ж.-д. Транспорте», аспирант,
Телефон: (863) 272-64-56,
E-mail: dagldiangrigorij070@mail.ru

Результаты анализа экономики России показывают, что олигополия является основной структурой экономики для большинства производственных отраслей страны. В настоящей работе представлен прототип программного продукта, адаптированного для широкого круга пользователей, алгоритм работы которого основан на территориальной экономико-логистической модели олигополистического рынка.

Ключевые слова: олигополистический рынок сбыта продукции, транспортные издержки, алгебраические кривые, системы аналитических вычислений, прикладное программное обеспечение, информационные системы, объектно-ориентированный программирование, язык Java

Библиографический список:

1. **Богачев, В.А.** Использование информационных технологий при изучении математических дисциплин / В.А Богачев, Т.В. Богачев // Комплексный анализ. Теория операторов. Математическое моделирование. – Владикавказ: Изд-во ВНЦ РАН, 2006.
2. **Богачев, В.А.** Маркетинговые исследования с использованием систем аналитических вычислений / В.А. Богачев, Т.В. Богачев // Современная математика и проблемы математического образования. Труды Всерос. науч.-практ. конф. – Орёл : ОГУ, 2009.
3. **Богачев, В.А.** Системы аналитических вычислений при изучении рынков сбыта в условиях олигополии / В.А Богачев, Т.В. Богачев // Вестник РГУПС. – 2014. – № 2. – С. 112–116.

LOGISTICS STUDIES OF MARKET RELATIONS IN CONDITIONS OF OLIGOPOLY WITH USE INFORMATION SYSTEMS

Davidov Yuriy Vladimirovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Computer science and automated control systems»,
Postgraduate student, assistant,
Phone: (863) 272-64-56,
E-mail: dav_ui@rgups.ru

Bogachev Viktor Alekseevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Higher Mathematics»,
Candidate of Physical Mathematical Sciences, Associated Professor,
Phone: (863) 272-63-30,
E-mail: bogachev-va@yandex.ru

Bogachev Taras Viktorovich
Rostov State Economic University,
69, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, Russia, 344002,
Chair «Fundamental and Applied Mathematics»,
Candidate of Physical Mathematical Sciences, Associated Professor,
Phone: (863) 261-38-85,
E-mail: bogachev73@yandex.ru

Dagldiyan Grigory Dzarukovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Automatics and telemechanics at railway transport»,
Postgraduate student, assistant,

Phone: (863) 272-64-56,
E-mail: dagldiangrigorij070@mail.ru

The analysis shows that oligopoly is the basic structure of the economy for most manufacturing industries in Russia. This paper presents a software prototype adapted for a wide range of users. The algorithm of the program is based on the territorial economic and logistic model of market relations in the conditions of oligopoly.

Keywords: commodity markets, transport costs, algebraic curves, systems of analytical calculations, information system, application software, object oriented approach, Java language

Bibliography:

1. Bogachev,V.A. Use of information technologies in studying of mathematical disciplines / V.A. Bogachev, T.V. Bogachev // Complex analysis. Operator theory. Mathematical modeling. – Vladikavkaz : Publishing house of VSC RAS, 2006.

2. **Bogachev,V.A.** Marketing research with use of systems of analytical calculations / V.A. Bogachev, T.V. Bogachev // Contemporary mathematics and problems of mathematical education: Proceedings of all-Russian scientific-practical conference. – Orel: Orel state University, 2009.

3. **Bogachev, V.A.** Analytical system of calculations when exploring markets in an oligopoly / V.A. Bogachev, T.V. Bogachev // Bulletin of TRANSPORT. - 2014. – № 2. - P. 112-116.

УДК 004.93; 528.4 + 06

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

Даглдиян Григорий Дзарукович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», аспирант,
Телефон: 89081795291, 272-64-56,
E-mail: dgd_ui@rgups.ru

Швалов Дмитрий Викторович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте»,
Кандидат технических наук, доцент,
Телефон: 272-63-02,
E-mail: atrwt@rgups.ru

Давыдов Юрий Владимирович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления», аспирант,
Телефон: 272-64-56,
E-mail: dav_ui@rgups.ru

Даглдиян Богос Дзарукович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления», магистрант,
Телефон: 272-64-56,
E-mail: dgd_ui@rgups.ru

Работа посвящена методам компьютерного анализа площадных условных знаков на топографической карте. В работе представлена последовательность действий необходимых для распознавания искомых объектов. В качестве примера приведен результат обработки фрагмента карты. Предложенный алгоритм будет внедрен в качестве модуля в разработанный прототип тренажера «камерального трассирования нового участка железнодорожной трассы».

Ключевые слова: распознавание образов, топографическая карта, площадный условный знак, тренажер

Библиографический список:

1 **Тарасян В.С., Дмитриев Н.В.** Интеллектуальная система анализа и преобразования топографических карт // Современные проблемы науки и образования. 2015, №2; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21614 [Дата обращения: 01.10.2016].

2 **Тарасян В.С., Дмитриев Н.В.** Система автоматизированного построения виртуальной модели местности по топографической карте // Молодежь в науке: Новые аргументы: Сборник научных работ II-го Международного молодежного конкурса. Часть I. 2015. С. 62-65.

3 **Дмитриев Н.В., Тарасян В.С.** Автоматизированная система распознавания символов на топографических картах // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 11. – С. 1876–1880. – URL: http://e-koncept.ru/2016/86402.htm. [Дата обращения: 01.10.2016].

4 **Дмитриев Н.В.** Автоматизированная система преобразования топографических карт в геоинформационную модель // Информационные технологии и нанотехнологии - 2016 С. 386-389.

5 **Шапиро Л., Стокман Дж. М.** Компьютерное зрение // Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с. ISBN 5-94774-384-1, 0-13-030796-3.

6 **Волков А.В.** Разработка методики автоматизированного дешифрирования изображений топографических объектов с использованием нейросетевых методов: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.34 / С.-Петерб. гос. гор. ин-т им. Г.В. Плеханова. - Санкт-Петербург, 2006. - 20 с.

7 **Местецкий Л.М.** Математические методы распознавания образов. Курс лекций. МГУ, ВМиК, кафедра "Математические методы прогнозирования".

8 **Чабан Л.Н.** Теория и алгоритмы распознавания образов: учеб. пособие: для студентов специальностей: 080800 - Исслед. природ. ресурсов аэрокосм. методами; 071900 -

Информац. системы и технологии // М-во образования Рос. Федерации, Моск. гос. ун-т геодезии и картографии [(МИИГАИК)]. - М.: [Моск. гос. ун-т геодезии и картографии (МИИГАИК)], 2004 (УПП Репрография МИИГАиК). - 71 с.: ил.; 21 см.; ISBN (В обл.).

9 Вишневская Е.А., Елобогоев А.В., Высоцкий Е.М., Добрецов Н.Н. Пространственное моделирование рельефа средствами ГИС для морфотектонического анализа. Из материалов международной конференции "Интеркарто-6 " (г. Апатиты, 22-24 августа 2000 г.). Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск.

10 «ВикипедиЯ». HSV (цветовая модель). [В Интернете]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/HSV_(цветовая_модель). [Дата обращения: 01.10.2016].

DEVELOPMENT OF OPTIMAL ALGORITHMS OF RECOGNITION ON TOPOGRAPHIC MAPS

Dagldiyan Gregory Dzarukovich
Rostov State Transport Univercity,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Chair «Railway automation and telemechanics»,
Postgraduate student,
Phone: 89081795291, 272-64-56,
E-mail: dgd_ui@rgups.ru

Shvalov Dmitriy Viktorovich
Rostov State Transport Univercity,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Railway automation and telemechanics department»,
Candidate of technical sciences, associate professor,
Phone: 272-63-02,
E-mail: atrwt@rgups.ru

Davidov Yuriy Vladimirovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Computer science and automated control systems»,
Postgraduate student, assistant,
Phone: (863) 272-64-56,
E-mail: dav_ui@rgups.ru.

Dagldiyan Bogos Dzarukovich
Rostov State Transport Univercity,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Chair «Computer science and automated control systems», undergraduate,
Phone: 272-64-56,
E-mail: dgd_ui@rgups.ru

The paper is devoted to the system of computer analysis of topographic maps. The main objective of the system is the recognition of polygon conventional symbols on the map. The paper presents the sequence of steps necessary to detect the desired objects. As an example, here is the

result of the processing part of the map. The proposed algorithm is implemented as a module in a prototype simulator developed by "office treatment the route of the new section of the railway."

Keywords: pattern classification, topographic map, shield convention, simulator

Bibliography:

1 **Tarasyan V.S., Dmitriev N.V.** Intelligent system for analysis and transformation of topographic maps // Modern problems of science and education. 2015, №2; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21614 [Treatment Date: 01.10.2016].

2 **Tarasyan V.S., Dmitriev N.V.** Computer-aided construction of virtual terrain model on a topographic map // Youth in Science: New case: Collection of scientific works of the II-nd International Youth Competition. Part I. 2015. C. 62-65.

3 **Dmitriev N.V., Tarasyan V.S.** Automatic character recognition system maps // Scientific and methodical electronic journal "Concept". – 2016. – T. 11. – C. 1876–1880. – URL: http://e-koncept.ru/2016/86402.htm. [Treatment Date: 01.10.2016].

4 **Dmitriev N.V.** Automated system transformation of topographic maps in the information model // Information Technology and Nanotechnology – 2016 C. 386-389.

5 Shapiro L., Stockman. J.M. Machine vision // Binomial. Knowledge Lab, 2006. – 752 c. ISBN 5-94774-384-1, 0-13-030796-3.

6 **Volkov A.V.** Development of a technique of the automated decoding of images of topographical objects with use of neural network techniques: synopsis dis. ... candidate of technical sciences: 25.00.34 / St. Petersburg. state. mountains. Inst them. GV Plekhanov. - St. Petersburg, 2006. - 20 c.

7 **Mestetsky L.M.** Mathematical methods of pattern recognition. Lecture course. Moscow State University Computational Mathematics and Cybernetics, Department of "Mathematical methods of forecasting".

8 **Shepherd L.N.** Theory and pattern recognition algorithms: Proc. Benefit: for students of specialties: 080800 - Issled. natures. aerokosm resources. methods; 071900 - Information. Systems and Technologies // M-Ros in education. Federation, Moscow. state. Univ of Geodesy and Cartography [(MIIGAiK)]. - M .: [Mosk. state. Univ of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)] 2004 (SCP Reprographics MIIGAiK). - 71 .: Ill .; 21 cm.; ISBN (В обл.).

9 **Vishnevskaya E.A., Elobogoev A.V., Vysotsky E.M., Dobretsov N.N.** Spatial modeling of the relief of GIS tools for morphological analysis of tectonic. From the materials of the international conference "Intercarto-6" (Apatity, 22-24 August 2000). United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk.

10 "Wikipedia". HSV (color model). [In the Internet]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV. [Treatment Date: 01.10.2016].

ББК 65.29+06

ИННОВАЦИОННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

Донченко Елизавета Георгиевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Административное право и уголовно-правовые дисциплины»,
Старший преподаватель,
E-mail: liza161@bk.ru

В статье механизм социально–инвестиционного перераспределения рассматривается как перспективный инновационный инструмент развития транспортной компании в вопросах инвестиционной деятельности и поиска инвестиционных ресурсов.

Ключевые слова: инвестиции, сбережения, механизм, корпоративность.

Библиографический список:

1. **Розинская, Н.А.** Влияние идей К. Поланьи на современную науку / Н.А. Розинская //– автореф. дисс. на соискание степени к.э.н., Москва. – 2000.
2. **Донченко, Е.Г.** Проблемы развития рынка коллективных инвестиций / Е.Г. Донченко // Международная научно-практическая конференция: Парадигма экономического прогресса и его правовое обеспечение. – 2015, – 183– 190с.
3. **Донченко, Е.Г.** К вопросу о вовлечении экономически активного населения в инвестиционные процессы / Е.Г. Донченко. С.Г. Шагинян // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014, – №4 (29) – 131– 133с.

INNOVATIVE TOOLS OF TRANSPORT COMPANY DEVELOPMENT

Donchenko Elizaveta Georgievna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sg., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Chair: Administrative Law and Criminal Law Courses,
Senior lecturer,
E-mail: liza161@bk.ru

The article mechanism of social and investment redistribution. This mechanism is considered as a future oriented innovative tool of transport comport company development in the area of investment activity and searching for investment resources.

Keywords: investments, saving, mechanism, corporatism

Bibliography:

1. **Rozinskaya, N.A.** Influence of Polanyi”s ideas on the contemporary science / N.A. Rozinskaya // – avtoref. Diss. Na soiskaniye stepeni k.e.n. [Autor”s abstract of Thesis for a degree of Candidate of Economic Sciences], Moskow.-2000.
2. **Donchenko, E.G.** Problemyi razvitiya rinka kollectivnyih investiciy / E.G. Donchenko // International Scientific Conference – 2015, – 183-190s.
3. **Doncenko, E.G.** K voprosu o vovlechenii economicheski aktivnogo naseleniya v investicionniye processyi / E.G. Doncenko, S.G. Shaginyan // Proceedings of Rostov State University Transport. –2014, №4(29) – 131-133s.

УДК 656.224+06

УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ДОСТАВКИ ГРУЖЕННЫХ И ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА СЕВЕРО-КАВКАЗСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Ерофеева Екатерина Александровна:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
Студент,
Телефон: (863) 272-64-44
E-mail: uer @ rgups. ru

Зубков Виктор Николаевич:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
Доктор технических наук, профессор,
Телефон: (863) 272-64-44,
E-mail: Solop_uer@rgups.ru

Сарапулов Игорь Анатольевич:
344001 Ростов-на-Дону, Привокзальная пл. 1/2, Северо-Кавказская дирекция управления движением,
Начальник технического отдела дирекции,
Телефон: (863)259-44-38.

Выполнен анализ скорости доставки груженных и порожних отправок, предложены меры по ускорению их доставки и сокращению эксплуатационных расходов железной дороги.

Ключевые слова: актуальность проблемы, пропускная способность, скорость доставки, срок доставки, способы решения, эффективность перевозок.

Библиографический список:

1. Лапидус, Б.М. Инновации – основной ресурс роста производительности и эффективности железных дорог // Москва фундаментальные исследования для долгосрочного развития железнодорожного транспорта: сб. трудов членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» 2013. С. 7–12.

2. Зубков, В.Н. Бакалов, М.В. О скорости и сроках доставки груженных и порожних вагонов // Москва. Журнал «Железнодорожных транспорт» 2014. № 12. С. 10–15

INCREASE IN SPEED OF DELIVERY OF LOADED AND EMPTY CARS ON THE BASIS OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IMPLEMENTED IN THE NORTH CAUCASUS RAILWAY

Erofeyeva Ekaterina Alexandrovna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Student
Phone: (863) 272-64-44,
E-mail: rgups@uer.ru

Zubkov Viktor Nikolaevich:
Rostov State Transport University,

2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair "Managing of operational work",
Doctor of technical Sciences, Professor,
E-mail: Solop_uer@rgups.ru

Sarapulov Igor Anatolevich :
Privokzalnaya PL., 1/2, of the North Caucasus Directorate for traffic, Rostov-on-don, Russia, 344038,
Phone: (863)259-44-38.

The analysis of the speed of delivery of loaded and empty shipments, proposed measures to increase the speed of delivery and reduced operating costs of the railway, of technical Department
Keywords: bandwidth, speed of delivery, the urgency of the problem, methods of solution.

Bibliography:
1. **Lapidus, B. M.** Innovation is the main source of productivity growth and efficiency of the Railways // Moskva fundamental research for long-term railway transport development: a collection of works of members and scientific partners of the joint scientific Council of JSC "RZD" for 2013. S. 7-12.
2. **Zubkov, V. N. Bakalov, M. V.** On the speed and timing of delivery of loaded and empty wagons]. The magazine "Railway transportation" 2014. No. 12. S. 10-15.

УДК 519.876.2

СОВРЕМЕННЫЕ ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Ковалев Григорий Анатольевич
Акционерное общество «РЖД Логистика»,
344019, г. Ростов-на-Дону, ул. Закруткина, 67в /2 б,
Директор филиала «РЖД Логистика» в г. Ростов-на-Дону,
E-mail: KovalevGArnd@gmail.com

Рассматриваются вопросы организации транспортно-логистических услуг между агентами рынка на железнодорожном транспорте. В качестве интегратора логистических процессов рассматривается железнодорожный транспорт. Исследуется эффективность решений по передаче логистических функций сторонним предприятиям. Определены направления развития логистических услуг на железнодорожном транспорте.
Ключевые слова: грузовые перевозки, логистические услуги, эффективность логистических решений, аутсорсинг.

Библиографический список
1. Мамаев, Э.А. Развитие логистического аутсорсинга в России: антикризисные императивы качественной трансформации / Э.А. Мамаев, М.В. Михайлюк // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2015. №4 (52). – С. 28-33.
2. Мамаев, Э.А. Анализ и оценка тенденций развития крупных логистических операторов / Э.А. Мамаев, Е.С. Вальчук // Труды РГУПС, 2015, №4. – С. 52-57.

MODERN LOGISTICS TECHNOLOGY ON THE BACKBONE RAILWAY TRANSPORT

Kovalev Grigoriy Anatolievich
JSC «Russian Railways Logistics»,
67v/2b, Zakrutkina st., Rostov-on-Don, Russia, 344019,
Director JSC «Russian Railways Logistics» of Rostov-on-Don branch,
E-mail: KovalevGArnd@gmail.com

The questions of the organization of transport and logistics services between the market agents in the railway sector. As an integrator of logistics processes considered rail. We investigate the effectiveness of the decisions on the transfer of logistics functions to third-party businesses. The directions of the development of logistics services in railway transport.
Keywords: Freight traffic, logistics service, efficiency logistics decisions, outsourcing

Bibliography:
1. **Mamaev, E.A.** Development of logistics outsoursing in Russia: anticrisis imperatives of qualitative transformation / E. A. Mamaev, M. V. Mikhailiuk // Vestnik RSUE (RINH). 2015. №4 (52). – C. 28-33
2. **Mamaev, E.A.** Analysis and evaluation of development trends of the largest logistic operators / E. A. Mamaev, E.S. Valychuk// Trudy RSTU, 2015, №4. – P. 52-57

УДК 656.072 + 06

ИНТЕГРАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СООБЩЕНИЯ В ГОРОДСКУЮ ПАССАЖИРСКУЮ ТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ

Ковалева Наталья Александровна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Логистика и управление транспортными системами»,
Кандидат технических наук, старший преподаватель,
Телефон: 8 (908) 506-39-86,
E-mail: nvihreva@gmail.com

В статье рассмотрены вопросы создания интегрированной системы городской пассажирской транспортной системы с возможностью использования железнодорожного сообщения.
Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, виды городского транспорта, железнодорожное сообщение.

Библиографический список:
1. Мамаев, Э.А. Формирование скоростных маршрутов в городской транспортной системе [Электронный ресурс] / Э.А. Мамаев, Н.А. Ковалева // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – Режим доступа : http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3225.
2. Мамаев, Э.А. К оценке потерь экономики от неэффективности организации движения в транспортной сети / Э.А. Мамаев, Н.А. Ковалева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). – 2014. – № 2(54). – С. 64–69.

INTEGRATION OF RAIL TRANSPORT IN URBAN PASSENGER TRANSPORT SYSTEMS

Kovaleova Natal'ya Aleksandrovna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Logistics and Management of transport systems»,
Ph.D., Associate Professor,
Phone: 8 (908) 506-39-86,
E –mail: nvihreva@gmail.com

The paper deals with the creation of an integrated system of urban passenger transport system c possibility of using rail posts.
Keywords: Urban passenger transport, types of urban transport, rail links.

Bibliography:
1. **Mamaev, E.A.** Formation of high-speed routes in the urban transport system [electronic resource] / E.A. Mamaev, N.A. Kovalev // Engineering Gazette Don. – 2015. – № 3. – Access: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3225.
2. **Mamaev, E.A**. By the estimation of the economy losses from inefficiency of the organization of movement in the transport network / E.A. Mamaev, N.A. Kovalev // Bulletin of the Rostov State University of Communications (RSTU). – 2014. – № 2 (54). – Pp. 64-69.

УДК 656.21:004.94

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Козлов Петр Алексеевич
Научно-производственный холдинг «СТРАТЕГ»,
109029, г. Москва, ул. Нижегородская, 32,
Доктор технических наук, профессор,
E-mail: laureat_k@mail.ru

Колокольников Виталий Сергеевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения»;
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
Кандидат технических наук, доцент,
E-mail: kolokvital@gmail.com

Пермикин Вадим Юрьевич;
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения»,
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
Кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
Кандидат технических наук, доцент,
E-mail: vprm@mail.ru

Рассмотрены особенности аналитических и имитационных моделей, которые используются при расчете железнодорожных станций. Дан анализ исходных предпосылок при выведении аналитических зависимостей и самих расчетных формул. Предложены пути совершенствования последних на основе имитационных моделей. Раскрыты возможности совместного использования аналитических и имитационных методов расчета.

Ключевые слова: модель, аналитическая, имитационная, железнодорожная станция, расчет.

Библиографический список:

1. Мишарин, А.С. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / А.С. Мишарин, П.А. Козлов // Железнодорожный транспорт. 2014. № 4. С.52–54. ISSN 0044 4448.

2. Козлов, П.А. О методах расчета систем железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. 2014. № 12. С.28–32. ISSN 0044 4448.

3. Мишарин, А.С. Двухуровневые системы оптимизации транспортных процессов / А.С. Мишарин, П.А. Козлов / Транспорт: наука, техника, управление. 2015. №8. С.3–9. ISSN 0236-1914.

4. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог. М.: РЖД, 2010.

5. Козлова, А.М. Проектирование железнодорожных станций и узлов: справ. и метод. руководство / Под ред. А.М.Козлова, К.Г.Гусевой; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1981. 594 с.

6. Сотников, И.Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог. М.: Транспорт, 1976. 268 с.

7. Козлов, П.А. Технология макромоделирования транспортных узлов / П.А. Козлов, Н.А. Тушин, В.Ю. Пермикин, И.Г.Слободянюк // Транспорт Урала. 2014. № 3. С.3–6. ISSN 1815-9400.

MODERN METHODS OF CALCULATION OF RAILWAYS

Kozlov Petr Alekseevich
Scientific and industrial holding "STRATEG",
32, Nizhegorodskaya str., Moscow, 109029, Russia,
Doctor of the technical sciences, Professor,
E-mail: laureat_k@mail.ru

Kolokolnikov Vitaly Sergeevich
Ural State University of Railway Transport,
66, Kolmogorova str., Ekaterinburg, 620034, Russia,
Chair “Management exploitation”,
Candidate of the technical sciences, assistant professor,
E-mail: kolokvital@gmail.com

Permikin Vadim Yurievich
Ural State University of Railway Transport,
66, Kolmogorova str., Ekaterinburg, 620034, Russia,
Chair “Management exploitation”,
Candidate of the technical sciences, assistant professor,
E-mail: vprm@mail.ru

The features of analytical and simulation models, which are used in the calculation of railway stations. The analysis of the initial assumptions in deriving analytical relationships

themselves and calculation formulas. Ways of improving the latter on the basis of simulation models. Reveals the possible joint use of analytical and simulation methods of calculation.

Keywords: model, analytical, simulation, railway station, the calculation.

Bibliography:

1. **Misharin A.S., Kozlov P.A.** Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры // Railway transport. 2014. №4. p.52–54. ISSN 0044 4448.
2. **Kozlov P.A.** On the methods of calculation of railway transport systems // Railway transport. 2014. №12. p.28–32. ISSN 0044 4448.
3. **Misharin A.S., Kozlov P.A.** Duplex system optimization of transport processes // Transport: science, technology, management. 2015. №8. p.3–9. ISSN 0236-1914.
4. Instructions on the calculation of cash capacity of railways. Moscow, 2010.
5. Design of railway stations and junctions / A.M. Kozlov, K.G. Guseva; Moscow: Transport, 1981.
6. **Sotnikov I. B.** Interaction stations and railway stations. Moscow: Transport, 1976. 268 p.
7. Technology macromodelling transport hubs / P.A. Kozlov, N.A. Tushin, V.Yu. Permikin, I.G. Slobodyanuk // Transport of Urals. 2014. №3. p.3–6. ISSN 1815-9400.

УДК 331

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОСТИ НАУЧНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ

Лобас Юлия Николаевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра: «Экономика и менеджмент»,
Кандидат экономических наук, доцент,
Телефон: 8 918 550 62 67,
E-mail: jul-lobas@yandex.ru

Матвеева Ольга Анатольевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра: «Экономика и менеджмент»,
Кандидат экономических наук, доцент,
Телефон: 9 909 410 21 98,
E-mail: matveeva_o_a@mail.ru

В процессе управления инновациями периодически возникает необходимость оценки эффективности выполняемых работ. Инструментом, позволяющим в процессе управления научно-исследовательскими работами по созданию инноваций выбирать стратегически оптимальные направления исследований, служат разработанные методы исчисления экономической эффективности систем. Применение их позволяет в зависимости от полученной оценки инновационности принимать решения о прекращении или изменении работ.

Ключевые слова: инновации, критерий, оценка, технические системы.

ASSESSMENT OF INNOVATION OF RESEARCH TEAMS

LobasYuliyaNikolaevna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Economics and management »,
Candidate of economic Sciences, associate Professor,
Phone: 8 918 550 62 67,
E-mail: jul-lobas@yandex.ru

Matveeva Olga Anatolievna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Economics and management »,
Candidate of economic Sciences, associate Professor,
Phone: 909 410 9 21 98,
E-mail: matveeva_o_a@mail.ru

In the process of innovation management is necessary to periodically assess the effectiveness of the work performed. Tool that enables process control research works on creation of innovation strategically choose the best lines of research are developed methods of calculating the economic efficiency of the systems. Their application allows, depending on the grade of innovation to make decisions on the termination or modification of the work.
Keywords: innovation, test, evaluation, technical systems.

УДК 62-50

ИННОВАЦИОННЫЕ АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССОВ С РЕГУЛЯРНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

Костоглотов Андрей Александрович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»; 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2;,
кафедра «Информатика»,
доктор технических наук, профессор,
Телефон: 8-918-553-92-24,
E-mail: kostoglotov@me.com

Лященко Зоя Владимировна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»; 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2;,
кафедра «Информатика»,
аспирант,
Телефон: 8-906-474-50-37.
E-mail: lyshchenko.zoya@mail.ru

Кириллов Игорь Евгеньевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»; 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2;,
кафедра «Информатика»,
аспирант,
Телефон: 8-903-180-66-99.
E-mail: kirillov8084@mail.ru

В статье описаны результаты исследования эффективности адаптивного алгоритма оценивания, который отличается от существующих за счет новой вектор – функции системы, построенной на основе объединенного принципа максимума

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы, фильтрация, неизвестные регулярные возмущения

Библиографический список:

1. **Фарина А., Студер Ф.** Цифровая обработка радиолокационной информации. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.

2. **Singer R. A.** Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneu-vering Targets // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1970. AES-6. N 4. P. 473–483.

3. **Singer R. A.** Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneu-vering Targets // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1970. AES-6. N 4. P. 473–483.

4. **Костоглотов А.А., Кузнецов А.А., Лазаренко С.В., Ценных Б.М.** Совмещенный синтез адаптивного к маневру фильтра сопровождения // Радиотехника, 2015, 7. С. 95 - 103.

5. **Костоглотов А. А., Костоглотов А. И., Лазаренко С. В.** Объединённый принцип максимума в информационных технологиях анализа и синтеза. – Ростов-на-Дону: РАСЮРГУЭС, 2010. – 165 с.

6. **Костоглотов А. А., Костоглотов А. И., Лазаренко С. В., Ценных Б. М.** Метод оценки параметров движения управляемого летательного аппарата на основе объединенного принципа максимума с построением опорной траектории // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 6. С. 61 – 66.

7. **Лазаренко С.В.** Метод синтеза оптимального управления с использованием принципа Гаусса // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. Т. 11. № 12. С. 37 - 43.

INNOVATIVE ADAPTIVE ALGORITHM OF ASSESSMENT PROCESSES REGULARLY PERTURBED

Kostoglotov Andrey Aleksandrovich
Rostov State Transport University (RSTU),
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Chair « Iinformatics»,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Phone: 8-918-553-92-24,
E-mail: kostoglotov@me.com

Lyashchenko Zoya Vladimirovna
Rostov State Transport University (RSTU),
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Chair « Iinformatics »,

post graduate student,
Phone: 8-903-474-50-37.
E-mail: lyshchenko.zoya@mail.ru

Kirillov Igor Evgenevich
Rostov State Transport University (RSTU),
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Chair « Iinformatics »,
post graduate student,
Phone: 8-903-180-66-99.
E-mail: kirillov8084@mail.ru

The article describes the results of research on the effectiveness of the adaptive estimation algorithm. They is different from the existing by a new vector - functions of the system, built on the basis of the combined maximum principle

Keywords: adaptive algorithms, filtering, unknown to regular perturbation

Bibliography:

1. **A. Farina, F. Studer.** Digital processing of radar data. - M .: Radio and Communications, 1993. - 320 p.
2. **Singer R. A.** Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneu-vering Targets // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1970. AES-6. N 4. 473-483 p.
3. Singer R. A. Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneu-vering Targets // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1970. AES-6. N 4. 473-483 p.
4. **Kostoglotov AA, Kuznetsov AA, Lazarenko SV** Securities BM Combined synthesis to maneuver adaptive tracking filter // Radio engineering, 2015, 7. 95 – 103 p.
5. **Kostoglotov AA, Kostoglotov AI, Lazarenko SV** Joint maximum principle in information technology for analysis and synthesis. - Rostov-on-Don: RASYURGUES, 2010. - 165 p.
6. **Kostoglotov AA, Kostoglotov AI, Lazarenko SV**, Securities BM method for estimating the parameters of motion of the aircraft managed by the combined maximum principle to the construction of the reference trajectory // Successes of modern electronics. 2012. № 6. 61 – 66 p.
7. **Lazarenko SV,** Optimal control synthesis method using the Gauss principle // Information-measuring and operating systems. 2013. T. 11. № 12. 37 – 43 p.

УДК 656.078:656.072

ГОРОДСКОЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ: СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА

Мамаев Тимур Энверович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Станции и грузовая работа»,
Аспирант,
Телефон: +7 9614083777,
E-mail: t.mamaev@mail.ru

Приводится анализ возможностей использования разных видов транспорта для развития транспортный системы города. Приводится анализ преимуществ использования внеуличных видов транспорта для получения синергетического эффект.

Ключевые слова: городской транспорт, железнодорожные перевозки, качество перевозок.

Библиографический список:

1. Мамаев, Э.А. К оценке потерь экономики от неэффективности организации движения в транспортной сети / Э.А. Мамаев, Н.А. Ковалева // Вестник РГУПС. - 2014. – № 2. - С. 64-69.

2. Гузенко А.В. SWOT-анализ системы городского пассажирского транспорта г. Ростова-на-Дону/ А.В. Гузенко, Э.А. Мамаев // Вестник РГУПС, 2009, №3. С. 83-88

3. Гузенко А.В. Оптимизация логистических издержек в системе городского пассажирского транспорта / А.В. Гузенко, Э.А. Мамаев // Вестник Томского государственного университета. -2009. №327. С 140-145

4. Zyryanov V., Sanamov R. Improving urban public transport operation: experience of Rostov-on-Don (Russia) // International Journal of Transport Economics. 2009. Т.36. №1. pp.83-96.

URBAN PUBLIC TRANSPORT: THE SYNERGISTIC EFFECT OF USING DIFFERENT TYPES OF TRANSPORT

Mamaev Timur Enverovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Stations and Cargo Work»,
postgraduate student,
Phone: +7 9614083777,
E-mail: t.mamaev@mail.ru

The analysis of the possibilities of using different modes of transport for the development of the transport system of the city. The analysis of the benefits of using off-street modes to obtain a synergistic effect.

Keywords: urban transport, rail transport, transport quality

Bibliography:

1. **Mamaev, E. A.** On the assessment of economic loss from inefficient organization of traffic in a transport network/ E. A. Mamaev, N.A. Kovaleova // Vestnik RGUPS. – 2014. – № 2. – p. 64–69.

2. **Guzenko, A. V.** SWOT-Analysis of the Rostov-on-Don Passengers Transport System/ A. V. Guzenko, E. A. Mamaev // Vestnik of Rostov State Transport University. - 2009. - № 3. - p. 83–88.

3. **Guzenko A.V.** Optimization of logistic costs of the city passengers transport system/ A.V. Guzenko, E.A. Mamaev // Tomsk state university journal. -2009. №327. - p 140-145

4. **Zyryanov V., Sanamov R.** Improving urban public transport operation: experience of Rostov-on-Don (Russia) // International Journal of Transport Economics. 2009. Т.36. №1. p.83-96.

УДК 656.078.1: 65.011.12+06

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И ЧАСТНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР В ИННОВАЦИОННОМ РАЗВИТИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Мамаев Энвер Агапашаевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Доктор технических наук**,** профессор,
Телефон: +7 8632726414,
E-mail: mamaev_enver@mail.ru

Рассматриваются вопросы организации инновационного развития транспортной отрасли. Проведен анализ состояния и основных направлений взаимодействия предприятий и организаций в развитии транспортной системы.

Ключевые слова: Транспортная система, инновации, развитие транспорта, железнодорожный транспорт.

Библиографический список:

1. Инвестиции в России. 2015: Стат.сб./ Росстат. - М., 2015. – 190 с.

2. **Левин, Б.А.** О концепции построения моделей производственно-транспортных систем / Б.А. Левин, Э.А. Мамаев, В.В. Багинова // Наука и техника транспорта. - 2003. - № 4. - С. 8-17.

3. **Мамаев, Э.А.** Динамическая модель инвестиций в развитие основных фондов предприятия / Э.А. Мамаев // Вестник РГУПС. - 2004. - № 3. - С. 81-84.

4. **Мачерет Д.А.** Инновационное развитие транспортных систем открытого доступа / Д.А. Мачерет // Мир транспорта. – 2012. – №1 (39). – С. 78-82.

PUBLIC- AND PRIVATE-ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF INNOVATION DEVELOPMENT TRANSPORT SYSTEMS

Mamaev Enver Agapashaevich
Mamaev Enver Agapashaevich
Rostov State Transport University (RSTU)
2, sq. Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya, Rostov-on-Don,
344038,
Chair «Logistics and management of transport system»,
Doctor of technical sciences, professor,
Phone: +7 8632726414,
E-mail: mamaev_enver@mail.ru

The questions of the organization of innovative development of the transport sector. Spend analysis of the state and the main directions of cooperation of enterprises and organizations in the development of the transport system.

Keywords: transport system, innovation, development of transport, railway transport.

Bibliography:

1. Investisii v Rossii. 2015: Stat.sb./ Rosstat. - M., 2015. – 190 s.

2. **Levin, B.A.** About the concept of construction of models of industrial-transport systems / B.A. Levin, E.A. Mamaev, B.B. Baginova // Nauka i tekhnika transporta. – 2003. – № 4. – P. 8–17

3. **Mamaev, E.A.** Dynamic model of the investments in development of a capital assets of enterprise of the enterprise/ E. A. Mamaev // Vestnik of Rostov State Transport University. - 2004. - № 3. - P. 81-84.

4. **Macheret D.A.** Innovative development of transport systems of common access / D.A. Macheret D.A. // Mir Transporta. – 2012. #1 (39). – P. 78–82.

УДК 656.9 + 06

РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАНСПОРТНОМ СЕРВИСЕ

Муленко Ольга Вениаминовна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Логистика и управление транспортными системами»**,**
Кандидат технических наук, доцент,
Телефон: 8 (863) 272-64-01,
E-mail: mikasya@yandex.ru

В статье показано, что немаловажным видом инноваций в транспортной отрасли является применение новых технологий сервисного обслуживания. Представлены примеры инноваций на транспорте. В статье показано, что разработка инноваций в области сервисного обслуживания в настоящий момент превратилась в стратегические ориентиры на транспорте.

Ключевые слова: инновация, транспорт, сервис на транспорте, клиент, клиентоориентированность, стратегия.

Библиографический список

1 Теория управления. – 2016 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 20.10.2016. – URL: http://studme.org/31796/menedzhment/teoriya_upravleniya (дата обращения: 20.10.2016).

2 Федеральная служба государственной статистики. Наука и инновации. – 2016 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 20.10.2016. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science (дата обращения: 20.10.2016).

3 Международный инновационный индекс. – 2016 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 20.10.2016. – URL: https://ru.wikipedia.org (дата обращения: 20.10.2016).

4 Российская академия наук. Доклад Рогова С.М. – 2016 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 20.10.2016. – URL: http://www.iskran.ru/news.php?id=91 (дата обращения: 20.10.2016).

5 **Иловайский, Н.Д.** Сервис на транспорте (железнодорожном) : учебник для вузов / Н.Д. Иловайский. – М. : Маршрут, 2003. – 585 с.

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE TRANSPORT SERVICE

Mulenko Olga Veniaminovna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Logistics and Management of transport systems»
Ph.D., Associate Professor,
Phone: 8 (863) 272-64-01,
E-mail: mikasya@yandex.ru

The article shows that the kind of innovation important in the transport sector is the use of new technology service. There are examples of innovations in transport. The article shows that the development in the field of service innovations at the moment has become a strategic guidelines on transport.

Keywords: innovation, transport, transport services, client, customer orientation, strategy.

Bibliography:

1 Control Theory. - 2016 [Electronic resource]. Date of refresh: 20.10.2016. - URL: http://studme.org/31796/menedzhment/teoriya_upravleniya (Date of treatment: 20.10.2016).

2 Federal State Statistics Service. Science and Innovation. - 2016 [Electronic resource]. Date of refresh: 20.10.2016. - URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/ rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science (Date of treatment: 20.10.2016).

3 International Innovation Index. - 2016 [Electronic resource]. Date of refresh: 20.10.2016. - URL: https://ru.wikipedia.org (Date of treatment: 20.10.2016).

4 Russian Academy of Sciences. Rogov SM Report - 2016 [Electronic resource]. Date: 20.10.2016. - URL: http://www.iskran.ru/news.php?id=91 (Date of treatment:: 20.10.2016).

5 **Ilovajskij, ND** Service at the railway transport: a textbook for high schools / ND Ilovajskij. - Moscow: Route, 2003. - 585 p.

УДК 656.22 + 06

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ СПОНТАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ

Овсянников Александр Леонидович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Преподаватель,
Телефон: +7 919 881 08 77,
E-mail: ovsjan@rambler.ru

В статье говорится о возникающих на железнодорожном транспорте спонтанных изменения вагонопотоков. Предлагаются классификация причин их возникновения и изменений в работе железной дороги.

Ключевые слова: железные дороги, эксплуатационная работа, вагонопотоки, регулирование перевозок, неритмичность

Библиографический список:

1. **Красильникова, Н.Н.** Развитие пропускных способностей железнодорожного транспорта в Забайкальском крае / Н.Н. Красильникова, Э.А. Мамаев // Вестник РГУПС, - 2010, - №3. - С. 99-104
2. **Мамаев, Э.А.** Экономическое обоснование усиления подходов к припортовым станциям (на примере южного региона)/Э.А. Мамаев, В.Н. Зубков, Е.В. Голубева // Вестник РГУПС, - 2004, - №1. - С. 60-67
3. **Ефименко Ю.И.** Железные дороги. Общий курс // Ю.И. Ефименко, В.И. Ковалев, С.И. Логинов / под ред. Ю.И. Ефименко// Москва. УМЦ ЖДТ, - 2013. – 503с.
4. **Мамаев, Э.А.** К оценке потерь экономики от неэффективности организации движения в транспортной сети / Э.А. Мамаев, Н.А. Ковалева // Вестник РГУПС, - 2014, - №2. - С. 64-69
5. **Кудрявцев В.А.** Управление движением на железнодорожном транспорте // Москва. Маршрут, - 2003. -200с.
6. Прогноз чрезвычайной обстановки на территории Российской Федерации на 2016 год // Москва. Центр Антистихия МЧС России, - 2015. -80с.
7. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена постановлением правительства РФ от 22 ноября 2008 г. №1734-р.

RAILWAY TRANSPORT IN THE CONDITIONS OF SPONTANEOUS CHANGE OF TRAFFIC

Ovsyannikov Aleksandr Leonidovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
lecturer
Phone: +7 919 881 08 77,
E -mail: ovsjan@rambler.ru

In article it is told about arising on railway transport spontaneous changes of traffic volumes. Classification of the reasons of their emergence and changes in work of the railroad are offered.

Keywords: railroads, operational work, traffic volumes, regulation of transportations, unevenness

Bibliography:

1. **Krasilnikova, N. N.** Development traffic-capacity of railway transportation line in Zabaikalian territory / N. N. Krasilnikova, E. A. Mamayev//Vestnik of Rostov State Transport University, - 2010, - № 3. – P. 99-104
2. **Mamayev, E.A.** An economic case of strengthening of approaches to port stations (on the example of the southern region) / E. A. Mamayev, V. N. Zubkov, E. V. Golubeva//Vestnik RGUPS, - 2004, - № 1. – P. 60-67
3. **Efimenko, YU.I., Kovalyov, V. I., Loginov, S. I.**, etc.; under the editorship of Yu. I. Efimenko. Railroads. General rate//Moscow. UMTs ZhDT, - 2013. – 503 pages.
4. **Mamayev, E.A.** On the assessment of economic loss from inefficient organization of traffic in a transport network / E.A. Mamayev, N. A. Kovalyova// Vestnik of Rostov State Transport University, - 2014, - №. 2. – P. 64-69
5. **Kudryavtsev V. A.** Traffic control on a rail transport//Moscow. A route, - 2003. - 200 pages.
6. The forecast of an extraordinary situation in the territory of the Russian Federation for 2016//Moscow. Antistikhiya's center Emercom of Russia, - 2015. - 80 pages.

7. The transport strategy of the Russian Federation for the period till 2030. It is approved by the order of the Government of the Russian Federation of November 22, 2008 № 1734-r.

УДК 656.22: 656.07 + 06

АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОГО СПОСОБА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУЗОВЛАДЕЛЬЦЕВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОННЫХ АУКЦИОНОВ

Скрипников Илья Николаевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Управление эксплуатационной работой»;
Доцент.
E-mail: scripnikovs@list.ru

Автором описано функционирование электронной биржи вагонов, проанализированы ее основные показатели. Выявлены основные преимущества и недостатки аукционной системы при предоставлении услуг пользования подвижным составом.

Ключевые слова: собственный вагон, операторы подвижного состава, аукционная система, биржа вагонов.

Библиографический список

1. Биржа вагонов Rail Commerce. – 2016 [Электронный ресурс]. Дата обновления: 02.11.2016. – URL: https://railcommerce.ru (дата обращения: 02.11.2016).

ANALYSIS OF INNOVATIVE WAYS OF RAILCAR'S PROVIDING FOR CARGO OWNERS BASED ON ELECTRONIC AUCTIONS

Skripnikov Ilya Nikolaevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Control of operational work»,
Associated Professor.
E-mail: scripnikovs@list.ru

The author describes the functioning of the electronic exchange of wagons, analyzed main indicators. He identifies the basic advantages and disadvantages of the auction system in the provision railcars.

Keywords: private wagon, operator of railcars, auction system, wagons exchange.

Bibliography:

1. Wagons Exchange Rail Commerce. – 2016 [Electronic resource]. Date of refresh: 02.11.2016. – URL: https://railcommerce.ru (Date of treatment: 02.11.2016).

УДК 519.876.5: 656.078+06

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Хашев Аскер Измудинович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Логистика и управление транспортными системами»,
Аспирант,
Телефон: 8 (906) 189-09-22,
E-mail: hash-93@mail.ru

Рассматриваются проблемы адекватного использования программных продуктов в области имитационного моделирования для исследования транспортных систем. Проводится анализ программных продуктов, их преимуществ и недостатков для моделирования транспортно-технологических процессов, и организации транспортных потоков.

Ключевые слова: транспортная система, имитационное моделирование, AnyLogic, Visum, Дорожный менеджер.

Библиографический список:

1. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие / А. Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с.

2. Евдокимов, А.О. Имитационная модель перекрестка с системой интеллектуального управления / А.О. Евдокимов, А.В. Горохов, Д.Я. Лугов // Международный научно-исследовательский журнал № 5-2 (36), 2015. С. 55-60

3. Алибеков, Б. И. Модели размещения и развития объектов региональной транспортной системы и приближенный метод их решения / Б.И. Алибеков, Э.А. Мамаев // Вестник РГУПС. - 2012. - № 4. - С. 96-105.

4. Mallenom systems. Интернет-версия. – URL: http://www.mallenom.ru

SIMULATION RESEARCH IN THE SPHERE OF TRANSPORT SYSTEMS

Khashev Asker Izmudinovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Logistics and transport systems management»,
Postgraduate studen,
Phone: 8 (906) 189-09-22,
E-mail: hash-93@mail.ru

The problems of adequate use of software products in the field of simulation modeling for the study of transport systems. The analysis software products, their advantages and disadvantages for the simulation of transport-technological processes and organization of traffic flows.

Keywords: transportation systems, simulation modeling, AnyLogic, Visum, Traffic Manager.

Bibliography:

1. **Gorev, AE** Fundamentals of the theory of transport systems: Proc. Manual / AE Gorev; Ph. - St. Petersburg, 2010. -. 214.

2. **Evdokimov, SA** The simulation model of the intersection with the intelligent control system / SA Evdokimov, AV Gorokhov, DY Meadows // International Research Journal number 5-2 (36), 2015. pp 55-60

3. **Alibekov, B.I.** .Models foR location and development of the regional transport system and the approximate method of solving them / B.I. Alibekov, E/A/ Mamaev // Vestnik of Rostov State Transport University. - 2012. - № 4. - P. 96-105.

4. Mallenom systems. Internet version. - URL: http://www.mallenom.ru

УДК 656.2 + 06

ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В РЕГИОНАЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО РЕГИОНА)

Чеботарева Евгения Андреевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
Кандидат технических наук, доцент,
Телефон: +7(863)272-64-44,
E-mail: Abrosmova@ya.ru

Бакалов Максим Владимирович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Управление эксплуатационной работой»,
Старший преподаватель,
Телефон: +79515029566.
E-mail: Maxim_bmw@mail.ru

В статье рассмотрены перспективы инновационной деятельности на железнодорожном транспорте в региональном разрезе с учетом специфики организации грузового и пассажирского железнодорожного движения в Южном регионе.

Ключевые слова: транспортный комплекс, железнодорожный транспорт, инновации, полигонные технологии, высокоскоростное движение, интермодальное сообщение, эффективность.

Библиографический список

1. Официальный сайт ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rzd.ru/static/public
2. **Черняев, А.Г.** Развитие системы управления экспортными перевозками в железнодорожно-морском сообщении на базе логистических и информационных

технологий: монография / А.Г. Черняев, Е.А. Чеботарева, Д.А. Ломаш // Ростов-н/Д, 2013. – 186 с.
3. **Мишарина, А.С.** Тезисы выступления первого вице-президента / ОАО «РЖД» А.С. Мишарина на заседании Научно-технического совета ОАО «РЖД» на тему: «Генеральная схема как основа устойчивого развития железнодорожного транспорта на долгосрочную перспективу», г. Москва, 17 марта 2016 г.
4. **Зубков, В.Н.** Теория и методология организации местной работы в условиях концентрации управления перевозками на базе информационных технологий: монография / В.Н. Зубков, И.Н. Филатов, Е.А. Чеботарева // Ростов-н/Д, 2008. – 263 с.
5. **Иванов, П.А.** Программа развития вертикали управления движением / П.А. Иванов // Журнал «Железнодорожный транспорт». – 2015, №6, – с. 10-16.
6. **Черняев, А.Г.** На основе развития инфраструктуры и полигонных технологий / А.Г. Черняев, В.Н. Зубков, М.В. Бакалов // Журнал «Железнодорожный транспорт» №9, 2016, С. 32-37.
7. Программа организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации, 2015 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rzd-expo.ru/innovation/high_speed_traffic_and_infrastructure/prospects_for_the_development_of_high_speed_movement_in_russia.php
8. Официальный портал Правительства Ростовской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.donland.ru/Default.aspx?pageid=105113.
9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.donnews.ru/Skorostnaya-magistral-zakhvatit-Yuzhnyy-khab-i-oboydet-Rostov-s-zapada_1069.
10. **Черняев, А.Г.** О целесообразности специализации основных направлений Северо-Кавказской железной дороги преимущественно для пассажирских или грузовых перевозок А.Г. Черняев, В.Н. Шаманаев, В.Н. Зубков, М.В. Бакалов // Научный информационный сборник «Транспорт: наука, техника, управление» №9, 2016. – с. 36-43.

PROSPECTS OF INNOVATIVE ACTIVITIES ON RAILWAYS IN THE REGIONAL SECTION (ON THE EXAMPLE OF THE SOUTHERN REGION)

Chebotareva Evgenia Andreevna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Management of Maintenance Works»,
Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Phone: +7(863)272-64-44,
E-mail: Abrosmova@ya.ru

Bakalov Maksim Vladimirovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Management of Maintenance Works»,
Senior lecturer,
Phone: +7 9515029566,
E-mail: Maxim_bmw@mail.ru

The prospects of innovative activities on a rail transport in the regional section taking into account specifics of the organization of freight and passenger rail traffic in the Southern region are considered in the article.

Keywords: transport complex, rail transport, innovations, polygon technologies, high-speed traffic, intermodal communications, efficiency.

Bibliography:

1. Official site of the OJSC "Russian Railways" [An electronic resource]. – Mode of access http://rzd.ru/static/public
2. **Chernyaev, A.G.** Development of the management system of export shipments in the railway and sea transportation based on logistic and information technologies: monograph / A.G. Chernyaev, E. A. Chebotaryova, D. A. Lomash / Rostov-on-Don, 2013. – 186 pages.
3. Theses of the speech of the senior vice president of the OJSC "Russian Railways" A. S. Misharin at the meeting of Scientific and technical council of the OJSC "Russian Railways" on the topic: "The general scheme as basis of sustainable development of a rail transport for a long-term outlook", Moscow, March 17, 2016.
4. **Zubkov, V. N.** The theory and methodology of the organization of local work under the conditions of concentration of transportation management based on information technologies: monograph / V. N. Zubkov, I. N. Filatov, E. A. Chebotaryova/Rostov-on-Don, 2008. – 263 pages.
5. **Ivanov P. A.** Development program of the chain of traffic control / P. A. Ivanov//”Railway transport”, journal. – 2015, No. 6, – Page 10-16.
6. **Chernyaev, A.G.** On the basis of development of infrastructure and polygon technologies / A.G. Chernyaev, V. N. Zubkov, M. V. Bakalov//"Railway transport", journal. No. 9, 2016, P. 32-37.
7. The program of the organization of a fast and high-speed railway service in the Russian Federation, 2015. [An electronic resource]. – Mode of access http://www.rzd-expo.ru/innovation/high_speed_traffic_and_infrastructure/prospects_for_the_development_of_high_speed_movement_in_russia.php
8. Official portal of the Government of the Rostov region [An electronic resource]. – Mode of access: http://www.donland.ru/Default.aspx?pageid=105113.
9. [An electronic resource]. – Mode of access: http://www.donnews.ru/Skorostnaya-magistral-zakhvatit-Yuzhnyy-khab-i-oboydet-Rostov-s-zapada_1069
10. **Chernyaev, A.G.** About feasibility of specialization of the main directions of the North Caucasian railroad primary for passenger or freight transportation A. G. Chernyaev, V. N. Shamanayev, V. N. Zubkov, M. V. Bakalov//the Scientific and information collection "Transport: science, technology, management" No. 9, 2016. – Page 36-43.

УДК 656.2.003+06

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОЛИГОПОЛИИ – ПОДДЕРЖКА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Шагинян Сергей Георгиевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Экономика и менеджмент»,
Доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и менеджмент»,

E-mail: em@rgups.ru

Радченко Елена Владимировна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Экономика и менеджмент»,
Старший преподаватель,
E-mail: em@rgups.ru

Игнорирование базовых положений методологии экономической науки вызывает необоснованность корпоративных стратегий, тактических действий и неудовлетворенность потребителей. Новая экономическая модель может стать инструментом поддержки инноваций, которые сдерживают картелирование, а, следование за прогрессирующим лидером придаст позитивный импульс.

Ключевые слова: методология, рынок, инновации, транспортный комплекс

Библиографический список:

1. Чачина, О.Г. Факторы и механизм развития олигопольного взаимодействия операторов железнодорожного грузового подвижного состава: монография / О.Г. Чачина, С.Г. Шагинян /– М.: ФГОУ «УМЦ ЖДТ». – 2011.

2. Шагинян, С.Г. Экономическая теория – методология экономики транспорта / Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2015». – Ростов-на-Дону, РГУПС. – 2015.

REGULATION OLIGOPOLY - SUPPORT FOR INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RAILWAY TRANSPORT

Shaginyan Sergey Georgievich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair "Economics and management",
Ph. D. in Economics, Professor of Department "Economics and management",
E-mail: em@rgups.ru

Radchenko Elena Vladimirovna,
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair "Economics and management",
St. teacher of the Department "Economics and management",
E-mail: em@rgups.ru

Ignoring the basic provisions of the methodology of economics is unfounded corporate strategies, tactical operations and customer dissatisfaction. The new economic model can be a tool to support innovation that hinder cartels, and the follow up of the progressive leader will give a positive impetus.

Keywords: methodology, market, innovation, transport complex

Bibliography:

1. Chachina O.G. Factors and mechanisms of development of oligopolistic interaction of operators of railway freight rolling stock: a monograph / O.G. Chachina, S.G. Shahinian - M .: Federal State "UMTS ZHDT". - 2011.

2. Shahinian SG Economic theory - methodology Transport Economics / Proceedings of the International scientific-practical conference "Transport 2015". - Rostov-on-Don, RSTU. - 2015.

УДК 656.2 + 06

ПРИМЕНЕНИЕ АУТСОРСИНГА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Веревкина Ольга Ивановна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.
кафедра «Станции и грузовая работа»
к.т.н., доцент
Телефон 8 (863) 272-64-44
E-mail: ov18111966@mail.ru

Кравец Александра Сергеевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», кафедра «Управление эксплуатационной работой».
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.
кафедра «Управление эксплуатационной работой»
старший преподаватель
телефон 8 (863) 272-62-04,
E-mail: kas_upp@rgups.ru

Аутсорсинг в настоящее время является одной из наиболее интенсивно внедряемых технологий ведения транспортного бизнеса. В настоящей статье авторы провели анализ перспектив использования технологии аутсорсинга на железнодорожном транспорте и выявили проблемы, связанные с его внедрением в транспортной отрасли.

Ключевые слова: аутсорсинг, железнодорожный транспорт, бизнес-процессы, экономический эффект, рыночная экономика, внедрение бизнес-технологий

APPLICATIONS OUTSOURCING FOR RAILWAY ENTERPRISES

Verevkina Olga Ivanovna
Rostov State Transport University, Chair «Stations and cargo work»
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
Candidate of engineering sciences, associate professor
phone 8 (863) 272-64-44,
E-mail: ov18111966@mail.ru

Kravets Alexandra Sergeevna
Rostov State Transport University, Chair «Management of operational work»
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
assistant professor of «Management of operational work»
phone 8 (863) 272-62-04,
E-mail: kas_upp@rgups.ru

Currently outsourcing is one of the most rapidly implemented technologies doing transport business. In this paper, the authors analyzed outsourcing technology prospects in rail transport and they have identified the problems associated with its implementation in the transport sector.

Keywords: outsourcing, rail transport, business processes, economic impact, the market economy, business technology introduction.

УДК 629.45/.46+06

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ворон Олег Андреевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой,
Телефон: (863) 272-63-86,
E-mail: rgups_voron@mail.ru

Булавин Юрий Павлович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
Телефон: (863) 272-63-86,
E-mail: yp@bulavin.org

Волков Игорь Васильевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
кафедра «Электрический подвижной состав»,
доктор технических наук, профессор,
Телефон: (863) 272-62-67.
E-mail: igorvolkovrnd@rambler.ru

Коновалов Павел Юрьевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Электрический подвижной состав»,
Ассистент,
Телефон 8(863)2726490,
E-mail: pasha_konoval@fromru.com

Поставлена задача по снижению массы упаковки для перевозки энергетического оборудования. Построена твердотельная модель. Проведен расчет напряженно деформированного состояния методом конечных элементов.

Ключевые слова: энергетическое оборудование, контейнер, напряженно-деформированное состояние, масса, метод конечных элементов, твердотельная модель, платформа, упаковка

Библиографический список:

1. Волков, И.В. Прогнозирование динамических характеристик подвижного состава на основе математического моделирования: монография / И.В. Волков. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 136 с.

2. Волков, И.В. Механическая часть электрического подвижного состава: учебное пособие / И.В. Волков, Ю.П. Булавин и др. – Ростов н/Д: РГУПС, 2007. – 92 с.

3. Булавин, Ю.П. Оценка напряженно-деформированного состояния упаковки для перевозки котлоагрегатов. / Ю.П. Булавин // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2014» в 4-х частях. 2014. – Ростов н/Д, 2014. – С. 22–24.

4. Волков, И.В. Совершенствование динамических характеристик электровоза ВЛ85 при движении в кривых участках пути / И.В. Волков, В.Г. Рубан // Повышение эффективности работы локомотивов на дорогах Дальнего Востока: межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск: ХабИИЖТ, 1987. – С. 59-64.

EVALUATION OF THE STRESS-STRAIN STATE TRANSPORTATION PACKAGE FOR ENERGY EQUIPMENT

Voron Oleg Andreyevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Car and car facilities»,
Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor, Head of the Chair,
Phone: (863) 272-63-86,
E-mail: rgups_voron@mail.ru

Bulavin Yuri Pavlovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Car and car facilities»,
Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor,
Phone: (863) 272-63-86,
E-mail: yp@bulavin.org

Volkov Igor Vasilievich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Electric transport »,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Phone: (863) 272-64-90,
E-mail: igorvolkovrnd@rambler.ru

Konovalov Pavel Yurievich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Assistant of the of the department «Electric transport»,
Phone: 8(863)2726490,
E-mail: pasha_konoval@fromru.com

The problem on decreasing the pack mass to transport power equipment has been set. A solid-state model has been constructed. The calculation of the deflected mode with the finite-element method has been done.

Keywords: transportation package, energy equipment, finite element method, cad model, stress-strain state, weight, railway car

Bibliography:

1.**Volkov, I.V.** Prediction of dynamic characteristics of rolling stock based on mathematical modeling / I.V. Volkov. – Rostov-on-Don: publishing house (издательство) Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 136 p.

2 **Volkov, I.V.** The mechanical part of the electric rolling stock: tutorial / I.V. Volkov, Y.P. Bulavin –Rostov-on-Don: RSTU, 2007/ – 92 p.

3. **Bulavin Y.P.** Evaluation of the stress-strain state transportation package for boiler units / Y.P. Bulavin // Proceedings of international scientific and practical conference «Transport-2014» in 4 parts. 2014. – Rostov-on-Don, 2014. – P.22-24

4. **Volkov, I.V.** Improving the dynamic characteristics of an electric locomotive VL85 when driving in curves track sections / I.V. Volkov, V.G. Ruban // Improving the efficiency of the locomotives on the roads of the Far East: Intercollege. Sat. scientific. tr. - Khabarovsk: HabIIZhT, 1987. - P. 59-64.

УДК 629.423.1 + 06

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ

Зарифьян Александр Александрович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Электрические машины и аппараты»,
Аспирант заочного обучения,
ООО «ТРТранс»,

Инженер по тяговым системам 2-й категории;
346413, г. Новочеркасск, Ростовской обл., ул. Машиностроителей, 3
Телефон: +7 904 347 94 83,
E-mail: zar.plgrph@gmail.com

Выполнен анализ показателей энергетической эффективности новых грузовых электровозов с асинхронным тяговым приводом в реальных условиях эксплуатации. Приведены полученные при помощи бортового регистратора графики скорости, силы тяги, полной потребленной мощности и мощности на тягу, а также эксплуатационного КПД электровоза. Произведен анализ показателей энергоэффективности в различных условиях, сформулированы предложения по их улучшению.

Ключевые слова: грузовой электровоз, асинхронный тяговый привод, сеть переменного тока, показатели энергетической эффективности

Библиографический список:

1. Сорокин, С.В. Повышение экономичности многосекционных электровозов переменного тока при вождении грузовых поездов. / Автореферат дисс. к.т.н. – М.: МИИТ, 1991.

2. Крыгин, А.Н. Способы повышения эксплуатационной энергетической эффективности магистральных электровозов переменного тока. / Автореферат дисс. к.т.н. – Омск, ОмГУПС, 1998.

3. Мурзин, Д.В. Пути и средства расширения функциональных возможностей и повышения эффективности эксплуатируемых магистральных электровозов. / Автореферат дисс. к.т.н. – Омск, ОмГУПС, 2000.

4. Фадеев, С.В. Повышение экономичности электровозов переменного тока за счет применения новых электронных систем управления. / Автореферат дисс. к.т.н. – М.: МИИТ, 2003.

5. Пыров, А.Е. Современные системы управления электровозами // Железнодорожный транспорт. – 2005. – №2. – С. 64-66.

6. Фуфрянский, Н.А. Развитие локомотивной тяги / Н.А. Фуфрянский, А.Н. Долганов, А.С. Нестрахов и др. – М.: Транспорт, 1988. – 344 с.

7. Зарифьян, А.А. Алгоритм повышения энергетической эффективности электровозов с асинхронным тяговым приводом при питании от сети постоянного тока / А.А. Зарифьян (мл.) // Вестник РГУПС – 2016. – №1. – С. 50-61.

INDICATORS OF ENERGY EFFICIENCY FOR FREIGHT ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH ASYNCHRONOUS TRACTION DRIVE

Alexander A. Zarifyan
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Electrical machines and apparatus»,
Postgraduate student,
Traction systems engineer of 2nd category, TRTrans LLC
Phone: +7 904 347 94 83
E-mail: zar.plgrph@gmail.com

The article analyzes the indicators of energy efficiency of new electric freight locomotives with asynchronous traction drive under real operating conditions. The graphs of the speed, the traction force, the total power consumption and the traction power, as well as operational efficiency of the electric locomotive obtained by the board recorder are shown. The analysis of energy

efficiency indicators in different conditions was produced, the proposals for their improvement are formulated.

Keywords: electric freight locomotive, asynchronous traction drive, AC power supply, indicators of energy efficiency

Bibliography:

1. **Sorokin, S.V.** Povysheniye ekonomichnosti mnogosektsionalnykh elektrovozov peremennogo toka privozhdenii gruzovykh poyezdov [Increasing Economic Efficiency of Multi-Sectional Alternating-Current Electrical Locomotives when Driving Freight Trains]. Moscow, MIIT, 1991. 24 p.
2. **Krygin, A.N.** Sposoby povysheniya ekspluatatsionnoy energeticheskoy effektivnosti magistralnykh elektrovozov peremennogo toka [Methods for Increasing Operational Energy Efficiency of Long-Distance Alternating-Current Electrical Locomotives]. Omsk, OmGUPS, 1998. 22 p.
3. **Murzin, D.V.** Puti i sredstva rasshireniya funktsionalnykh vozmozhnostey i povysheniya effektivnosti ekspluatiruyemykh magistralnykh elektrovozov [Ways and Means for Expanding Functional Possibilities and Increasing Efficiency of Long-Distance Electrical Locomotives in Operation]. Omsk, OmGUPS, 2000. 21 p.
4. **Fadeyev, S.V.** Povysheniye ekonomichnosti elektrovozov peremennogo toka za schet primeneniya novykh elektronnykh sistem upravleniya [Increasing Economic Effi ciency of Alternating-Current Electrical Locomotives through Application of New Electronic Control Systems]. Moscow, MIIT, 2003. 24 p.
5. **Pyrov, A.Y.** Modern control system for electric locomotives – Zheleznodorozhny transport [Railway Transport], 2005, no. 2, pp. 64–66.
6. **Fufrianskiy N.A.** Development of locomotive traction. Fufrianskiy N.A., Dolganov A.N. [and others]. – M.:Transport, 1988. 344 p.
7. **Zarifyan, A.A.** Algorithm for increasing the energy efficiency of electric locomotives with asynchronous traction drive feeding from dc contact network. – Vestnik RGUPS. 2016, №1. Pp. 50-61.

УДК 621.810

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРИГИНАЛЬНОЙ МУФТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ КОЗЛОВОГО КРАНА

Кобзев Кирилл Олегович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»,
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина,1,
Кафедра «Естественные науки»,
E-mail: Kobzevkirill1990@mail.ru

Месхи Бесарион Чохоевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»,
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина,1,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»,

E-mail: Kobzevkirill1990@mail.ru

При использовании муфт для достижения точности позиционирования механизма перемещения грузовой тележки козлового крана следует выполнить расчет и проектирование управляющего устройства в целом и его отдельных элементов; расчет и проектирование основной и дополнительной фрикционных групп; расчет и проектирование нажимного узла.

Ключевые слова: точность позиционирования, предохранительная муфты, редуктор, механизм перемещения козлового крана.

Библиографический список

1. **Запорожченко, Р.М.** О характеристиках предохранительных фрикционных муфт повышенной точности срабатывания // Изв. вузов. Машиностроение. – 1971. – № 1. – С. 48–52.

2. **Запорожченко, Р.М.** К вопросу об эффективности фрикционных предохранительных муфт с точки зрения снижения веса приводов // Вестн. Харьк. политех. ин-та. – 1971. – Вып. I.XIV, № 58. – С. 16–19.

3. **Шишкарев, М.П.** Методологические основы расчета и проектирования адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев, К.О. Кобзев / Интернет-журнал «Науковедение», 2013 № 4(17) [Электронный ресурс].– М. 2013. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/19tvn513.pdf, свободный – Загл. с экрана.

PRINCIPLES OF THE PROCEDURE FOR CALCULATING AND DESIGN ORIGINAL CLUTCH ENSURING REDUCTION OF DYNAMIC LOADS WHEN MOVING TRUCK LOAD OF GANTRY CRANE

Kobzev Kirill O.
Federal State Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University",
sq. Gagarina 1, Rostov-on-Don, 344000,
Lecturer in "Science",
E-mail: Kobzevkirill1990@mail.ru
Meskhi Besarion Chohoevich
Federal State Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University",
sq. Gagarina 1, Rostov-on-Don, 344000,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department "Life Safety and Environmental Protection",
E-mail: Kobzevkirill1990@mail.ru

When using the clutch to achieve precision positioning mechanism for moving the trolley gantry crane should perform the calculation and design of the control unit as a whole and its individual components; calculation and design of the main and additional frictional groups; calculation and design of the pressure unit.

Keywords: positioning accuracy, safety clutch, gearbox, mechanism for moving the gantry crane.

Bibliography:

1. **Zaporozhchenko, R.M.** On the characteristics of safety clutches of high accuracy operation // Math. universities. Mechanical Engineering. 1971. № 1. S. 48-52.

2. **Zaporozhchenko, R.M.** On the question of the effectiveness of the friction safety clutches in terms of weight reduction drives // Vestn. Kharkov. Polytechnic. Inst. 1971. Vol. V, № 58. S. 16-19.

3. **Shishkarev, M.P.** Methodological bases of calculation and design of adaptive friction clutches // Internet magazine "Naukovedenie" 2013 № 4 (17) [electronic resource] .- M., 2013. - Access: http://naukovedenie.ru/PDF/19tvn513.pdf free - Caps. screen.

УДК 629.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШКВОРНЕВОГО УЗЛА РАМЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЛУВАГОНА

Кобищанов Владимир Владимирович
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет»,
241035, Россия, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7,
Кафедра «Подвижной состав железных дорог»,
Доктор технических наук, профессор,
Телефон: +7(4832)560466,
E-mail: wagon@tu-bryansk.ru

Антипин Дмитрий Яковлевич
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет»,
241035, Россия, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7,
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой,
Телефон: +7(4832)560466,
E-mail: adya24@rambler.ru

Расин Дмитрий Юрьевич
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет»,
241035, Россия, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7,
Кандидат технических наук, доцент,
Телефон: +7(4832)560466,
E-mail: wagon@tu-bryansk.ru

Шорохов Сергей Геннадьевич
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет»,
241035, Россия, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7,
Кандидат технических наук, доцент,
Телефон: +7(4832)560466,
E-mail: shorsg@yandex.ru

Методами математического моделирования проведено исследование прочности и усталостной долговечности сварной несущей конструкции кузова полувагона. Установлены причины возникновения трещиноподобных дефектов в шкворневом узле вагона. Предложены варианты совершенствования несущей конструкции шкворневых узлов вновь производимых полувагонов и ремонта вагонов с обнаруженными дефектами. Для доработанного варианта конструктивного исполнения шкворневого узла полувагона выполнен комплекс расчетов, подтверждающих его работоспособность.

Ключевые слова: твердотельное математическое моделирование, метод конечных элементов, полувагон, шкворневой узел, прочность, усталостная долговечность, трещиноподобные дефекты.

Библиографический список:

1. **Kobishanov, V.V**. Emergency Situations, Based on Simulation/ V.V. Kobishanov, G.S. Mihalchenko, V.P. Tihomirov, G.A. Fedyaeva, D.Y. Antipin, S.G. Shorohov //World Applied Sciences Journal. – 2013. – № 24. – P. 86-90.
2. **Kobishanov, V.V.** Passenger Car Safety Prediction/ V.V. Kobishanov, V.P. Lozbinev, V.I. Sakalo, D.Y. Antipin, S.G. Shorohov, A.M. Vysocky// World Applied Sciences Journal (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), 2013. – № 24. – P. 208-212.
3. **Kovalev, R.**, Freight car models and their computer-aided dynamic analysis/ R. Kovalev, N. Lysikov, G. Mikheev, D. Pogorelov, V. Simonov, V. Yazykov, S. Zakharov, I. Zharov, I. Goryacheva, S. Soshenkov, E.Torskaya// Multibody System Dynamics. – 2009. – № 22(4). – P. 399-423.
4. **Antipin, D.** Research of dynamic load capacity of tipper car using mathematical model method/ D. Antipin, T. Motyanko, D. Rasin// 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). – Tomsk: IEEE, 2015. – P. 1-3.
5. **Kobishchanov, V.** Justification of technical solutions of intercar gangway based on solid-state mathematical modeling/ V. Kobishchanov, D. Antipin, E. Chechulin, K. Kolyasov // 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), Tomsk. – 2015.

DEVELOPMENT OF A DESIGN OF PIVOT CENTER OF THE OPEN-TOP UNIVERSAL WAGON FRAME

Kobishchanov Vladimir Vladimirovich
Bryansk State Technical University
7, Blvd. 50 years of October, Bryansk, Russia, 241035,
Chair «Rolling Stock of Railways»,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Phone: +7(4832)560466,
E-mail: wagon@tu-bryansk.ru

Antipin Dmitry Yakovlevich
Bryansk State Technical University
7, Blvd. 50 years of October, Bryansk, Russia, 241035,
Chair «Rolling Stock of Railways»,
Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of Chair «Rolling Stock of Railways»,
Phone: +7(4832)560466,
E-mail: adya24@rambler.ru

Rasin Dmitry Ur'evich
Bryansk State Technical University
7, Blvd. 50 years of October, Bryansk, Russia, 241035,
Chair «Rolling Stock of Railways»,
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Phone: +7(4832)560466,
E-mail: wagon@tu-bryansk.ru
Shorokhov Sergey Gennad'evich
Bryansk State Technical University,

7, Blvd. 50 years of October, Bryansk, Russia, 241035,
Chair «Rolling Stock of Railways»,
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Phone: +7(4832)560466,
E-mail: shorsg@yandex.ru

The study of strength and fatigue life of welded load-bearing structure of the open-top wagon body was carried out by methods of mathematical simulation . The causes of occurrence of crack-like defects in the pivot center of the wagon were detected. Options to improve load-bearing structure of the pivot center of newly manufactured open-top wagons and repaired wagons with defects were proposed. For the modified design of open-top wagon pivot center conception were made the complex calculations, confirming its efficiency.

Keywords: Solid mathematical modeling, finite element method, open top wagon, pivot center, strength, fatigue life, crack-like defects

Bibliography:

1. **Kobishanov, V.V.** Emergency Situations, Based on Simulation/ V.V. Kobishanov, G.S. Mihalchenko, V.P. Tihomirov, G.A. Fedyaeva, D.Y. Antipin, S.G. Shorohov // World Applied Sciences Journal. – 2013. – № 24. – P. 86-90.

2. **Kobishanov, V.V.** Passenger Car Safety Prediction/ V.V. Kobishanov, V.P. Lozbinev, V.I. Sakalo, D.Y. Antipin, S.G. Shorohov, A.M. Vysocky // World Applied Sciences Journal (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), 2013. – № 24. – P. 208-212.

3. **Kovalev, R.**, Freight car models and their computer-aided dynamic analysis/ R. Kovalev, N. Lysikov, G. Mikheev, D. Pogorelov, V. Simonov, V. Yazykov, S. Zakharov, I. Zharov, I. Goryacheva, S. Soshenkov, E.Torskaya // Multibody System Dynamics. – 2009. – № 22(4). – P. 399-423.

4. **Antipin, D.** Research of dynamic load capacity of tipper car using mathematical model method / D. Antipin, T. Motyanko, D. Rasin // 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). – Tomsk: IEEE, 2015. – P. 1-3.

5. **Kobishchanov, V**. Justification of technical solutions of intercar gangway based on solid-state mathematical modeling/ V. Kobishchanov, D. Antipin, E. Chechulin, K. Kolyasov // 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), Tomsk. – 2015.

УДК 629.423 + 06

АНАЛИЗ РАСХОДА СИСТЕМ ПЕСКОПОДАЧИ ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ

Волков Игорь Васильевич
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
г. Ростов-на-Дону, Россия, 344038.
Кафедра «Электрический подвижной состав»
профессор
Телефон: 8-863-272-64-90
e-mail: igorvolkovrnd@rambler.ru

Булавин Юрий Павлович
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
г. Ростов-на-Дону, Россия, 344038.
Кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»
доцент
Телефон: +7-908-199-20-99
e-mail yp@bulavin.org

Коновалов Павел Юрьевич
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
г. Ростов-на-Дону, Россия, 344038.
Кафедра «Электрический подвижной состав»
ассистент
Телефон: 8-863-272-64-90
e-mail: pasha_konoval@fromru.com

Рассмотрен способ определения оптимального количества песка с учетом фактических условий эксплуатации, таких как скорость движения локомотива и влажность рельса, а также найдены максимальные скорости движения, при которых возможна реализация рекомендованного количества песка с учетом различного расхода форсунок песочниц.

Ключевые слова: сцепление колес с рельсами, система пескоподачи локомотива, количество песка на погонный метр релса

Библиографический список:

1. **Ковтанец М.В., Найш Н.М., Кравченко Е.А., Кара С.В.** Усовершенствование способа работы песочной системы локомотива в стрелочном переводе // Луганс. Вестник ЛНУ им. В. Даля. – 2011, – №4, – Ч1, – С. 74-77

2**. Волков И.В., Коновалов П.Ю.** Усовершенствование системы пескоподачи локомотивов // Конференция «Механика и трибология транспортных систем: сборник докладов. – Ростовн/Д. ФГБОУ ВПО РГУПС. – 2011, – С. 170–172

3. **Исаев И.П.** Физико-химическая механика сцепления // Сборник. Труды МИИТа. – М. МИИТ. – 1973, – 190 с.

4. **Каменев Н.Н.** Эффективное использование песка для тяги поездов // Труды ВНИИЖТ. – М. Транспорт. – 1968. 88 с.

5. **Деев, В.В.** Тяга поездов: Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт. –1987. 264 с.

ANALYSIS OF FLOW SAND FEEGING SYSTEMS OF LOCOMOTIVES TO STABILIZE THE VALUE OF THE COEFFICIENT OF FRICTION

Volkov Igor Vasilievich
Rostov State University of Transport Communication
Sq. RostovskogoStrelkovogo Polka Narodnogoopolchenya, 2,
Rostov-on-Don, Russia, 344038.
Professor of the department «Electric transport»
Phone: 8-863-272-64-90
e-mail: igorvolkovrnd@rambler.ru

Bulavin Yuri Pavlovich.
Rostov State University of Transport Communication
Sq. RostovskogoStrelkovogo Polka Narodnogoopolchenya, 2,
Rostov-on-Don, Russia, 344038.

Docent «Electric transport»
Phone: +7-908-199-20-99,
e-mail: yp@bulavin.org

Konovalov Pavel Yurievich
Rostov State University of Transport Communication
Sq. RostovskogoStrelkovogo Polka Narodnogoopolchenya, 2,
Rostov-on-Don, Russia, 344038.
Assistant of the of the department «Electric transport»
Phone: 8-863-272-64-90
e-mail: pasha_konoval@fromru.com

The method of determining the optimal amount of sand based on the actual operating conditions such as speed of movement of the locomotive and the humidity of the rail, and found the maximum speed at which a possible implementation of the recommended amount of sand subject to different flow rate injectors sandbox.

Keywords: friction of wheels with rails, sand feeding system of locomotive, the amount of sand per meter of rels

Bibliography:

1. **Kovtunets M. V., Naish N. M. Kravchenko E. A., Kara S. V.** The improvement of the method of operating a sand system of the locomotive in a needle translation // Lugans. Herald of LNU. V. Dal. – 2011, – №4, – P1, – P. 74-77
2. **Volkov I. V., Konovalov P. Y.** Improvement of the system of episcopacy locomotives // Conference "Mechanics and tribology of transport systems: collection of papers. – Rostov/D. FGBOU VPO RGUPS. – 2011, – Pp. 170-172
3. **Isaev I. P.** Physico-chemical mechanics of the clutch // Collection. Proceedings Of The MIIT. – M. MIIT. – 1973, – 190 C.
4. **Kamenev N.N.** Efficient use of sand for traction // Proceedings of VNIIZHT. – M. Transport. – 1968. 88 p.
5. **Deev, V.** Trains: textbook for universities. – M.: Transport. -1987. 264 p.

УДК 625.143

НАГРУЖЕННОСТЬ УПРУГИХ КЛЕММ РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ АРС-4 НА УЧАСТКАХ ДВИЖЕНИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ

Коссов Валерий Семенович
Генеральный директор акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» («ВНИКТИ»),
140402, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410
Доктор технических наук, профессор
E-mail: vnikti@ptl-kolomna.ru

Бидуля Александр Леонидович
Заместитель генерального директора акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» («ВНИКТИ»),
140402, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410
Кандидат технических наук

E-mail: vniti-sps@ptl-kolomna.ru

Краснов Олег Геннадьевич
Заведующий отделом пути и специального подвижного состава акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» («ВНИКТИ»),
140402, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410
Кандидат технических наук
E-mail: vniti-sps@ptl-kolomna.ru

Акашев Михаил Геннадьевич
Сотрудник отдела пути и специального подвижного состава акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» («ВНИКТИ»),
140402, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410
Инженер I категории
E-mail: vniti-sps@ptl-kolomna.ru

В статье представлены результаты теоретических, стендовых и эксплуатационных испытаний по нагруженности упругих клемм анкерного скрепления АРС-4. Расчетно-экспериментальным путем установлено, что при данном уровне монтажных и динамических напряжений, зарегистрированных от действия колес тяжеловесных поездов, коэффициент запаса сопротивления усталости упругих клемм достаточный для их надежной работы. Изломы упругих клемм возможны из-за некачественной термообработки и дефектов поверхности прутка.

Ключевые слова. Упругие клеммы, анкерное скрепление АРС-4, конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние, стендовые испытания, эксплуатационная нагруженность, запас прочности.

Библиографический список

1. **Воробьев В.Б.** Сравнительный анализ перспективных рельсовых скреплений // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 5–12.
2. **Ермаков В.М.** Скрепления для железобетонных шпал: требования, обоснования, оценка // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 9–16.
3. **Карпущенко Н.И.** Надежность скреплений / Н.И. Карпущенко, Д.В. Величко // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 10. – С. 4–8.
4. **Круглов В.М.** Испытание скреплений АРС на Красноярской дороге / В.М. Круглов, Ю.М. Аксенов, А.Ю. Богачев [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2017. – № 5. – С. 15–18.
5. **Зарембски А.М.** Характеристика скреплений для деревянных шпал // Железные дороги мира. – 1986. – № 2. – С. 55–59.
6. ТУ 3185-001-1115863-2009. Клемма анкерного рельсового скрепления АРС-4.
7. **Наговицын В.С.** Оценка параметров пружинных скреплений рельсов ЖБР-65 методом модельных компьютерных испытаний / В.С. Наговицын, В.Г. Кривоногов // ВИНИТИ: Транспорт. Наука. Техника. Управление. – 2002. – № 11. – С. 2–5.
8. **Кочергин В.В.** Влияние одноточечного и двухточечного контакта колес и рельсов на нагружение рельсовых скреплений / В.В. Кочергин, И.Н. Максимов, В.О. Певзнер // Вестник ВНИИЖТ. – 2009. – № 3. – С. 35–39.
9. **Ронжина Ю.В.** Перспективы производства и термического упрочнения упругих клемм рельсовых скреплений // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 5. – С. 52–55.
10. Проведение конечно-элементных вариантных расчетов прутковой клеммы скреплений ЖБР-65: отчет о науч.-исслед. работе. – М.: МГУПС (МИИТ). – 56 с.

LOADING OF ELASTIC CLIPS OF RAIL FASTENING ARS-4 IN SECTIONS OF HEAVY TRAINS MOVEMENT

Kossov Valery Semenovich
Director General of Joint Stock Company "Scientific-Research and Design-Technology Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI")
410, Oktyabrskoy Revolutsii str., Kolomna, Moscow region, 140402, Russia
Doctor of Engineering, Professor
E-mail: vnikti@ptl-kolomna.ru

Bidulya Aleksandr Leonidovich
Deputy Director General of Joint Stock Company "Scientific-Research and Design-Technology Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI")
410, Oktyabrskoy Revolutsii str., Kolomna, Moscow region, 140402, Russia
Candidate of Engineering science
E-mail: vniti-sps@ptl-kolomna.ru

Krasnov Oleg Gennadyevich
Head of Department of track and special rolling stock of Joint Stock Company "Scientific-Research and Design-Technology Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI")
410, Oktyabrskoy Revolutsii str., Kolomna, Moscow region, 140402, Russia
Candidate of Engineering science
E-mail: vniti-sps@ptl-kolomna.ru

Akashev Mikhail Gennadyevich
Department of track and special rolling stock of Joint Stock Company "Scientific-Research and Design-Technology Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI")
410, Oktyabrskoy Revolutsii str., Kolomna, Moscow region, 140402, Russia
First category engineer
E-mail: vniti-sps@ptl-kolomna.ru

In the article results of theoretical, bench and field tests on loading of elastic clips of anchor fastening ARS-4 are provided. The design and experiments have proved that at this level of assembly and dynamic stresses recorded from acting of heavy train wheels the fatigue safety factor of elastic clips is sufficient for their reliable work. Fractures of elastic clips can occur because of a low-quality heat treatment and surface defects of a bar.

Keywords. Elastic clips, anchor fastening ARS-4, a finite-element model, a stress-strain state, bench tests, operational loading, a safety factor.

Bibliography:

1. **Vorobyev V.B.** Comparative analysis of perspective rail fastenings// Track and track facilities. – 2016. – No. 6. – pp. 5–12.
2. **Yermakov V.M.** Fastenings for reinforced concrete cross ties: requirements, justifications, assessment // Track and track facilities. – 2009. – No. 2. – pp. 9–16.
3. **Karpushchenko N. I.** Reliability of fastenings / N.I. Karpushchenko, D.V. Velichko // Track and track facilities. – 2008. – No. 10. – pp. 4–8.
4. **Kruglov V. M.** Testing of fastenings ARS on Krasnoyarskaya Road / V. M. Kruglov, Yu. M. Aksenov, A. Yu. Bogachyov [et al.] // Track and track facilities. – 2017. – No. 5. – pp. 15–18.
5. **Zarembski A. M.** Characteristics of fastenings for wooden cross ties// Rail International. – 1986. – No. 2. – pp. 55–59.

6. Technical Specification 3185-001-1115863-2009. The clip of anchor rail fastening ARS-4.

7. **Nagovitsyn V. S.** The assessment of parameters of spring rail fastenings ZhBR-65 with the method of model computer tests / V. S. Nagovitsyn, V. G. Krivonogov//VINITI: Transport. Science. Equipment. Management. – 2002. – No. 11. – pp. 2–5.

8. **Kochergin V. V.** The influence of a single-point and two-point wheel and rail contact on loading of rail fastenings / V. V. Kochergin, I. N. Maksimov, V. O. Pevzner// VNIIZhT Reporter. – 2009. – No. 3. – pp. 35–39.

9. **Ronzhina Yu. V.** Prospects of manufacturing and thermal hardening of elastic clips of rail fastenings // VNIIZhT Reporter. – 2012. – No. 5. – pp. 52–55.

10. Carrying out finite-element variants calculations of bar clips of fastenings ZhBR-65: reporting on the research work. – M.: MGUPS (MIIT). – 56 p.

УДК 629.463.077-592-52

О НОРМИРОВАНИИ ВЕЛИЧИНЫ ВЫХОДА ШТОКА ДЛЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С РАЗДЕЛЬНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ

Синицын Владимир Владимирович
АО «Управляющая компания «Брянский машиностроительный завод»,
241015, Россия, г. Брянск, ул. Ульянова, д. 26,
ведущий инженер-конструктор ОКВ ИЦ,
кандидат технических наук,
Телефон: 8(4832) 36-00-69, 8 (905) 188-35-31,
E-mail: universalmasch@yandex.ru

Обоснована проблема нормирования выхода штока в тормозных системах грузовых четырехосных вагонов с раздельным потележечным приводом. Определены теоретически обоснованные предельные значения выхода штока для таких вагонов. Предложено применение цилиндров с увеличенным выходом штока для всех вагонов с раздельным торможением, а также увеличение нормативного значения нижней границы выхода штока.

Ключевые слова: рычажная передача, упругая составляющая выхода штока, передаточное отношение, нормирование, методика, предельные значения, средний зазор.

Библиографический список:

1. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от «6-7 мая 2014 г. № 60). – 180 с.

2. **Синицын, В.В.** Методика расчета выхода штока тормозного цилиндра грузовых четырехосных вагонов с учетом упругой составляющей/В.В. Синицын// Тяжелое машиностроение. – 2015. – Вып. 6. – С. 19-23.

3. Общее руководство по ремонту тормозного оборудования вагонов 732-ЦВ-ЦЛ, ПКБ ЦВ ОАО «РЖД», 2011. – 198 с.

4. Альбом-справочник. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. – 002И-2006 ПКБ ЦВ, 2006. – 535 с.

5. **Сипягин, Е.С.** Авторежим 265А-4 повышает межремонтный пробег/Е.С. Сипягин//Вагоны и вагонное хозяйство. – 2009. – Вып. 2. С. 32-34.

6. Пат. 62079 Российская Федерация. МПК B61H 13/28. Механическая часть тормоза железнодорожного транспортного средства/В.В. Синицын, И.С. Козырева, Е.И. Солдатенкова – № 2006141024/22; заявл. 20.11.2006; Опубл. 27.03.07, Бюл. № 9.

7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

8. **Аввакумов, А.С.** Пат. 2086446 Российская Федерация МПК B61H 13/20. Механическая часть тормоза грузового вагона/А.С. Аввакумов. – № 94036065/11; заявл. 26.09.1994; Опубл. 10.08.1997, Бюл. № 22.

9. **Коржов, С.Н.** Исследование тормозных систем грузовых вагонов на тележках новой конструкции /С.Н. Коржов //Повышение эффективности грузовых вагонов и их узлов: сб. науч. тр./Инж. центр вагоностроения. - СПб.: ОМ-Пресс, 2013. - Вып. 12. - С. 84-93.

ABOUT THE STANDARDIZATION VALUE OF THE OUTPUT ROD TO BRAKE SYSTEMS OF FREIGHT CARS WITH SEPARATE BRAKE

Sinitsyn Vladimir Vladimirovich
JSC "Management company "Bryansk engineering plant",
26d, Ulyanova str., g. Brjansk, Russia, 241015,
leading engineer-designer of the OKW IC,
candidate of technical Sciences,
Phone: 8(4832) 36-00-69, 8 (905) 188-35-31,
e-mail: universalmasch@yandex.ru

The article justifies the problem of normalization of the output rod in the brake system four-axle freight wagons with independent bogie drive. Identified theoretically grounded limit value of the output of the stock for such cars. The proposed use of the cylinder with increased output of stock for all cars with single braking, and increase the normative values of the lower boundary of the output shaft.

Keywords: leverage, the elastic component of the output rod, gear ratio, regulation, methods, limit values, medium clearance.

Bibliography:

1. Rules of maintenance of the brake equipment and brake control for rail vehicles. Approved by the Council for rail transport of the States-members of Commonwealth (the Protocol from "6-7 may 2014, No. 60). – 180 p.

2. **Sinitsyn, V. V.** Method of calculation of the output rod of the brake cylinder truck four-axle cars with regard to elastic components/V. V. Sinitsyn// Heavy mechanical engineering. – 2015. – Vol. 6. – pp. 19-23.

3. General guidelines for repair of brake equipment of wagons 732-TSV-TSL, PKB CV of JSC "RZD", 2011. – 198 p.

4. The album catalog. Freight cars railroad gauge of 1520 mm. - 002I-2006 PKB CV, 2006. - 535 p.

5. **Sipyagin, E. S**. Auto 265A-4 increases the between-repairs run/E. S. Sipyagin//Railcars and railcar facilities. – 2009. – Vol. 2. pp. 32-34.

6. Pat. 62079 Russian Federation. IPC B61H 13/28. Mechanical part of the brake of a railway vehicle/V. V. Sinitsyn, I. S. Kozyrev, E. I. Soldatenkov – No. 2006141024/22; Appl. 20.11.2006; Publ. 27.03.07, Bull. No. 9.

7. Norms for calculation and design of cars of the Railways, MPS 1520 mm (dumb). – M.: GosNIIV-VNIIZHT, 1996. – 319 p.

8. **Avvakumov, A.S.** Pat. 2086446 Russian Federation IPC B61H 13/20. The mechanical part of freight car brakes/A. S. Avvakumov, A.S. – No. 94036065/11; Appl. 26.09.1994; Publ. 10.08.1997, Bull. No. 22.

9. **Korzhov, S. N.** Study of brake systems of freight cars on bogies of a new design /S. N. Korzhov //improving the efficiency of freight wagons and their components: SB. nauch. Tr./Ing. center of car building. - SPb.: OM-Press, 2013. - Vol. 12. - pp. 84-93.

УДК 629.423.3 + 06

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОВОЗА ВЛ80^{С} ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОПРОСОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Сироткин Вячеслав Викторович;
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Локомотивы и локомотивное хозяйство»,
Аспирант,
E-mail: viachieslav.sirotkin.93@mail.ru

Обоснована актуальность исследования по повышению энергетической эффективности за счет отключения некоторого числа тяговых двигателей. Сформулированы задачи компьютерного моделирования электровоза ВЛ80^{С} для изучения вопросов энергоэффективности, рассмотрены варианты электронных систем ослабления возбуждения тяговых двигателей.

Ключевые слова: компьютерная модель электровоза, энергоэффективность, индуктивный шунт.

Библиографический список:

1. Стратегия развития холдинга ОАО «РЖД» до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://doc.rzd.ru/doc/public/ru/kbshzd/rzd?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396.

2. Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года [Электронный ресурс]. − Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=4043&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704.

3. Киржнер, Д.Л. Электрические схемы электровоза ВЛ10К / Д.Л. Киржнер, А.Е. Пыров [и др.] − Локомотив. − 2005, №8. − С. 15-18.

4. Андрющенко, А.А. Асинхронный тяговый привод локомотивов / А.А. Андрющенко, Ю.В. Бабков, А.А. Зарифьян [и др.]; – М.: Изд-во УМЦ ЖДТ, 2013. – 413 с.

5. Николаев, А.Ю. Устройство и работа электровоза ВЛ80С / Под ред. А.Ю. Николаева. − М.: Маршрут, 2006. − 512 с.

6. Электронные системы регулирования возбуждения для электрического подвижного состава / А.С. Мазнев, О.И. Шатнев, А.М. Евстафьев // Вестник РГУПС.- №3.-2007.- С. 12- 17

7. Калинин, М.В. Электронные системы ослабления возбуждения тяговых двигателей электровозов переменного тока // Известия Петербургского университета путей сообщения, выпуск 2, СПб, ПГУПС, 2009. − С. 18 − 28.

CONSTRUCTION OF COMPUTER MODEL OF ELECTRIC LOCOMOTIVE ВЛ80^{С} FOR INVESTIGATION OF ENERGY EFFICIENCY

Sirotkin Vyacheslav Viktorovich
Rostov State Transport University,

2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Locomotive»,
Postgraduate student,
E-mail: viachieslav.sirotkin.93@mail.ru.

The research of energy efficiency increase due to shutdown of some number of traction engines is justified. Objectives of the computer modeling of electric locomotive ВЛ80^{С} for studying of questions of energy efficiency are stated, options of electronic systems of weakening of excitement of traction engines are considered.

Keywords: computer model of electric locomotive, energy efficiency, inductive shunt.

Bibliography:

1. Strategy of Development of JSC «Russian Railways» up to 2030 [electronic resource]. – Access mode: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru/kbshzd/rzd?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396.
2. Energy Strategy of JSC «Russian Railways» for the period up to 2010 and till to 2030 [electronic resource]. − Access mode: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=4043&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704.
3. **Kirzhner D.L.** Electrical Circuits of Electric Locomotive ВЛ10К / D.L. Kirzhner, A.E. Pyrov [et al.] − Lokomotiv. − 2005, №8.− p. 15-18.
4. Asynchronous Traction Drive of Locomotives / A.A. Andryushchenko, Y.V. Babkov, A.A. Zarifyan [et al.]. − 2013. − p. 413.
5. **Nikolaev A.Y.** Design and Operation of Electric Locomotive ВЛ80С / A.Y. Nikolaev. − 2006. − p. 512.
6. Electronic Systems of Excitation Control for Electric Rolling Stock / A.S. Maznev, O.I. Shatnev, A.M. Evstafyev // Vestnik RSTU. − №3. - 2007. − p. 12 - 17.
7. **Kalinin M.V.** Electronic Systems of Weakening of Traction AC Motors Excitation // Proceedings of Petersburg Transport University, Issue 2, St. Petersburg, PSTU, 2009. − p. 18 - 28.

УДК 519.6:539.3

О ГЕНЕРАЦИИ КОЛЕБАНИЙ В ОСНОВАНИИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДА

Суворова Татьяна Виссарионовна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Высшая математика»,
Доктор физико-математических наук, профессор,
E-mail: suvorova_tv111@mail.ru

Беляк Ольга Александровна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кандидат физико-математических наук, доцент,

E-mail: o_bels@mail.ru

Усошина Елена Александровна
ООО «Еврогрупп»;
344021, г. Ростов-на-Дону, пр. Доватора, д. 148;
Ведущий программист.
E-mail: usoshina_elena@mail.ru

На основании решения контактной задачи для прямоугольно штампа на слоистой гетерогенной среде строится амплитудно-частотная характеристика колебаний, генерируемых движущимся вагоном в верхнем строении пути и грунтовом основании.

Ключевые слова: колебания в пористоупругом основании, движение вагона, контактная задача.

Библиографический список.

1. Колесников, В.И. Моделирование динамического поведения системы «Верхнее строение железнодорожного пути слоистая грунтовая среда» / В.И. Колесников, Т.В. Суворова // Москва. Издательство ВИНИТИ РАН. − 2003. − 232 с.

2. Суворова, Т.В. Колебания составного гетерогенного слоя / Т.В. Суворова, Е.А. Усошина // Экологический вестник научных центров ЧЭС. − 2010. − № 2. − С.74-79..

3. Беляк, О.А. Математическое моделирование задачи о динамическом воздействии массивного объекта на неоднородное гетерогенное основание / О.А. Беляк, Т.В Суворова, Е.А. Усошина // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. − 2014. − № 1. − С. 34-39.

4. Био, М.А. Механика деформирования и распространения акустических волн в пористой среде // Механика. Период. сб. переводов иностр. статей. –1963. –В. 6. –№. 82. –С. 103-134.

5. Усошина, Е.А. Математические модели динамических систем, включающих слоистые обводненные пористоупругие основания / Е.А. Усошина, Т.В. Суворова, А.Н. Соловьев // Вестник Донского государственного технического университета, − 2016.− № 3. – С. 10-16.

THE GENERATION OF OSCILLATIONS IN THE BASIS OF THE SEAMLESS WAY BY MOVING TRAIN

Suvorova Tatyana Vissarionovna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, 344038, Russia,
Chair "Higher Mathematics",
Doctor of physics-mathematics Sciences, Professor,
E-mail: suvorova_tv111@mail.ru

Belyak Olga Aleksandrovna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair "Higher Mathematics",
Candidate of physics-mathematcs Sciences, associate Professor,
E-mail: o_bels@mail.ru

Usoshina Elena Alexsandrovna
OOO "Eurogroup",
148, Dovatora ave., Rostov-on-don, Russia, 344021,
The lead programmer.
E-mail: usoshina_elena@mail.ru

Based on the decision of a contact problem for a rectangular punch on a layered heterogeneous medium is constructed of the amplitude-frequency characteristic of the oscillations generated by moving the carriage in the superstructure and subgrade.

Keywords: fluctuations in the porous elastic foundation, the movement of the carriage, a contact problem.

Bibliography:

1. **Kolesnikov, V. I.** Modelling of the dynamic behavior of the system "superstructure of the railway track – layered soil environment / V. I. Kolesnikov, T. V. Suvorova // Moscow. Publishing house of VINITI. − 2003. p. 232.
2. **Suvorova, T. V.** Fluctuations of a composite of heterogeneous layer / T. V. Suvorova, E. A Usoshina // Ecological Bulletin of the BSEC research centers. − 2010. № 2, p. 74 -79.
3. **Belyak, O. A.** Mathematical modeling of the problem of dynamic impact of a massive object on heterogeneous heterogeneous base / O. A. Belyak, T.V. Suvorova, E.A. Usoshina / Ecological Bulletin of scientific centers of the black sea economic cooperation. – 2014, № 1, p. 34-39.
4. **Bio, M.A.** Mechanics of deformation and acoustic wave propagation in porous media // Mechanics. Period. collection of translations of foreign. articles. 1963. V. 6. № 82, p. 103 -134.
5. **Usoshina, E.A.** Mathematical models of dynamical systems that includes layered watered the porous elastic foundation / E.A. Usoshina, T.V. Suvorova, A.N. Soloviev // Vestnik of Don state technical University. – 2016. №. 3, p. 10-16.

УДК 629.45/46:638

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЬЯ ТЕЧХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Элязов Исраил Юукур оглу;
«Азербайджанский Технический Университет»;
Az1073, Азербайджан . Баку, проспект Г.Джавида дом 25.
Кафедра «Эксплцатация железнодороржного транспорта»
Кандидат технических наук, доцент.
E-mail: elyazov-62@mail.ru.

Равлюк Владимр Григоревич
«Украинская Государственная Академия Железнодорожного Транспорта
Украина, г. Киев, площадь Феербаха, дом 25.
Кафедра «Вагоны», кандидат технических наук, старший преподаватель.
E-mail: ravvg@rambler.ru.

В статье представлена структурная схема технического состояния вагона, классификация и виды технического контроля. Общая структура проведения контроля технического состояния вагонов представлена в табличной и структурной форме.

Ключевые слова: вагон, ремонт, контроль, техническое состояние, техническое обслуживание, операция, информация, систем, эксплуатация, дефект, отказ.

Библиографический список.

1. ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения[Текст].

2. Надежность технических систем: Справ. [Текст] / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и. др. Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 608с.

3. **Пушкарев, И. Ф.** Контроль и оценка технического состояния тепловозов [Текст] / И. Ф. Пушкарев, Э. А. Пахомов. - М.: Транспорт, 1985. – 160 с.

4. Соколов, М. М. Диагностирование вагонов [Текст] / М. М. Соколов. - М.: Транспорт, 1990. -196 с.

5. **Криворудченко, В. Ф.** Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта [Текст] / В. Ф. Криворудченко, А. А. Ахмеджанов. - М.: Маршрут, 2005. – 436 с.

6. **Борзилов, І. Д.** Визначення працездатності буксових вузлів вагонів вібродіагностичними методами [Текст]/ І. Д. Борзилов, В. Г. Равлюк, М. Г. Равлюк// Зб. наук. праць ДонІЗТ. –Донецьк: - 2009. –Вип. 19. –С. 83 - 92.

7. **Равлюк, В. Г.** Особливості спектрального методу вібродіагностування буксових вузлів вантажних вагонів [Текст] / В. Г. Равлюк // Восточно - Европейский журнал передовых технологий. - 2008. – Вып. 4/3 (34). - С. 25 - 27.

8. **Барков, А. В.** Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации [Текст]: учеб. / А. В. Барков, Н. А. Баркова; СЗУЦ. - СПб.: СПбГМТУ, 2004. -156 с.

IMPROVİNQ THE SYSTEM OF MONİTORİNG THE TECNİCAL CONDİTİON OF FREİGHT CARS

Elyazov Israil Shukur oglu;
"Azerbaijan Technical University";
25, Huseyn Javid Avenue Building, Baku, Azerbaijan, Az1073
Department «Ekspltsatatsiya zheleznodororzhnogo transport"
Candidate of technical sciences, Associate professor.
E-mail: elyazov-62@mail.ru**.**

Ravlyuk Vladimir Grigorevich
"Ukrainian State Academy of Railway Transport
25, Feerbaha sq., Kiev, Ukraine
Department of "Cars", PhD, Senior Lecturer.
E-mail: ravvg@rambler.ru

The article is a block diagram of the technical state of the car, classification and types of technical control. The overall structure of the technical inspection of cars presented in tabular form and structure.

Keywords: carriage, repair, control, technical state, maintenance, operation, information, system, exploitation, defect, refusal.

Bibliography:

1. GOST 18322-78 maintenance and repair of equipment. Definitions [text].

2. Reliability of technical systems: Ref. [Text] / J. K. Belyaev, V.A. Bogatyrev V.V. Bolotin and. al., ed. I.A. Ushakov. - M .: Radio and Communications, 1985. - 608s.

3. **Pushkarev I. F.** Monitoring and evaluation of the technical condition of locomotives [Text]/JF Pushkarev, EA Pakhomov.-M.: Transport, 1985.-160 p.

4.**Sokolov M.** Diagnosing cars [Text]/M.Sokolov.-M .: Transport,1990.-196 c.

5. **Krivorudchenko V. F** Modern methods of technical diagnostics and nondestructive testing of parts and components of railway vehicles [Text] / V.F. Krivorudchenko, A.A., Akhmedzhanov. - M .: Route, 2005. - 436 p.

6. **Borzilov I. D.** Viznachennya pratsezdatnosti axle vuzliv vagoniv vibrodiagnostichnimi methods [Text] / I. D. Borzilov, V.G. Ravlyuk, M.G. Ravlyuk // ST. Sciences. Prace DonIZT. - Donetsk:- 2009. -Vip. 19. C. 83 - 92.

7. **Ravlyuk V.G.** Osoblivosti spectral method vibrodiagnostuvannya axle vuzliv vantazhnih vagoniv [Text] / V.G. Ravlyuk // East - European advanced technology magazine. 2008. - Vol. 3.4 (34). Pp 25 - 27.

8. **Barkov A.V.** Vibration diagnostics of machines and equipment. Vibration analysis [Text]: studies. / A.V. Barkov, N.A. Barkov; SZUTS. - SPb.: SPbSMTU, 2004. -156 p.

УДК 623.526.6

ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ

Албагачиев Али Юсупович
Федеральное бюджетное учреждение «Институт машиноведения РАН им. А.А. Благонравова»
101990, Москва, малый Харитоньевский переулок, 4.
«Московский технологический университет»,
107996, г. Москва, ул. Стромынка, д.20.
д.т.н., проф., зав. отделом,
E-mail: albagachiev@yandex.ru.

Лукашев Евгений Алексеевич,
ОАО “Тураевское машиностроительное конструкторское бюро «Союз»,
140080, Московская область, г. Лыткарино, промзона Тураево, строение 10.
д.т.н, проф., г.н.с.

Сидоров Михаил Игоревич,
ФКП «Научно-исследовательский институт Геодезия»,
141292, Московская область, город Красноармейск, проспект Испытателей, дом 14.
к.т.н., первый зам. директора

Ставровский Михаил Евгеньевич,
ФГАУ Научно-исследовательский институт ЦЭПП (Центр экологической промышленной политики),
141006, Московская область, город Мытищи, Олимпийский пр-т, 42
д.т.н., проф., зам. директора

Проанализирована молекулярно-механическая теории внешнего трения. Установлены временные характеристики для оценки реологии контакта и разработана химическая кинетика трения.

Ключевые слова: коэффициент трения, адгезия, деформация, время, окисление

Библиографический список

1.Крагельский И.В., Гитис Н.В. Фрикционные автоколебания. М.: Наука, 1987. 184 с.

2.Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. – 280 с.

3.Поверхностная прочность материалов при трении. / Под ред. Б.И. Костецкого. Киев: Техника, 1976. – 292 с.

4.Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Гос. изд-во физико-математической лит-ры, 1963. 472 с.

5.Крагельский И.В., Гиттис Н.В. Оценка фрикционных свойств тонких пленок смазочных материалов. // Докл. АН СССР, 1982. – т. 265, № 5. – С. 1125 – 1127.

6.Теодорович Э.В., Добычин М.Н. Гистерезисные потери при трении. // Трение и износ, 1980. – т. 1, № 5. – С. 824 – 830.

7.Михин Н.М. Внешнее трение твердых тел. М.: Наука, 1977. – 222 с.

8. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

9.Боуден Ф.П., Требор Д. Трение и смазка твердых тел. М.: Машиностроение, 1968. 543 с.

10. Хольм Р. Электрические контакты. М.: Иностранная литература, 1961. 464 с.

11. Лазовский В.Н. Долговечность гидравлических узлов. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.

12. Лукашев Е.А., Ставровский М.Е., Олейник А.В., Юдин В.М., Емельянов С.Г. Трибохимия водородного износа. Курск, КГТУ, 2007. 279 с.

13. Лукашев Е.А., Ставровский М.Е. К построению математических моделей технической диагностики узлов трения // Теоретические и прикладные проблемы сервиса, 2004. №1 (10). С. 10-19.

14. Меделяев И.А., Албагачиев А.Ю. Трение и износ деталей машин. М.: Машиностроение, 2008. 551 с.

CHEMICAL KINETICS OF FRICTION

Albagachiev Ali Yusupivich, ,
Federal budget funded institution “Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences”,
4, Maliy Khariton’evskiy lane, Moscow, 101990,
“Moscow technological university”,
20 Stromynka st., Moscow, 107996,
Ph. D.., professor, head of the Department
E-mail: albagachiev@yandex.ru.

Lukashev Evgeniy Alekseevich,
OJSC “Turaev machine building bureau “Soyuz”,
10, Lytkarino, industrial park Turaevo, Moscow region, 140080
Ph. D., professor, chief researcher

Sidorov Mikhail Igorevich, “Geodesy”,
14, Ispytateley ave., Krasnoarmeysk, Moscow region, 141292
Ph. D., first deputy director, FGE “Scientific-research institute

Stavrovskiy Mikhail Evgen’evich,
FSAI Scientific-research institute Center of ecological industry policy,
42, Mytishchi, Olympiyskiy ave, Moscow region, 141006
Ph. D., professor, chief researcher., professor, deputy director

The comparative analysis of known molecular-mechanical theory of friction and the chemical kinetics of external friction, developed by the authors, is performed.

Keywords: friction, deformation, core, temperature, adhesion

Bibliography:
1. Kragel′skij I.V., Gitis N.V. Friction self-exciting oscillation. M.: Nauka, 1987. 184 p.
2. Derâgin B.V., Krotova N.A., Smilga V.P. Adhesion of solids. M.: Nauka, 1973. -280 p.
3. Surface strength of materials by friction. Ed. B.I. Kostecki. Kiev: Tehnika, 1976. -292 p.
4. Aкhmatov A.S. Molecular Physics of boundary friction. Moscow: Gos. IZD-vo physico-mathematical lit-ry, 1963. 472 p. 5.
5. Kragel′skij I.V., Gittis N.V. Score friction properties of thin lubricant films. Rep. The USSR Academy of Sciences, 1982. –I. 265, №. 5. -P. 1125-1127.
6. Teodorović E.V., Dobičins M.N. Minor hysteresis loss due to friction. Friction and wear, 1980. -t. 1, no. 5. -P. 824-830.
7. Mihin N.M. External friction of solids. M.: Nauka, 1977. -222 s.
8. Kragel′skij I.V., Dobičins M.N., Kombalov V.S. Fundamentals of calculation on friction and wear. M.: Mashinostroenie, 1977. -526 p
9. Bowden F., Trebor D. friction and lubrication of solids. M.: mashinostroenie, 1968. with 543s.
10. Holm r. electrical contacts. M.: Ying. lit-RA, 1961. 464 pp.
11. Lazouski V.n. reliability of hydraulic units. M.: mashinostroenie, 1974. -320 p.
12. Lukashev E.A., Stavrovskij M.E., Oleynik A. V., Yudin V.M., Emelyanov S.G. Tribohimiâ hydrogen wear. Kursk: KSTU, 2007. 279 p.
13. Lukashev E.A., Stavrovskij M.E. to build mathematical models of technical Diagnostics of friction units. Theoretical and applied problems of service, 2004. -No. 1 (10). -P. 10-19.
14. Medelâev I., Albagačiev a. Yu, friction and wear of machine parts m.: mashinostroenie, 2008. 551 p.

УДК 621.833.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДИРОСТОЙКОСТИ В СПИРОИДНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ ПРИ СОЧЕТАНИИ МАТЕРИАЛОВ ЗВЕНЬЕВ ПАРЫ: СТАЛЬ-БРОНЗА

Анферов Валерий Николаевич;
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»,
630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191,
Кафедра «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины»,
Доктор технических наук, профессор,
E-mail: avn43@mail.com

Коваленко Роман Константинович;
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»,
630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191,
Кафедра «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины»,
Преподаватель,
E-mail: kovalenkork@gmail.com

В статье описана методика и приведены результаты исследования задиростойкости спироидной передачи с сочетанием материалов звеньев пары сталь-бронза.

Ключевые слова: спироидная передача, задиростойкость, заедание, зацепление, коэффициент трения

Библиографический список:

1. Гольдфарб, В.И. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры / В.И. Гольдфарб, Е.С. Трубачев, А.С. Кузнецов Е.В. Лукин, Д.Е. Иванов, В.Ю. Пузанов. - М.: Вече, 2011. – 222 с.

2. Анферов, В.Н. Проектирование приводов подъемно-транспортных машин на основе спироидных передач с гарантированным ресурсом по износу: монография. М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. –216 с.

3. Генкин, М.Д. Вопросы заедания зубчатых колес / М.Д. Генкин, Н.Ф. Кузьмин, Ю.А. Мишарин // М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 296 с.

4. Голего, Н.Л. Схватывание в машинах и методы его устранения. Киев: Техника, 1965, 231 с.

5. Коваленко, Р.К. К вопросу выбора критерия для оценки задиростойкости спироидного зацепления // Инженерная мысль машиностроения будущего: Сборник материалов Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием. Екатеринбург: УрФУ, 2013. с. 207-211.

6. Анферов, В.Н. Влияние вязкости масла на коэффициент трения в спироидном зацеплении / В.Н. Анферов, А.П. Ткачук, И.В. Шишлова, Р.К. Коваленко // Политранспортные системы: Материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия-ЕС «Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке». – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2015. с. 676 – 683.

7. Анферов, В.Н. Экспериментальное исследование коэффициента трения в спироидном зацеплении на дисково-роликовом стенде / В.Н. Анферов, А.В. Кузьмин, Р.К. Коваленко // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2015. №2 (32). с. 46-52.

8. Евдокимов Ю.А. Основы теории инженерного эксперимента. Ч1. Методы математического планирования эксперимента: Учебное пособие / Ю.А. Евдокимов, В.В. Гудима, А.В. Щербаков. Ростов: Изд-во РГУПС, 1994. 83 с.

INVESTIGATION ANTI-SEIZING PROPERTY IN SPIROID GEARING WITH A COMBINATION OF MATERIALS THE PAIR OF STEEL-BRONZE

Alferov Valery Nikolaevich
Siberian State Transport University,
191, D. Kovalchuk str., Novosibirsk, Russia, 630049,
Chair «Conveying, travel, construction and road machines»,
Doctor of the technical sciences, Professor,
E-mail: avn43@mail.com

Kovalenko Roman Konstantinovich
Siberian State Transport University,
191, D. Kovalchuk str., Novosibirsk, Russia, 630049,
Chair «Conveying, travel, construction and road machines»,
Teacher,
E-mail: kovalenkork@gmail.com

In paper the methodology of spiroid gears anti-seizing property had been described and results of research to a combination of materials the pair of steel-bronze had been given at the end of the article.

Key words: spiroid gear, anti-seizing property, scuffing, gearing, friction coefficient

Bibliography:

1. Goldfarb, V.I. Spiroid gearboxes of pipeline valves / V.I. Goldfarb, E.S. Trubachev, A.S. Kuznetsov, E.V. Lukin, D.E. Ivanov, V.Y. Puzanov. - M.: Veche, 2011. – 222 p.

2. Anferov, V.N. Designing drive handling machines, based on spiroid gears with a guaranteed resource for wear: monograph. M. – Berlin: Direct-Media, 2015. –216 p.

3. Genkin, M.D. Problems of gear scuffing / M.D. Genkin, N.F. Kuzmin, Y.A. Misharin / M., 1959. – 296 p.

4. Golego, N.L. Scuffing in machines and methods to eliminate it. Kiev: Technics, 1965, 231 p.

5. Kovalenko, R.K. Revisited to the choice for evaluating anti-seizing property of spiroid gearing // Engineering engineering thought of the future. Ekaterinburg: UrFU, 2013. p. 207-211.

6. Anferov, V.N. The effect of the oil viscosity on the friction coefficient in spiroid gearing / Polytransport sistem: Proceedings of the VIII International Scientific Conference in the framework of science, the EU-Russia "Scientific problems of implementation of transport projects in Siberia and the Far East». // V.N Anferov, A.P. Tkachuk, I.V. Shishlova, R.K .Kovalenko // – Novosibirsk: SGUPS, 2015. p. 676 – 683.

7. Anferov, V.N. Investigation of friction coefficient in spiroid gearing on disk and roller machine / V.N. Anferov, A.V. Kuzmin, R.K. Kovalenko // Bulletin of Siberian transport university. 2015. №2 (32). p. 46-52.

8. Evdokimov, Y.A. Fundamentals of engineering experiment theory. N1. Methods of mathematical experiment planning / Y.A. Evdokimov, V.V. Gudima, A.V. Shcherbakov. Rostov: RSTU, 1994. 83 p.

УДК 531

О РОЛИ, МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ И КИНЕТИКЕ ПЛЁНОЧНЫХ СТРУКТУР В ТРИБОСИСТЕМАХ

Бородай Александр Васильевич
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
346428, Россия, Ростовской обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения,
Кафедра «Общеинженерные дисциплины»,
Кандидат технических наук, доцент,
Телефон: 8-8635-25-53-27,
E-mail: borodai11@yandex.ru

На основе использования положений волновой трибологии предложено рассматривать совокупность поверхностных пленок, образующихся в зоне контакта тел, в качестве основного фактора подвода энергии среды в систему и обеспечения ресурса самоорганизации. Рассмотрены общие схемы строения и графические модели процесса функционирования пленочных систем. Полученные результаты обеспечивают перспективу более эффективного описания основных видов и режимов трения.

Ключевые слова: волновая трибология, поверхностная пленка, подвод энергии, самоорганизация, графические модели, эффективный процесс взаимодействий.

Библиографический список:

1. Горячева, И. Г. Механика фрикционного взаимодействия / И. Г. Горячева. – М . : Наука, 2001. – 478 с.

2. Костецкий, Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий [и др.] – Киев: Техніка, 1976. – 296 с.

3. Бородай, А. В. О петлевом строении материалов и материальных объектов / А. В. Бородай // Новые материалы и технологии их получения: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 15 октября 2015 г. / Южно-Российский государственный технический университет (НПИ). – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – с. 78-84.

ON THE ROLE, FORMATION MECHANISMS AND KINETICS OF FILM STRUCTURES IN TRIBOSYSTEMS

Borodai Alexander Vasilievich
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)
132, Prosveschenia Str., Novocherkassk, Rostov Region, Russia, 346428,
Chair «Basic Engineering»,
Candidate's,
Phone: 8-8635-25-53-27,
E-mail: borodai11@yandex.ru

On the base of wave tribology postulates general notion of surface film complexes as the principal factor of energy supply for process of selforganization providing is proposed. General structural schemes and graphic models of film system function are considered. Obtained results provide perspective of more effective description of main kinds and most important regimes of friction interaction.

Key words: wave tribology, surface film, energy supply, selforganization, graphic models, effective counteraction process.

Bibliography:

1. Goryacheva, I. G. Mechanics of friction. Moscow : Nauka, 2001. 478 p.
2. Kostetsky, B. I. The surface strength of materials in friction / B. I. Kostetsky [ets.] – Kiev : Technika, 1976. 296 p.
3. Borodai, A. V. On the loop structure of materials and material objects / A. V. Borodai // New materials and material technology : Materials of IX International Science-Pract. Conference, Novocherkassk, 15 okt. 2015 / Platov South Russia State Polytechnic University (NPI) : Novocherkassk : SRSPU (NPI), 2015. 78-84 p.

УДК 621.89.017
ББК К413

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ТРИБОЛОГИИ, СВЯЗАННЫЕ СО СМАЗКОЙ

Войнов Кирилл Николаевич
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, дом 49,
Кафедра «Инженерное проектирование»
Доктор технических наук, профессор
Телефон: 8(812)376-89-72; 8-921-900-15-65
E-mail: forstar@mail.ru

Макаренко Павел Сергеевич
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, дом 49,
Кафедра «Промышленная климатотехника»
Магистрант
Телефон: 8(812)345-15-58; 9316401
E-mail: pavel.of@gmail.com

В работе приведены основные положения, связанные с использованием и контролем свойств смазочных материалов как пластичных, так и жидких. Представлены схемы контроля качества и адгезии смазок в динамике работы, изложен способ контроля степени загрязнения продуктами изнашивания жидких масел. Изложена суть применения новой органической смазки и данные об изнашивании образцов с получением компьютерной программы и графиков.

Ключевые слова: смазка, адгезия, испытания, контроль.

Библиографический список:

1. Трибология - Международная энциклопедия. Том V: Смазки, присадки для подвижных сопряжений, герметизация и уплотнения //Под ред. д.т.н., проф. К.Н. Войнова /Санкт-Петербург, Нестор-История, ISBN 978-5-906108-05-0, 2013.– 378 с.
2. Трибология - Международная энциклопедия. Том VI: Технологические способы повышения надёжности работы подвижных трибосопряжений //Под ред. д.т.н., проф. К.Н. Войнова /Санкт-Петербург, Нестор-История, ISBN 978-5-906108-03-6, 2013.– 404 с.
3. Трибология - Международная энциклопедия. Том X: Моделирование и расчёты в трибологии и надёжности //Под ред. д.т.н., проф. К.Н. Войнова /Санкт-Петербург, Нестор-История, ISBN 978-5-906108-10-4, 2015.– 200 с.
4. Трибология - Международная энциклопедия. Том XI: Компьютерные программы и примеры расчётов в трибологии и триботехнике //Под ред. д.т.н., проф. К.Н. Войнова /Санкт-Петербург, Нестор-История, ISBN 978-5-4469-0819-6, 2016.– 240 с.
5. Войнов К.Н. Проблемы и решения в вопросах трения/изнашивания – монография. Санкт-Петербург, Нестор-История, ISBN 978-5-906108-11-1, 2015. – 500 с.
6. Дьяконов В. Mathcad 8/2000: специальный справочник. Санкт-Петербург, Москва, Харьков, Минск. ISBN 5-272-00069-2. – 592 с.

TECHNICAL POSSIBILITIES IN TRIBOLOGY CONNECTED WITH LUBRICANT

Voinov Kirill Nikolaevich
Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics
49, Kronverkskiy ave. Saint-Petersburg, Russian Federation, 197101
Профессор, доктор технических наук. Профессор кафедры «Инженерное проектирование»
Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Engineering Project”
Makarenko Pavel Sergeevich
Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics
49, Kronverkskiy ave. Saint-Petersburg, Russian Federation, 197101
Магистрант, кафедра «Промышленная климатотехника» Университета ИТМО
Телефон: 8(812)345-15-58; 9316401

E-mail: pavel.of@gmail.com

In this article the main positions connected with utilization and control of properties for lubricants both plastic and liquid are given. Sketches of diagnostics for test of quality and adhesion of lubricants in their operation and the pollution of oil are explained as well. The gist of application in practice for the new organic lubricant with computer program and calculation is produced too.

Key words: Lubricant, adhesion, test, control.

Bibliography:

1. Tribology – International encyclopaedia. Vol. V: Lubricants, additives for the mobile junctions, hermetization and sealings //editor-in-chief Dr. of Sc., prof. K.N. Voinov/. SPb., Nestor-History, ISBN 978-5-906108-05-0, 2013. – 378 pp.

2. Tribology – International encyclopaedia. Vol. VI: Technology ways to increase the reliability for the mobile tribo junctions //editor-in-chief Dr. of Sc., prof. K.N. Voinov/. SPb., Nestor-History, ISBN 978-5-906108-03-6, 2013. – 404 pp.

3 Tribology – International encyclopaedia. Vol. X: Modeling and calculation in tribology and reliability //editor-in-chief Dr. of Sc., prof. K.N. Voinov/. SPb., Nestor-History, ISBN 978-5-906108-10-4, 2015. – 200 pp.

4. Tribology – International encyclopaedia. Vol. XI: Computer programme and examples of calculations in tribology and in tribo-technics //editor-in-chief Dr. of Sc., prof. K.N. Voinov/. SPb., Nestor-History, ISBN 978-5-4469-0819-6, 2016. – 240 pp.

5. K.N. Voinov. Problems and decisions in questions about friction/deterioration-monograph. SPb., Nestor-History, ISBN 978-5-906108-11-1, 2015. – 500 pp.

6. D’yakonov V. Mathcad 8/2000: special guide. SPb. ISBN 5-272-00069-2. – 592 pp.

УДК 621.89.09; 621.892.8; 621.893; 621.79.024.2

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТРИБОТЕХНОЛОГИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Громаковский Дмитрий Григорьевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»,
Научно-технический центр «Надёжность технологических, энергетических и транспортных машин» ФГБОУ ВО «СамГТУ»;
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус,
Доктор технических наук, профессор, директор,
Телефон: +7-846-332-19-31,
E-mail: pnms3@mail.ru

Крышень Евгений Валерьевич;
Министерство промышленности и технологий правительства Самарской области,
443068, Россия, г. Самара, ул. Скляренко, 20,
Руководитель секции НИР НТС Министерства промышленности и технологий правительства Самарской области,
Телефон: +7-846-244-47-58,
E-mail: sam.arsenalnt@mail.ru.

Хаустов Вячеслав Иванович
Открытое акционерное общество «Самарский подшипниковый завод»,
Россия, 443009, Самара, ул. Калинина, 1,
директор по развитию,
Телефон: +7-846-995-30-69,
E-mail: haustov@spzgroup.ru

Шигин Сергей Владимирович;
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»,
Научно-технический центр «Надёжность технологических, энергетических и транспортных машин» ФГБОУ ВО «СамГТУ»;
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус,
Ведущий инженер,
Телефон/факс: +7-846-332-19-31,
E-mail: pnms3@mail.ru

Приведены передовые технологии и способы, обеспечивающие повышение ресурса, несущей способности опор качения и скольжения, очистки поверхностей деталей от технологических и эксплуатационных загрязнений, снижение уровня шума и вибрации. Предложенные технологии обеспечивают повышение износостойкости, контактной усталости и прочности соединения смазочного слоя с поверхностями трения применением молекулярного армирования поверхностных дефектов, замедляющих развитие усталостных повреждений, применения эффекта мультисмазки, повышающей нагрузочные характеристики смазочного слоя и его поглощающую способность и др.

Ключевые слова: упрочнение, ресурсоповышение, диффузионное молекулярное армирование, мультисмазка, кремнийорганическая жидкость, мойка, низкочастотная кавитация, струйная кавитация, кавитационная моечная установка, ударные волны, вибротурбулизация, пластинчато-эластомерный амортизатор, виброустойчивость.

Библиографический список:

1. Громаковский, Д.Г. Нанотехнологии диффузионного молекулярного армирования (ДМА) поверхностей. Сб. тр. VIII международной конференции «Трибология и надёжность». / Д.Г. Громаковский, И.Д. Ибатуллин, С.В. Шигин // – СПб.: ПГУПС, 2005. – С. 166-168.

2. Громаковский, Д.Г. Низкочастотные кавитационные установки для мойки деталей / Д.Г. Громаковский, И.Д. Ибатуллин, В.А. Мохонько, В.А. Николаев // Тяжёлое машиностроение, №_6, 2005. – С. 37-39.

3. Громаковский, Д.Г. Повышение долговечности подшипников применением вязко-пластинчатого подслоя смазки. Материалы докладов международной научно-технической конференции. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». / Д.Г. Громаковский, С.В. Шигин, И.Ю. Серов, В.А. Николаев, В.И. Хаустов // - Самара: СГАУ, 21-23 июня 2006. Ч. 1. – С. 289-291. ISBN 5-7883-0354-0.

4. Громаковский, Д.Г. Разработка и применение в буксовом подвесе пластинчатых эластомерных амортизаторов. Сб. тр. научно-практической конференции «Колесо-рельс». / Д.Г. Громаковский, С.В. Шигин, С.В. Северин // – М.: ВНИИЖТ, 2008. – С. 143-145.

DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT OF THE NEW TRIBOTECHNOLOGIES RAISING RESOURCE CHARACTERISTICS OF FRICTIONAL UNITS OF TRANSPORT SYSTEMS

Gromakovsky, Dmitry Grigorievich
Samara state technical University",

The scientific and technological centre "Reliability of technological, energetic and transport machines" of the SSTU,
244, main building, Molodogvardeyskaya street, Samara, Russia, 443100,
Doctor of technical Sciences, Professor, Director,
Phone/fax: +7-846-332-19-31,
E-mail: pnms3@mail.ru.

Kryshen Evgeny Valeryevich
The Ministry of industry and technologies of Samara region government,
20, Sklyarenko str., g. Samara, Russia, 443068,
head of section research NTS of the Ministry of industry and technologies of Samara region government,
Phone: +7-846-244-47-58,
E-mail: sam.arsenalnt@mail.ru

Khaustov Vyacheslav Ivanovich
OJSC "Samara bearing plant",
1, Kalinina str., Samara, Russia, 443009,
Director of development,
Phone: +7-846-995-30-69,
E-mail: haustov@spzgroup.ru

Shigin Sergey Vladimirovich
Samara state technical University",
The scientific and technological centre "Reliability of technological, energetic and transport machines" of the SSTU,
244, main building, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100,
leading engineer,
Phone/fax: +7-846-332-19-31,
E-mail: pnms3@mail.ru

Presents the advanced technology and methods of increasing the resource bearing capacity of the supports of the rolling and sliding, cleaning of surface parts from technological and operational contaminants, reduce noise and vibration. The proposed technologies provides increased wear resistance, contact fatigue and strength of the lubricating layer surface using molecular reinforcement of surface defects, to slow the development of fatigue damage, effect of multi-lubrication that enhance load characteristics of a lubricant layer and its absorptive capacity.

Key words: hardening, resource enhancement, diffusional molecular reinforcement, multi-grease, silicone fluid, sink, low frequency cavitation, jet cavitational method, the cavitation washing machine, shock wave, vibratorpleasure, laminated elastomeric isolator, vibration resistance.

Bibliography:

1. Gromakovsky, D.G. Nanotechnologies of the diffusive molecular reinforcing (DMR) of surfaces. Collection of works VIII of the international conference "Tribology and Reliability" / D.G. Gromakovsky, I.D. Ibatullin, S.V. Shigin // – SPb.: PGUPS, 2005. – P. 166-168.

2. Gromakovsky D.G. Low-frequency cavitational installations for a sink of details / D.G. Gromakovsky, I.D. Ibatullin, V.A. Mokhonko, V.A. Nikolaev // Heavy mechanical engineering, No.6, 2005. - C.37-39.

3. Gromakovsky, D.G. Increase of durability of bearings by the use of visco-lamellar sublayer of lubrication. Materials of reports international scientific and technical conference. "Problems and prospects of development of engine building" / D.G. Gromakovsky, S.V. Shigin,

I.Yu. Serov, V.A. Nikolaev, Khaustov // - Samara: SSAU, 21-23 June 2006. Part 1. – S. 289-291. ISBN 5-7883-0354-0.

4. Gromakovsky, D.G. Development and application in a boxen suspension of lamellar elastomeric shock-absorbers. Collection of works of the scientific and practical Wheel rail conference / D.G. Gromakovsky, S.V. Shigin, S.V Severin. // – M.: VNIIZhT, 2008. – P. 143-145.

УДК 669.018.95

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПЛЕКСНОЙ СУЛЬФОНАТ КАЛЬЦИЕВОЙ СМАЗКИ

Жорник Виктор Иванович
Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси,
220072, Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д.12,
Доктор технических наук, доцент, заместитель начальника отделения технологий машиностроения и металлургии – заведующий лабораторией наноструктурных и сверхтвердых материалов,
Телефон: +375 17 284 25 18, +375 29 764 92 75,
E-mail: zhornik@inmash.bas-net.by

Ивахник Антон Владимирович
Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси,
220072, Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д.12,
Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов,
Телефон: +375 17 284 24 01, +375 29 347 44 54,
E-mail: itmol@mail.ru

Ивахник Владимир Пантелеевич
Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси,
220072, Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д.12,
Старший научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов,
Телефон: +375 17 284 25 18, +375 29 684 10 48,
E-mail: itmol@mail.ru

Представлены особенности структуры дисперсной фазы и свойства комплексной сульфонат кальциевой смазки, полученной на основе химически синтезированных наноразмерных частиц кристаллической модификации карбоната кальция (кальцита). Показаны перспективные области применения разработанной смазки.

Ключевые слова: комплексная сульфонат кальциевая смазка, дисперсная фазы, свойства, области применения

Библиографический список:

1. Жорник, В.И. Влияние твердых наноразмерных добавок на структуру пластичной смазки и механизм изнашивания поверхности трения / В.И. Жорник, А.В. Ивахник, В.П. Ивахник // Механика машин, механизмов и материалов. – 2010. – № 3 (12). – С. 85–92.

2. Гринкевич, К.Э. Трибологические характеристики смазок с нанопорошками дихалькогенидов молибдена и вольфрама / К.Э. Гринкевич, Л.М. Куликов, Н.Б. Кенинг и др. // Смазочные материалы. Тез. 9-ой междунар. науч.-техн. конференции. Бердянск, 4–8 сентября 2006. Изд. Нац. университета «Львівська політехніка». – Львов, 2006. С. 22–24.

3. Жорник, В.И. Химический принцип модифицирования пластичных смазочных материалов наноразмерными добавками / В.И. Жорник, А.В. Ивахник, В.П. Ивахник, М.А. Бухтилова // Актуальные вопросы машиноведения, 2014. – Вып. 3. – С. 282–284.

4. Плескачевский, Ю.М. Структурные аспекты формирования дисперсной фазы пластичных смазок / Ю.М. Плескачевский, Л.В. Маркова, А.В. Ивахник // Проблемы химмотологии: материалы докладов I Междунар. науч.-техн. конф., Киев, 15–19 мая 2006г. / Нац. авиац. ун-т. – Киев: Книжное изд-во НАУ, 2006. – С. 280–282.

5. Чекан, В.А. Препарирование пластичных смазок для исследования их структурного каркаса методом сканирующей электронной микроскопии / В.А. Чекан, Л.В. Маркова, Т.И. Пинчук, А.В. Ивахник // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2005. – № 8. – С. 36–38.

6. Macwood, W. Calcium Sulfonate Grease / W. Macwood, R. Muir // NLGI Spokesman, Journal of the National Lubricating Grease Institute. – 1999. – № 5. – P. 58–63.

INVESTIGATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPLEX SULFONATE CALCIUM GREASE

Zhornik Victor Ivanovich
State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus,
12, Academicheskaya str., Minsk, Belarus, 220072,
Doctor of Sciences, Associate Professor, Deputy of Head of the Department of Mechanical Engineering and Metallurgy Technologies – Head of the Laboratory of Nanostructural and Superhard Materials,
Phone: +375 17 284 25 18, +375 29 764 92 75,
E-mail: zhornik@inmash.bas-net.by

Ivakhnik Anton Vladimirovich
State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus,
12, Academicheskaya str., Minsk, Belarus, 220072,
PhD, Leading Researcher of Laboratory of Nanostructural and Superhard Materials.
Phone: +375 17 284 24 01, +375 29 347 44 54,
E-mail: itmol@mail.ru

Ivakhnik Vladimir Panteleevich
State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus,
12, Academicheskaya str., Minsk, Belarus, 220072,
Senior Researcher of Laboratory of Nanostructural and Superhard Materials,
Phone: +375 17 284 29 13, +375 29 684 10 48,
E-mail: itmol@mail.ru

The features of the structure of dispersed phase and properties of the complex calcium sulfonate grease that are prepared on base of chemically synthesized nanosized particles of the crystalline modification of calcium carbonate (calcite) are presented. The promising fields of application of developed grease are shown.

Keywords: complex calcium sulfonate grease, disperse phase, properties, applications

Bibliography:

1. Zhornik, V.I. Influence of solid nanosized additives on the structure of the grease and the surface of the wear mechanism of friction [Vliyanie tverdykh nanorasmernykh dobavok na strukturu i mekhanism isnashivaniya poverkhnosti treniya] / V.I. Zhornik, A.V. Ivakhnik, V.P. Ivakhnik // Mechanics of machines, mechanisms and materials [Mekhanika mashin, mekhanismov i materialov]. – 2010. – № 3 (12). – pp. 85-92.

2. Grinkevich, K.E. The tribological characteristics of the greases with nanopowders of dichalcogenides of molybdenum and tungsten [Tribologicheskie kharakteristiki smasok s nanoporoshkami dikhal'kogenidov molibdena i vol'frama] / K.E. Grinkevich, L.M. Kulikov, N.B. Koenig et al. // Lubricants. Proc. 9th Int. scientific and engineering. conference. Berdyansk, September 4–8, 2006. Ed. Nat. University "Lvivska politehnika". – Lviv, 2006. – pp. 22–24.

3. Zhornik, V.I. Chemical principle of the modification of the greases by the nanosized additives [Khimicheskii prinzip modifizirovaniya smasok nanorasmernymi dobavkami] / V.I. Zhornik, A.V. Ivakhnik, V.P. Ivakhnik, M.A. Bukhtilova // Topical Issues of Engineering [Aktual'nye voprosy mashinovedeniya], 2014.– Vol. 3. – pp. 282–284.

4. Pleskachevsky, Y.M. Structural aspects of the formation of the dispersed phase of the greases [Strukturnye aspekty formirovaniya dispersnoy fazy plastichnykh smasok] / Y.M. Pleskachevsky, L.V. Markova, A.V. Ivakhnik // Problems of Chemmotology: Proceedings of the I Intern. scientific and engineering. conf., Kiev, 15-19 May 2006. / Nat. aviation. Univ. - Kiev: Book publishing of the NAU, 2006. - pp. 280-282.

5. Chekan, V.A. Dissection of greases for the study of the structural frame by the scanning electron microscopy [Preparirovanie plastichnykh smasok dlya issledovaniya ih strukturnogo karkasa metodom skaniruyuschey elektronnoy mikrosropii] / V.A. Chekan, L.V. Markova, T.I. Pinchuk, A.V. Ivakhnik // Factory Laboratory. Diagnostics of materials [Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov]. - 2005. - № 8. - pp. 36-38.

6. Macwood, W. Calcium Sulfonate Grease / W. Macwood, R. Muir // NLGI Spokesman, Journal of the National Lubricating Grease Institute. - 1999. - № 5. - pp. 58-63.

УДК 621.833.3

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТА РЕСУРСА ПЕРЕДАЧ ЧЕРВЯЧНОГО ТИПА ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЖЕНИЯ

Зайцев Александр Васильевич
Сибирский государственный университет путей сообщения,
630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191,
Кафедра «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины»,
Старший преподаватель,
Телефон: 8-913-940-3081,
E-mail: zaitsev.zaw@yandex.ru

Кратко проанализированы причины и виды повреждений передач червячного класса. Рассмотрен и обоснован метод определения ресурса червячных передач при переменных режимах нагружения на примере кабелесборочного механизма электропогрузчика.

Ключевые слова: износ; интенсивность изнашивания; передачи зацеплением; ресурс; спироидная передача.

Библиографический список:

1. Чернавский, С.А. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для втузов/С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцев и др.-5-е изд. перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1984.-560 с.

2. Иванов, М.Н. Детали машин: Учеб. для студентов втузов/Под ред. В.А. Финогенова.-6-е изд., перераб.-М.: Высш. шк., 1998-383 с.

3. Алексеева, Н.А. Основы расчета и конструирования летательных аппаратов: Учеб. пособие для втузов/Н.А. Алексеева, Л.А. Бонч-Осмоловский, В.В Волгин и др.; Под ред. В.Н. Кестельмана, Г.И. Рощина—М.: Машиностроение. 1989-456 с.

4. Дроздов, Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков // М: Машиностроение, 1986.-224 с.

5. Андриенко, Л.А. Детали машин: Учебник для вузов/ Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др.; Под ред. О.А. Ряховского.- 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.-520 с.: ил.-(Сер. Механика в техническом университете; Т. 8).

6. Генкин, М.Д. Вопросы заедания зубчатых колес. / Генкин М.Д., Кузьмин Н.Ф., Мишарин Ю.А. // М., АН ССР, 1959, 147 с.

7. Каталог продукции. Редукторные масла Shell. http://www.shell.com.ru/

8. ООО Механик. Каталог продукции http://mechanik.udmnet.ru/

9. Дроздов, Ю.Н. К расчету зубчатых передач на износ. М.: Машиноведение, 1969.-№2.-С.84-88.

10. Дроздов, Ю.Н. Метод расчета на износ зубчатых передач/Передачи и трансмиссии, №2, 2002. С.-37-43.

Zaytsev Alexander Vasilievich
Siberian state University of railway engineering,
191, street Dusi Kovalchuk, Novosibirsk, Russia, 630049,
Engineer Master, senior Lecturer, Lifting-transport, travel, construction and road machines, STU
Phone: 8-913-940-3081,
E-mail: zaitsev.zaw@yandex.ru

Briefly analyse the causes and types of damage to the worm gear of the class. Reviewed and validated method for determining the resource of worm gears under variable loading regimes on the example of tubelesbian mechanism of FLT.

Key words: wear; wear rate; transfer gear; a resource; a spiroid gear.

Bibliography:

1. Chernavskii, S.A. ,Mechanical Transmission: Training and Reference Guide for Technical Schools / S.A. Chernavskii, G.A. Snesarev, B.S. Kozintsev and O E 5th ed. Revised. and Sub-M .: Engineering, 1984.-560 s.

2. Ivanov, M.N. Machine parts: Proc. for students of technical colleges / Ed. V.A. Finogenova., 6th ed., Pererab.i M .: Higher. wk., 1998-383 s.

3. Alekseeva, N.A. Basis of calculation and design of aircraft: Proc. aid for technical colleges / N.A. Alekseeva, L.A. Bonch-Osmolovsky, V.V. Volgin. et al .; Ed. V.N. Kestelmana, G.I. Roshchina M Mechanical engineering. 1989-456 s.

4. Drozdov, Y.N. Friction and wear in extreme conditions / Y.N. Drozdov, Pavlov, V.G. Puchkov, M: Mechanical engineering, 1986.-224 s.

5. Andrienko, L.A. Details of machines: Textbook for Universities / L.A. Andrienko, B.A. Baikov, I.K. Ganulich etc .; Ed. O.A. Ryahovskogo.- 3rd ed., Rev. and Sub-M .: Publishing House of the MSTU. N.E. Bauman, 2007.-520 .: Ill .- (Ser Mechanics at the Technical University,. T. 8).

6. Genkin, M.D. Questions jamming gear. / Genkin M.D., Kuzmin N.F., Mishin Y.A. //Moscow, Academy of Sciences of the USSR, 1959, 147 s.

7. Product Catalog. Shell Gear Oil. http://www.shell.com.ru/
8. LLC mechanic. Catalog http://mechanik.udmnet.ru/
9. Drozdov, Y.N. The calculation of gears for wear. M .: Mashinovedenie, 1969.-№2.-S.84-88.
10. Drozdov, Y.N. The method of calculating the wear of gears / Transmissions and transmissions, №2, 2002. C-37-43.

УДК 621.961: 539.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЛЕНКЕ ФРИКЦИОННОГО ПЕРЕНОСА ПРИ ТРЕНИИ ПТФЭ В МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОЙ ПАРЕ ТРЕНИЯ

Иваночкина Татьяна Александровна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет»,
344010 , Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,
Кафедра «Экономика и менеджмент в машиностроении»,
Старший преподаватель,
E-mail: ivanochkina_t@mail.ru

Предложена математическая модель формирования пленки фрикционного переноса в металлополимерном трибосопряжении, учитывающая структурные изменения, происходящие при трении в политетрафторэтилене. Показано, что учет структурных изменений в материале может приводить к большому разнообразию динамических состояний, среди которых одним из состояний является аттрактор Лоренца.

Ключевые слова: металлополимерное сопряжение, пленка фрикционного переноса, математическое моделирование, теория фазовых превращений, система Лоренца.

Библиографический список:

1. **Машков, Ю.К.** Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация / Ю.К. Машков, З.Н. Овчар, В.И. Суриков, Л.Ф. Калистратова М.: Машиностроение, 2005. 240 с.
2. **Машков, Ю.К.** Самоорганизация и структурное модифицирование в металлополимерных трибосистемах: монография / Ю.К. Машков [и др.] − Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. 232 с.
3. **Кацнельсон, А.А**. Микроскопическая теория неоднородных структур / А.А. Кацнельсон, А.И. Олемский М.: Изд-во МГУ, 1987. 336 с.
4. **Малинецкий Г.Г.** Современные проблемы нелинейной динамики/ Г.Г Малинецкий, А.Б. Потапов – М.: Эдиториал УРСС, 2000. 336 с
5. **Олемской, А. И..** Трехпараметрическая кинетика фазового перехода / А. И.Олемской, А. В. Хоменко //Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1996. – Т. 110. – №. 6. – С. 2144-2167.
6. **Sparrow C.** The Lorenz Equations: bifurcation, chaos and strange attractors. Berlin: Springer, 1982 269 p.

Ivanochkina Tatiana Aleksandrovna
Federal State Educational Institution of Higher Education "Don State Technical University"
1, pl. Gagarina, Rostov-on-Don, Russia, 344010,
Department of "Economics and Management in Machine Building",

Senior Lecturer,
E-mail: ivanochkina_t@mail.ru

A mathematical model of the friction transfer film in metal friction units, taking into account the structural changes occurring in the friction polytetrafluoroethylene. It is shown that taking into account the structural changes in the material can lead to a wide variety of dynamic states, among which one of the states is the Lorenz attractor.

Keywords: metal-polymer conjugation, the friction transfer film, mathematical modeling, theory of phase transitions, the Lorenz system.

Bibliography:

1. Mashkov, JK Composite materials based on polytetrafluoroethylene. Structural modification / J.K. Mashkov, Z.N. Ovchar, V.I. Surikov, L.F. Kalistratova M .: Engineering, 2005. 240 p.
2. Self-organization and structural modification in metal tribosystems: monograph / J.K. Mashkov [et al.] - Omsk: Publishing house OmSTU, 2013. 232 p.
3. Katznelson, AA Microscopic theory of inhomogeneous structures / A.A. Katznelson, A.I. Olemskoy M .: MGU, 1987. 336 p.
4. Malinetskii G.G. Modern Problems of Nonlinear Dynamics / G.G. Malinetskii, A.B. Potapov - M .: Editorial URSS, 2000. 336 p.
5. Olemskoy, A.I . three-parameter kinetics of phase transition / A. I.Olemskoy, AV Khomenko // Journal of Experimental and Theoretical Physics. - 1996. - V. 110. - number. 6. - P. 2144-2167.
6. Sparrow C. The Lorenz Equations: bifurcation, chaos and strange attractors. Berlin: Springer, 1982. 269 p.

УДК 532.5

ВЛИЯНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

Корнаев Алексей Валерьевич;
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
302026, Россия, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95,
Кафедра «Мехатроника и международный инжиниринг»,
Кандидат технических наук, доцент,
E-mail: rusakor@inbox.ru

В статье рассмотрено применение вариационного подхода в решении задач гидродинамической смазки подшипников жидкостного трения неньютоновскими жидкостями. Результаты расчета тестовых задач сравнены с результатами других авторов. Продемонстрирован эффект изменения рабочих характеристик подшипников при смазке неньютоновскими жидкостями.

Ключевые слова: гидродинамическая теория смазки, вариационный метод, реология, неньютоновская жидкость.

Библиографический список:

1.Слезкин, Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости / Н.А. Слезкин // М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. – 1955. – 519 с.

2.Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения / Л.А. Савин, О.В. Соломин. М.: Машиностроение-1. – 2006. – 444 с.

3.Reynolds, O. On the theory of lubrication and its application to Mr. Beauchamp Tower's experiments, including an experimental determination of the viscosity of oliveoil. Philosophical Transaction of the Royal Society of London / O Reynolds. – 1886. 177. – Pp. 157-77.

4.Akhverdiev, K.S. Hydrodynamic analysis of plain bearings with the use of models of stratified flow of viscous and viscoplastic lubricant / K.S. Akhverdiev, T.S. Cherkasova, P.A. Vorontsov // Journal of Friction and Wear. – 1998, Vol. 19, No 6, - Pp. 4-15.

5.Zadorozhnaya, E.A. Solving a thermohydrodynamic lubrication problem for complex-loaded sliding bearings with allowance for rheological behavior of lubricating fluid / E.A. Zadorozhnaya // Journal of machinery manufacture and reliability. – 2015, Vol. 44, No1, – Pp. 46-56.

6.Korn, G.A. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. 2nd ed. / G.A. Korn, T.M. Korn // New York: Dover Publications. – 2000. – 630 p.

7.Kornaev, A. Influence of the ultrafine oil additives on friction and vibration in journal bearings / A. Kornaev, L. Savin, E. Kornaeva, A. Fetisov // Tribology International, Vol. 101 – 2016, – Pp. 131-140.

8.Кучеряев Б.В. Механика сплошных сред (теоретические основы обработки давлением композитных металлов с задачами и решениями, примерами и упражнениями): Учебник для вузов / Б.В. Кучеряев М.: МИСиС. 2006. 604 с.

INFLUENCE OF RHEOLOGY PROPERTIES ON THE PERFORMANCE OF JOURNAL BEARINGS

Kornaev Alexey Valerievich
Oryol State University named after I.S. Turgenev,
95, Komsomolskaya st., Oryol, Russia, 302026,
Chair «Mechatronics and international engineering»,
Candidate of sciences, docent,
E-mail: rusakor@inbox.ru

The article demonstrates application of the variational approach to solving the problems of hydrodynamic lubrication with non-Newtonian fluids. The results of test calculations are compared with the results of other authors. Represented calculation results demonstrate the effect of changes in the performance of bearings lubricated with non-Newtonian fluids.

Key words: hydrodynamic lubrication theory, variational approach, rheology, non-Newtonian fluid.

Bibliography:

1.**Slezkin, N.A.** Fluid dynamics. M.: Gostehizdat. – 1955. – 519 p. (in Russian).

2.**Savin, L.A.** Modeling of rotor machines with journal bearings / Savin, L.A., O.V Solomin M.: Mashinostroenie-1. – 2006. – 444 p. (in Russian).

3.**Reynolds, O.** On the theory of lubrication and its application to Mr. Beauchamp Tower's experiments, including an experimental determination of the viscosity of oliveoil. Philosophical Transaction of the Royal Society of London / O. Reynolds – 1886. 177. – Pp. 157-77.

4.**Akhverdiev, K.S.** Hydrodynamic analysis of plain bearings with the use of models of stratified flow of viscous and viscoplastic lubricant / K.S. Akhverdiev, T.S. Cherkasova, P.A. Vorontsov // Journal of Friction and Wear. – 1998, Vol. 19, No 6, - Pp. 4-15.

5.**Zadorozhnaya, E.A.** Solving a thermohydrodynamic lubrication problem for complex-loaded sliding bearings with allowance for rheological behavior of lubricating fluid / E.A Zadorozhnaya // Journal of machinery manufacture and reliability. – 2015, Vol. 44, No1, – Pp. 46-56.

6.**Korn, G.A.** Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. 2nd ed. / G.A. Korn, T.M. Korn, // New York: Dover Publications. – 2000. – 630 p.

7.**Kornaev, A.** Influence of the ultrafine oil additives on friction and vibration in journal bearings / A. Kornaev, L. Savin, E. Kornaeva, A. Fetisov // Tribology International, Vol. 101 – 2016, – Pp. 131-140.

8.**Koutcheryaev, B.V.** Mechanics of continua / B.V. Koutcheryaev M.: MISiS. – 2006. 604 p. (in Russian).

УДК 621.79.02

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА БУКСЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА ЗА СЧЕТ ОБРАБОТКИ КАТОДНЫМИ ПЯТНАМИ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Кузнецов Вячеслав Геннадьевич
Институт проблем машиноведения РАН,
199178, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О., Большой пр., д. 61
Доктор технических наук, заведующий лабораторией,
E-mail: kvgipme@gmail.com

Курбанов Тельман Айдабекович
ООО «Магистраль Технологий»,
198320, Россия, г. Санкт-Петербург, Красное Село, пр. Ленина, д. 77 А, оф. 334,
Генеральный директор,
E-mail: info@magistralteh.ru

На примере буксы грузового железнодорожного вагона исследованы особенности обработки катодными пятнами вакуумно-дугового разряда внутренней поверхности корпуса буксы.

Ключевые слова: катодное пятно, вакуумная дуга, поверхность, очистка, букса, температура, микрорельеф, дефектоскопия, восстановление формы, деформация.

Библиографический список:

1. Кузнецов, В.Г. Вакуумная электродуговая очистка поверхности металлопроката – новое направление в металлообработке / В.Г. Кузнецов // Труды 7-й Международной конференции “Пленки и покрытия-2005”, Санкт-Петербург. - 2005. - С. 57 - 62.

2. Кузнецов, В.Г. Вакуумные ионно-плазменные инновационные разработки для вагонного хозяйства / В.Г. Кузнецов, А.А. Ашихмин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2012. - № 2 (30). - С. 36 – 38.

3. Самарский, А. А. Введение в теорию разностных схем / А.А. Самарский // Москва. Наука. - 1971. – 552 с.

4. Кузнецов, В.Г. Математическое и компьютерное моделирование тепловых процессов при взаимодействии катодного пятна вакуумной дуги с поверхностью твердого тела / **В.Г. Кузнецов, Е.С. Бабушкина, Т.А. Курбанов, В.П. Пониматкин, Д.В. Крымов.** // Научные труды 3-й Международной научной конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении», Москва, ИМАШ РАН. – 2014. - С. 147 – 150.

5. В.Г. Кузнецов, Т.А. Курбанов, Д.В. Крымов и др. Восстановление формы пластически деформированной поверхности под действием обработки катодными пятнами

вакуумно-дугового разряда / В.Г. Кузнецов, Т.А. Курбанов, Д.В. Крымов и др. // Вакуумная техника и технология. – 2014. - Том 23. - № 1. - С. 78 – 81.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CLEANING THE INNER SURFACE OF THE BUILDING AXLE BOX OF RAILWAY WAGON DUE TO THE PROCESSING BY CATHODE SPOTS OF VACUUM ARC DISCHARGE

Kuznetsov Viacheslav Gennadievich
Institute of problems in mechanical engineering RAS,
61, Bolshoi pr., V.O., Saint-Petersburg, Russia, 199178,
Doctor of technical sciences, head of laboratory,
E-mail: kvgipme@gmail.com

Kurbanov Telman Aidabekovich
Limited liability company "Magistral Technologies",
of. 334, 77, Lenin Ave, Red Village, Saint-Petersburg, Russia, 198320,
General Director,
E-mail: info@magistralteh.ru

On example of the axle-boxes of railway wagon the features of the processing by the cathode spots of vacuum arc discharge of inner surface of the building axle box were investigated.

Key words: cathode spot, vacuum arc, surface, cleaning, axle box, temperature, micro-relief, fault detection, shape recovery, deformation.

Bibliography:

1. **Kuznetsov,V. G.** Vacuum arc cleaning the surface of metal – a new direction in the metal cutting industry // Materials of the 7th International conference “Films and coatings-2005”, St. Petersburg. - 2005. - P. 57 - 62.

2. **Kuznetsov, V. G.** Vacuum ion-plasma innovations for product development / V. G. Kuznetsov, A.A. Ashihmin // Wagons and wagon farm. – 2012. - № 2(30). - P. 36 – 38.

3. **Samarskiy, A. A.** Introduction to the theory of difference schemes / A.A. Samarskiy // Moscow: Science. - 1971. – 552 p.

4. **Kuznetsov, V.G.** Mathematical and computer modeling of thermal processes in the interaction of the cathode spot of a vacuum arc with a solid surface / V.G. Kuznetsov, E.S. Babushkina, T.A. Kurbanov, V.P. Ponimatkin, D.V. Krymov // Materials of the 3rd International scientific conference "Fundamental research and innovative technologies in mechanical engineering", Moscow: IMASH RAS. – 2014. - S. 147 – 150.

5. **Kuznetsov, V.G.** The recovery of plastically deformed surface under the effect of the processing of cathode spots of vacuum arc discharge / V.G. Kuznetsov, T.A. Kurbanov, D.V. Krymov // Vacuum equipment and technology. – 2014. - Tom 23. - № 1. - P. 78 – 81.

УДК 51:621.891

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ, РАБОТАЮЩИХ НА НЕНЬЮТОНОВСКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Лагунова Елена Олеговна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Высшая математика»,
Кандидат технических наук, доцент,
Телефон: (863) 272-62-63,
E-mail: lagunova@rambler.ru

Солоп Константин Сергеевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Высшая математика»,
Аспирант,
Телефон: (863) 272-62-63,
E-mail: vm@rgups.ru

В работе приводится методика и реализация точного автомодельного решения задачи об упорном и радиальном подшипниках скольжения, работающих в гидродинамическом режиме на микрополярном смазочном материале при учете зависимости вязкостных характеристик от температуры, а также с адаптированным профилем опорной поверхности. На основе системы безразмерных уравнений движения микрополярной жидкости для случая «тонкого слоя» с учетом вязкостных характеристик от температуры и уравнений неразрывности дана оценка параметров, характеризующих зависимости вязкостных характеристик от температуры, а также влияния адаптированного профиля на основные рабочие характеристики радиальных и упорных подшипников скольжения.

Ключевые слова: гидродинамика, адаптированный профиль опорной поверхности, зависимость вязкостных характеристик микрополярного жидкого смазочного материала от температуры.

Библиографический список:

1. Ахвердиев, К.С. Гидродинамический расчет подшипников скольжения с учетом сил инерции смазочной жидкости, обладающей вязкоупругими свойствами/ К.С. Ахвердиев, М.В. Яковлев, И.А. Журба // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 2. – С. 121–125.

2. Ахвердиев, К.С. Гидродинамический расчет подшипников скольжения с использованием моделей слоистого течения вязкой и вязкопластичной смазки/ К.С. Ахвердиев, П.А. Воронцов, Т.С. Черкасова // Трение и износ. – 1998. – Т. 16, № 6. – С. 698–707.

3. Ахвердиев, К.С. Гидродинамический расчет упорного подшипника скольжения, работающего на вязкоупругой смазке в турбулентном режиме трения/ К.С. Ахвердиев, М.А. Мукутадзе, И.С. Семенко // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2011. – № 4, – С. 69–77.

4 Ахвердиев, К.С. Математическая модель микрополярной смазки подшипников скольжения с податливой опорной поверхностью / К.С. Ахвердиев, И.В. Колесников, М.А. Мукутадзе, И.С. Семенко // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2012. – № 6, – С. 22–25.

5. Ахвердиев, К.С. Об устойчивости движения направляющей при неустановившемся течении вязкоупругой смазки в системе «ползун-направляющая» / К.С. Ахвердиев, И.А. Журба //Вестник РГУПС. – 2005. – № 1. – С. 5–11.

6. Ахвердиев, К.С. Расчетная модель упорного подшипника скольжения с повышенной несущей способностью, работающего на неньютоновских смазочных материалах с адаптированной опорной поверхностью [Электронный ресурс] / К.С.

Ахвердиев, М.А. Мукутадзе, Е.О. Лагунова, К.С. Солоп // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4 – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/magazine/

7. Буяновский, И.А. Трибологические методы испытаний смазочных материалов / И.А. Буяновский, М.М. Хрущов // Вестник машиностроения. – 2002. – № 2. – С. 17.

8. Задорожная, Е.А. Применение неньютоновских моделей смазочных жидкостей при расчете сложнонагруженных узлов трения поршневых и роторных машин/ Е.А. Задорожная, И.В. Мухортов, И.Г. Леванов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 7. – С. 22–30.

9. Павлик, Б.Б. Об учете вязкоупругопластических свойствах смазки при расчете коэффициента трения линейного УГД контакта / Б.Б. Павлик, Э.Г. Фельдмане. – Рига: Риж. политехн. ин-т, 1988. – С. 5–-14.

SETTLEMENT MODELS OF THE BEARINGS OF SLIDING USING NON-NEWTONIAN LUBRICANTS TAKING INTO ACCOUNT DEPENDENCE OF VISCOUS CHARACTERISTICS ON TEMPERATURE

Lagunova Elena Olegovna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Higher Mathematics»,
Candidate of Engineering Sciences, Associated Professor,
Phone: (863) 272-63-85, 272-62-63,
E-mail: lagunova@rambler.ru

Solop Konstantin Sergeevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair « Higher Mathematics»,
Postgraduate student,
Phone: (863) 272-62-63,
E-mail: vm@rgups.ru

The technique and implementation of the exact automodel solution of a task on the persistent and radial bearings of sliding working in the hydrodynamic mode on micropolar lubricant at the accounting of dependence of viscous characteristics on temperature, and also with the adapted profile of a basic surface is given in work. On the basis of system of the dimensionless equations of the movement of micropolar liquid for a case of "a thin layer" taking into account viscous characteristics from temperature and the equations of continuity an assessment of the parameters characterizing dependences of viscous characteristics on temperature, and also influences of the adapted profile on the main performance data of radial and persistent bearings of sliding is given.

Keywords: hydrodynamics, the adapted profile of a basic surface, dependence of viscous characteristics of micropolar liquid lubricant on temperature.

Bibliography

1. **Akhverdiyev, K.S.** Gidrodinamichesky calculation of bearings of sliding taking into account forces of inertia of the lubricant liquid possessing viscoelastic properties / K.S. Akhverdiyev, M. V. Yakovlev, I.A. Zhurba//Friction and wear. – 2003. – T. 24, No. 2. – Page 121-125.

2. **Akhverdiyev, K.S.** Gidrodinamichesky calculation of bearings of sliding with use of models of a layered current of viscous and viscoplastic greasing / K.S. Akhverdiyev, P. A. Vorontsov, T.S. Cherkasova//Friction and wear. – 1998. – T. 16, No. 6. – Page 698-707.

3. **Akhverdiyev, K.S.** Gidrodinamichesky calculation of the persistent bearing of the sliding working at viscoelastic greasing in the friction / K.S turbulent mode. Akhverdiyev, M. A. Mukutadze, I.S. Semenko//Problems of mechanical engineering and reliability of cars. – 2011. – No. 4, – Page 69-77.

4. **Akhverdiyev, K.S.** Matematicheskaya model of micropolar greasing of bearings of sliding with a pliable basic surface / K.S. Akhverdiyev, I.V. Kolesnikov, M. A. Mukutadze, I.S. Semenko//Friction and greasing in machines and mechanisms. – 2012. – No. 6, – Page 22-25.

5. **Akhverdiyev, K.S.** About stability of the movement of the viscoelastic greasing directing at the unsteady current in system "the ram - directing" / K.S. Akhverdiyev, I.A. Zhurba//the RGUPS Bulletin. – 2005. – No. 1. – Page 5-11.

6. **Akhverdiyev, K.S.** Settlement model of the persistent bearing of the sliding with the increased bearing ability working at non-Newtonian lubricants with the adapted basic surface [An electronic resource] / K.S. Akhverdiyev, M. A. Mukutadze, E.O. Lagunova, K.S. Solop//the Engineering bulletin of Don. – 2013. – No. 4 – the access Mode: http://www.ivdon.ru/magazine/

7. **Buyanovsky, I.A.** Tribologicheskiye test methods of lubricants / I.A. Buyanovsky, M. M. Hrushchov//Messenger of mechanical engineering. – 2002. – No. 2. – Page 17.

8. **Zadorozhny, E.A.** Application of non-Newtonian models of lubricant liquids at calculation the slozhnonagruzhennykh of knots of friction of piston and rotor cars / E.A. Zadorozhny, I.V. Mukhortov, I.G. Levanov//Friction and greasing in machines and mechanisms. – 2011. – No. 7. – Page 22–30.

9. **Pavlik, B. B.** About the account the visco-elastico-plastic properties of greasing at calculation of coefficient of friction of linear UGD of contact / B. B. Pavlik, E.G. Feldman. – Threshing barn: Rig. politehn. in-t, 1988. – S. 5–14.

УДК 544.18:544.723:531.4

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ПРИСАДОК К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОГО ТРЕНИЯ

Майба Игорь Альбертович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Транспортные машины и триботехнника»,
Доктор технических наук, профессор, декан,
E-mail: mia@rgups.ru

Мигаль Юрий Федорович
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Южный научный центр РАН», 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41,
Лаборатория транспорта и новых композиционных материалов,
Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник,
E-mail: ymigal@mail.ru

Бекетов Анатолий Сергеевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Транспортные машины и триботехнника»,
Магистрант,
E-mail: beketov-anatoly23@yandex.ru

Савенкова Мария Андреевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Химия»,
Кандидат химических наук, доцент.

Исследовано совместное действие силикатных и фосфатных присадок на поверхность железа. Использованы метод DFT и модель пластины.

Ключевые слова: смазочные материалы, граничное трение, химическая связь, компьютерное моделирование.

Библиографический список:

1. **Hsu, S.M.** Molecular basis of lubrication /S.M. Hsu //Tribology International – 2004. – Vol. 37. –P.553-559.

2. **Kolesnikov, V.I**. Adsorption of heteropolyphosphates of alkaline metals on iron surface / V.I. Kolesnikov, Yu.F. Migal, M.A. Savenkova, S.N. Mizhiritskaya // Journal of Friction and Wear – 2009. – Vol. 30 (6). – P.404-410.

3. **Kohn, W.** Density Functional Theory of Electronic Structure / W. Kohn, A.D. Becke, R.G. Parr // J. Phys. Chem. – 1996. –100. P. 12974-12980.

4. **Wan, Shanhong.** An overview of inorganic polymer as potential lubricant additive for high temperature tribology /Shanhong Wan, A. Kiet Tieu, Yana Xia, Hongtao Zhu, Bach H. Tran and Shaogang Cui //Tribiology International – 2016. – Vol. 102. – P. 620-635.

5. **Мигаль, Ю.Ф.** Взаимодействие силикатных присадок с поверхностью железа / Ю.Ф. Мигаль, И.А. Майба, Д.К. Назаренко //Трение и износ – 2014. – Т.35. № 5. – С. 605-612.

6. te Velde, G. Chemistry with ADF/ G. te Velde, F.M. Bickelhaupt, S.J.A. van Gisbergen, C.F. Guerra, E.J. Baerends, J.G. Snijders, T. Ziegler //J. Comp. Chem. – 2001. –.№ 22. – P. 931.

7. **Migal, Yu.F.** Interaction of Molecules of Phosphorus-Containing Inorganic Additives with Iron Surface: Quantum-Chemical Analysis and Tribotechnical Testing / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, M.A. Savenkova, D.N. Solodovnikova // Advances in Materials Physics and Chemistry. – 2013. –V.3. No.6. – P.281 -288.

8. **Колесников, В.И.** Создание экологически безопасных смазочных материалов с многофункциональными присадками /В.И. Колесников, Ю.Ф. Мигаль, Д.Н. Солодовникова, М.А. Савенкова, Н.А. Мясникова //Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2014. – №3. – С. 38–44.

9. **Колесников, В.И.** Модифицированные присадками полифосфатов смазочные композиции «Пума» и «Буксол» / В.И. Колесников, М.А. Савенкова, Д.Н. Солодовникова, В.В. Авилов, Ю.Ф. Мигаль //Трение и смазка в машинах и механизмах – 2013. – №2.– С.3-7.

COMPUTER MODELING AND FORECASTING OF PROPERTIES OF SYSTEM OF ADDITIVES FOR WORK IN BOUNDARY FRICTION CONDITIONS

Mayba Igor Albertovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair “Transport Machines and Tribotechnics”,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean,
E-mail: mia@rgups.ru

Migal Yuri Fedorovich
Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,
41, Chekhov av., Rostov-on-Don, Russia, 344006,
Laboratory of transport and new compositional materials,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher,
E-mail: ymigal@mail.ru

Beketov Anatoly Sergeevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair “Transport Machines and Tribotechnics”,
Undergraduate,
E-mail: beketov-anatoly23@yandex.ru

Savenkova Maria Andreevna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Chemistry»,
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Combined effect of silicate and phosphatic additives on the surface of iron is investigated. The DFT method and a slab model are used.

Key words: lubricants, boundary sliding friction, chemical bond, computer modeling.

Bibliography:

1. **Hsu, S.M.** Molecular basis of lubrication /S.M. Hsu //Tribology International – 2004. – Vol. 37. –P.553-559.

2. **Kolesnikov, V.I.** Adsorption of heteropolyphosphates of alkaline metals on iron surface / V.I. Kolesnikov, Yu.F. Migal, M.A. Savenkova, S.N. Mizhiritskaya // Journal of Friction and Wear – 2009. – Vol. 30 (6). – P.404-410.

3. **Kohn, W.** Density Functional Theory of Electronic Structure / W. Kohn, A.D. Becke, R.G. Parr // J. Phys. Chem. – 1996. –100. P. 12974-12980.

4. **Wan, Shanhong.** An overview of inorganic polymer as potential lubricant additive for high temperature tribology /Shanhong Wan, A. Kiet Tieu, Yana Xia, Hongtao Zhu, Bach H. Tran and Shaogang Cui //Tribiology International – 2016. – Vol. 102. – P. 620-635.

5. **Migal, Yu.F.** Interaction of Silicate Additives and Iron Surface / Yu.F. Migal, I.A. Mayba, D.K. Nazarenko. // Journal of Friction and Wear – 2014. – Vol.35. No. 5. – P. 414-420.

6. te Velde, G. Chemistry with ADF/ G. te Velde, F.M. Bickelhaupt, S.J.A. van Gisbergen, C.F. Guerra, E.J. Baerends, J.G. Snijders, T. Ziegler //J. Comp. Chem. – 2001. –.№ 22. – P. 931.

7. **Migal, Yu.F.** Interaction of Molecules of Phosphorus-Containing Inorganic Additives with Iron Surface: Quantum-Chemical Analysis and Tribotechnical Testing / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, M.A. Savenkova, D.N. Solodovnikova // Advances in Materials Physics and Chemistry. – 2013. –V.3. No.6. – P.281 -288.

8. **Kolesnikov, V.I.** Creation of ecologically safe lubricants with multipurpose additives /V.I. Kolesnikov, Yu.F. Migal, D.N. Solodovnikova, M.A. Savenkova, N.A. Myasnikova // Ecological bulletin of scientific centers of ChES. – 2014. –No.3. – P. 38–44. (In Russian)

9. **Kolesnikov, V.I.** Properties of Lubricants Puma and Buksol Modified by Additives of Polyphosphates / V.I. Kolesnikov, M.A. Savenkova, D.N. Solodovnikova, V.V. Avilov, Yu.F. Migal //Friction and Lubrication in Engineering – 2013. – No.2.– P.3-7. (In Russian)

УДК 546.182:621.801

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПРИСАДКАМИ КИСЛЫХ ОРТОФОСФАТОВ НАТРИЯ И ЖИДКОГО СТЕКЛА

Майба Игорь Альбертоич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Транспортные машины и триботехника»,
Доктор технических наук, профессор, декан.
E-mail: mia@rgups.ru

Савенкова Мария Андреевна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Химия»,
Кандидат химических наук, доцент

Бекетов Анатолий Сергеевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
кафедра «Транспортные машины и триботехника»,
магистрант
E-mail: beketov-anatoly23@yandex.ru

Никитин Егор Игоревич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2,
Кафедра «Транспортные машины и триботехника»,
Магистрант,
E-mail: ego5491@mail.ru

Были созданы смазочные материалы на основе глицерина с присадками кислых ортофосфатов натрия и жидкого стекла. Высказаны предположения о процессе конденсации и преобразования структуры солей в ходе трения, позволяющих трактовать результаты триботехнических испытаний.

Ключевые слова: смазочные материалы, кислые ортофосфаты натрия, метасиликат натрия виде жидкого стекла, глицерин, процессы конденсации, пятно износа, пластифицирование поверхностей трибосопряжений.

Библиографический список:

1. **Szczerek, M.** Tribologia. Tribotechnika // Redakcia naukowa. M. Szczerek, M. Wisniewski. Radom: polskie towacrystwo tribologiczne, 2000., 72 Ss.
2. **Колесников, В.И.** Неорганические фосфатосодержащие полимерные присадки для пластичных смазочныхматериалов. / В.И. Колесников, М.А. Савенкова, Ю.Ф. Мигаль. и др. // Вестник научного центра РАН.2011, т. 7, №1, с 18 – 24.
3. **Lazarev, A.N.** Vibration spectrum of complex oxides / A.N. Lazarev, A.P. Mirgorodky, I.K. Ignat'ev, Moscow, 1989; 298 p.
4. **Продан Е.А.** Триполифосфаты и их применение. / Е.А. Продан, Л.И. Продан, Н.Ф. Ермоленко. «Наука и техника», Минск, 1999, 586 с.

LUBRICANTS WITH ADDITIVES OF SOUR ORTHOPHOSPHATES OF SODIUM AND LIQUID GLASS

Mayba Igor Albertovich
Rostov State Transport University;
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038;
Chair «Transport Machines and Tribotechnics»;
Doctor of Technical Science, Professor, Dean.
E-mail: mia@rgups.ru

Savenkova Maria Andreevna
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Chemistry»,
Candidate of chemical sciences, associated professor.

Beketov Anatoly Sergeevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Transport Machines and Tribotechnics»,
Undergraduate,
E-mail: beketov-anatoly23@yandex.ru

Nikitin Egor Igorevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Transport Machines and Tribotechnics»,
Undergraduate,
E-mail: ego5491@mail.ru

Lubricants on the basis of glycerin with additives of sour ortho-phosphates of sodium and liquid glass have been created. Are suggested about process of condensation and transformation of structure of the salts during friction allowing to treat results of tribotechnical tests.

Key words: lubricants, sour ortho-phosphates of sodium, sodium metasilicate type of liquid glass, glycerin, condensation processes, wear spot, plasticizing of surfaces of tribosopryazheniye.

Bibliography:

1. Tribologia. Tribotechnika // Redakcia naukowa. M. Szczerek, M. Wisniewski. Radom: polskie towacrystwo tribologiczne, 2000., 72 Ss.
2. Kolesnikov V. I., Savenkova M. A., Migal Yu. F., etc. Inorganic fosfatosoderzhashchy polymeric additives for plastic smazochnykhmaterial.//Bulletin of Ran.2011 scientific center, t. 7, № 1, s 18 – 24.
3. Lazarev, A.N., Mirgorodky, A.P., Ignat’ev, I.K. Vibration spectrum of complex oxides. Moscow, 1989; 298 p.
4. Tripolyphosphates and their application. / E. A. Prodan, L. I. Prodan, N. F. Ermolenko. "Science and technology", Minsk, 1999, 586 s.

УДК 539.219.3:621.89.012

РОЛЬ И МЕХАНИЗМЫ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ РЕСУРСА УЗЛОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ РЕСУРСНОГО СМАЗЫВАНИЯ

Маленко Павел Игоревич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тульский государственный университет «Тульский государственный университет»,
300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92,
Политехнический институт,
Кандидат технических наук, доцент,
E-mail: malenko@tsu.tula.ru.

Релмасира Капреси Джолан
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тульский государственный университет «Тульский государственный университет»;
300012, г. Тула, пр. Ленина, 92;
Политехнический институт;
Аспирант.
E-mail: winnerclass@gmail.com.

Леонов Андрей Юрьевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Тульский государственный университет «Тульский государственный университет»;
300012, г. Тула, пр. Ленина, 92;
Политехнический институт;
Аспирант.
E-mail: leonov.emw@mail.ru.

Формирование ресурса узлов, работающих в экстремальных условиях ресурсного смазывания, происходит за счет вторичных структур. Эти структуры образуются в поверхностных слоях благодаря диффузионным процессам распада исходных фаз и собственно образования вторичных структур. Выделены два типа диффузионных процессов: кооперативный и резонансный.

Ключевые слова: ресурсное смазывание, переходные температурные процессы, термический удар, восходящая диффузия, кооперативный и резонансный механизмы диффузии.

Библиографический список:

1. **Дроздов, Ю.Н.** Теоретико-инвариантный метод расчета интенсивности поверхностного разрушения твердых тел при трении / Ю.Н. Дроздов, К.В. Фролов // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1982. – № 5. – С. 138-147.

2. **Крукович, М.Г.** Накопление повреждаемости деталей машин и диффузионные процессы / М.Г. Крукович, Е.А. Бадерко // Новые материалы и технологии в машиностроении: Сборник научных трудов. – Брянск: БГИТА. – Вып. 12. – 2010. – С.64-69.

3. **Маленко, П.И.** Температурные поля и эксплуатационные свойства пар трения скольжения со смазочным материалом / П.И. Маленко, В.К. Зеленко, Д.М. Левин; под ред. Ю.Н. Дроздова. – М.: Машиностроение, 2011. – 239 с.

4. **Дроздов, Ю.Н.** Структурно-фазовые превращения в поверхностных слоях сталей при трении скольжения / Ю.Н. Дроздов, П.И. Маленко // Трение и износ. – 2014. – Т. 35, № 1. – С.87-98.

5. **Дроздов, Ю.Н**. Исследование резонансных процессов в поверхностных слоях пар трения скольжения со смазочным материалом, вызванных термическими ударами / Ю.Н. Дроздов, И.П. Маленко, П.И. Маленко // Вестник машиностроения. – 2015. – № 2. – С.44-52.

THE ROLE AND MECHANISMS OF DIFFUSION PROCESSES IN THE FORMATION OF RESOURCE UNITS OPERATING IN EXTREME CONDITIONS LUBRICATION RESOURCE

Malenko Pavel Igorevich
Federal State Educational Establishment of Higher Education «Tula State University»;
92, Lenina av., Tula, 300012,
Polytechnical Institute;
Candidate of technical sciences, associate Professor.
E-mail: malenko@tsu.tula.ru.

Relmasira Caprese Jolan
Federal State Educational Establishment of Higher Education «Tula State University»;
92, Lenina av., Tula, 300012,
Polytechnical Institute;
Phd Student.
E-mail: winnerclass@gmail.com.

Leonov Andrey Yurievich
Federal State Educational Establishment of Higher Education «Tula State University»;
92, Lenina av., Tula, 300012,
Polytechnical Institute;
Phd Student.
E-mail: leonov.emw@mail.ru.

Formation of resource units operating in extreme conditions of resource lubrication, is due to secondary structures. These structures are formed in the surface layers due to diffusion processes of decay of the initial phases and the formation of secondary structures. We identify two diffusion processes: co-op and resonant.

Key words: resource smearing, transient temperature processes, thermal shock, a rising diffusion, cooperative and resonant diffusion mechanisms.

Bibliography:

1. Drozdov, Yu.N. Theoretical invariant method of calculating the intensity of surface destruction of solid bodies with friction / Yu.N. Drozdov, K.V. Frolov // Surface. Physics, chemistry, mechanics. – 1982. – № 5. – P. 138-147.
2. Krukovich, M.G. Accumulation of damage to machine parts and diffusion processes / M.G. Krukovich, E.A. Baderko // New materials and technologies in mechanical engineering: Collection of scientific works. – Bryansk: BGITA. – Vol. 12. – 2010. – P. 64-69.
3. Malenko, P.I. The temperature field and operational properties of friction pairs with lubricants / P.I. Malenko, V.K. Zelenko, D.M. Levin; under the editorship of Yu.N. Drozdov. – M.: Mechanical Engineering, 2011. – P. 239.
4. Drozdov, Yu.N. Structural-phase transformations in surface layers of steels in sliding / Yu.N. Drozdov, P.I. Malenko // Friction and wear. – 2014. – Vol. 35, № 1. – P. 87-98.
5. Drozdov, Yu.N. Study of resonant processes in the surface layers of friction pairs with the lubricant caused by thermal shocks / Yu.N. Drozdov, I.P. Malenko, P.I. Malenko // Vestnik mashinostroeniya. – 2015. – № 2. – P. 44-52.

УДК 544.18:539.4

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ С ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

Мигаль Юрий Федорович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»;
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Химия»,
Доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой,
E-mail: ymigal@mail.ru

Колесников Владимир Иванович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»;
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Доктор технических наук, академик РАН, президент РГУПС,
E-mail: kvi@rgups.ru

Новиков Евгений Сергеевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»;
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,

Кафедра «Теоретическая механика»,
Ведущий инженер,
E-mail: bj_979@yahoo.com

Проведены исследования, показывающие принципиальную возможность создания новой технологии повышения износостойкости металлов, основанной на диффузионном введении упрочняющих элементов на границы зерен металлов.

Ключевые слова: износостойкость металлов, границы зерен, химическая связь, упрочняющие элементы.

Библиографический список:

1. Kolesnikov V.I. Study of friction and wear in the wheel-rail system by X-ray electron and auger-electron spectroscopy and quantum chemistry /V.I. Kolesnikov, A.T. Kozakov, Yu.F. Migal. // Journal of Friction and Wear – 2010. – № 31. – P.11-22.

2. Migal, Yu.F. Compatibility of chemical elements on grain boundaries and its influence on wear resistance of polycrystalline materials/ Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, E.S. Novikov // In book “Advanced Nano- and Piezoelectric Materials and their Applications”. Editor: Ivan A. Parinov. – Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA, 2014. – P. 1-18.

3. Migal, Yu.F. Impurity and alloying elements on grain surface in iron: Periodic dependence of binding energy on atomic number and influence on wear resistance / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, I.V. Kolesnikov// Computational Materials Science – 2016. – № 111. – P. 503–512.

FORMATION OF SURFACE LAYER OF FRICTION UNITS WITH INCREASED WEAR RESISTANCE

Migal Yuri Fedorovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair “Chemistry”,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, head of the chair,
E-mail: ymigal@mail.ru

Kolesnikov Vladimir Ivanovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Doctor of Engineering Sciences, Academician of Russian Academy of Sciences, President of RSTU,
E-mail: kvi@rgups.ru

Novikov Evgeniy Sergeevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Theoretical mechanics»,
Chief engineer,
E-mail: bj_979@yahoo.com

The performed study shows the possibility in principle of creation of a new technology of increase in wear resistance of metals based on diffusion introduction of the strengthening elements into grain boundaries of metals.

Key words: wear resistance of metals, grain boundaries, chemical bond, strengthening elements.

Bibliography:

1. Kolesnikov, V.I. Study of friction and wear in the wheel-rail system by X-ray electron and auger-electron spectroscopy and quantum chemistry /V.I. Kolesnikov, A.T. Kozakov, Yu.F. Migal. // Journal of Friction and Wear – 2010. – № 31. – P.11-22.
2. Migal, Yu.F. Compatibility of chemical elements on grain boundaries and its influence on wear resistance of polycrystalline materials/ Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, E.S. Novikov // In book “Advanced Nano- and Piezoelectric Materials and their Applications”. Editor: Ivan A. Parinov. – Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA, 2014. – P. 1-18.
3. Migal, Yu.F. Impurity and alloying elements on grain surface in iron: Periodic dependence of binding energy on atomic number and influence on wear resistance / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, I.V. Kolesnikov// Computational Materials Science – 2016. – № 111. – P. 503–512.

УДК 544.18:539.4

СОВМЕСТИМОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ГРАНИЦАХ ЗЕРЕН В СТАЛИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Мигаль Юрий Федорович
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Южный научный центр РАН», 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41;
Лаборатория транспорта и новых композиционных материалов,
Доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник,
E-mail: ymigal@mail.ru

Колесников Владимир Иванович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Доктор технических наук, академик РАН, президент РГУПС,
E-mail: kvi@rgups.ru

Проведены расчеты энергии связи границ зерен в стали, содержащих элементы шестого периода. Использованы метод DFT и модель пластины.

Ключевые слова: элементный состав, химическая связь, границы зерен.

Библиографический список:

1. Briggs, D. Practical surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy / D. Briggs, M.P. Seah. – John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 1990.
2. Seah, M.P. Adsorption-induced interface decohesion / M.P. Seah. // Acta Metallurgica – 1980. – № 28. – P. 955-962.

3. Herbig, M. Atomic-scale quantification of grain boundary segregation in nanocrystalline material / M. Herbig, D. Raabe, Y. J. Li, P. Choi, S. Zaefferer, S. Goto // *Phys. Rev. Lett.* – 2014. – № 112. – P.126103.

4. Lejcek, P. Grain boundary segregation in metals / P. Lejcek. – Springer series in materials science, book 136. – Springer, 2010.

5. Painter, G.S. Effects of segregation on grain-boundary cohesion: A density-functional cluster model of boron and sulfur in nickel / G.S. Painter, F.W. Averill //Phys. Rev. Lett. – 1987 – № 58. – P.234–237.

6. Yang, R. The effects of 3d alloying elements on grain boundary cohesion in gamma-iron: a first principles study on interface embrittlement due to the segregation /R.Yang, R.Z. Huang, Y.M. Wang, H.Q. Ye., C.Y. Wang //J. Phys.: Condens. Matter. – 2003. – №15. – P. 8339–8349.

7. Braithwaite, J. Spencer. Grain boundary impurities in iron / J. Spencer Braithwaite, Peter Rez / Acta Materialia – 2005. – № 53 – P.2715–2726.

8. Gesari, S.B. Effect of manganese on grain boundary segregation of sulfur in iron // S.B. Gesari., M.E. Pronsato, A. Juan //Applied Surface Science. – 2007– № 253 – P. 5939–5942.

9. Kolesnikov V.I. Study of friction and wear in the wheel-rail system by X-ray electron and auger-electron spectroscopy and quantum chemistry /V.I. Kolesnikov, A.T. Kozakov, Yu.F. Migal. // Journal of Friction and Wear – 2010. – № 31. – P.11-22.

10. Migal, Yu.F. Compatibility of chemical elements on grain boundaries and its influence on wear resistance of polycrystalline materials/ Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, E.S. Novikov // In book “Advanced Nano- and Piezoelectric Materials and their Applications”. Editor: Ivan A. Parinov. – Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA, 2014. – P. 1-18.

11. Migal, Yu.F. Impurity and alloying elements on grain surface in iron: Periodic dependence of binding energy on atomic number and influence on wear resistance / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, I.V. Kolesnikov// Computational Materials Science – 2016. – № 111. – P. 503–512.

12. Priester, L. Grain boundaries from theory to engineering /L. Priester. – Springer series in materials science, book 172. – Springer, 2013.

13. te Velde, G. Chemistry with ADF/ G. te Velde, F.M. Bickelhaupt, S.J.A. van Gisbergen, C.F. Guerra, E.J. Baerends, J.G. Snijders, T. Ziegler //J. Comp. Chem. – 2001. –.№ 22. – P. 931.

COMPATIBILITY OF CHEMICAL ELEMENTS ON GRAIN BOUNDARIES IN STEEL AND ITS INFLUENCE ON STRENGTH PROPERTIES OF STEEL

Migal Yuri Fedorovich
Southern Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,
41, Chekhov av., Rostov-on-Don, Russia, 344006,
Laboratory of transport and new compositional materials,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, chief researcher,
E-mail: ymigal@mail.ru

Kolesnikov Vladimir Ivanovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Doctor of Engineering Sciences, Academician of Russian Academy of Sciences, President of RSTU,
E-mail: kvi@rgups.ru

Calculations of binding energy of grain boundaries in steel containing elements of the sixth period are carried out. The DFT method and a slab model are used.

Key words: element structure, chemical bond, grain boundaries.

Bibliography:

1. Briggs, D. Practical surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy / D. Briggs, M.P. Seah. – John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 1990.
2. Seah, M.P. Adsorption-induced interface decohesion / M.P. Seah. // Acta Metallurgica – 1980. – № 28. – P. 955-962.
3. Herbig, M. Atomic-scale quantification of grain boundary segregation in nanocrystalline material / M. Herbig, D. Raabe, Y. J. Li, P. Choi, S. Zaefferer, S. Goto // *Phys. Rev. Lett.* – 2014. – № 112. – P.126103.
4. Lejcek, P. Grain boundary segregation in metals / P. Lejcek. – Springer series in materials science, book 136. – Springer, 2010.
5. Painter, G.S. Effects of segregation on grain-boundary cohesion: A density-functional cluster model of boron and sulfur in nickel / G.S. Painter, F.W. Averill //Phys. Rev. Lett. – 1987 – № 58. – P.234–237.
6. Yang, R. The effects of 3d alloying elements on grain boundary cohesion in gamma-iron: a first principles study on interface embrittlement due to the segregation /R.Yang, R.Z. Huang, Y.M. Wang, H.Q. Ye., C.Y. Wang //J. Phys.: Condens. Matter. – 2003. – №15. – P. 8339–8349.
7. Braithwaite, J. Spencer. Grain boundary impurities in iron / J. Spencer Braithwaite, Peter Rez / Acta Materialia – 2005. – № 53 – P.2715–2726.
8. Gesari, S.B. Effect of manganese on grain boundary segregation of sulfur in iron // S.B. Gesari., M.E. Pronsato, A. Juan //Applied Surface Science. – 2007– № 253 – P. 5939–5942.
9. Kolesnikov V.I. Study of friction and wear in the wheel-rail system by X-ray electron and auger-electron spectroscopy and quantum chemistry /V.I. Kolesnikov, A.T. Kozakov, Yu.F. Migal. // Journal of Friction and Wear – 2010. – № 31. – P.11-22.
10. Migal, Yu.F. Compatibility of chemical elements on grain boundaries and its influence on wear resistance of polycrystalline materials/ Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, E.S. Novikov // In book “Advanced Nano- and Piezoelectric Materials and their Applications”. Editor: Ivan A. Parinov. – Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA, 2014. – P. 1-18.
11. Migal, Yu.F. Impurity and alloying elements on grain surface in iron: Periodic dependence of binding energy on atomic number and influence on wear resistance / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, I.V. Kolesnikov// Computational Materials Science – 2016. – № 111. – P. 503–512.
12. Priester, L. Grain boundaries from theory to engineering /L. Priester. – Springer series in materials science, book 172. – Springer, 2013.
13. te Velde, G. Chemistry with ADF/ G. te Velde, F.M. Bickelhaupt, S.J.A. van Gisbergen, C.F. Guerra, E.J. Baerends, J.G. Snijders, T. Ziegler //J. Comp. Chem. – 2001. –.№ 22. – P. 931.

УДК 621.09

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕНИЯ НА КОНТАКТЕ «СТРУЖКА-Инструмент» ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Новиков Виктор Владимирович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный университет»,
153025, Россия, г. Иваново, ул. Ермака, 39,
Трибологический научно-образовательный центр,
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
E-mail: novikov-ww@mail.ru

Предложена физическая модель трения в зоне контакта «стружка-инструмент» при резании металлов, основанная на описании формирования застойной зоны при вершине резца. Через построенную модель дано объяснение смазочного действия смазочно-охлаждающих технологических средств при резании металлов.

Ключевые слова: трение, резание, стружка, инструмент, смазочно-охлаждающее технологическое средство, СОТС.

Библиографический список:

1. **Зорев, Н.Н.** Исследование элементов механики процесса резания. М: Машгиз, 1952, 364с.
2. **Гордон, М.Б.** Исследование трения и действия внешней среды в процессе резания металлов. Автореферат дисс. канд. техн. наук. Горький: ГПИ, 1965. 20 с.
3. **Astakhov, V P.** Tribology of metal cutting// Cutting tribology and interface engineering series, 52 Editor: B.J. Briscoe. Elsevier Ltd. Oxford, 2006. 454 p.
4. **Латышев, В.Н.** Повышение эффективности СОТС. М.: Машиностроение, 1975. 88 с.

THE PHYSICAL MODEL OF FRICTION AT THE CONTACT "CHIP-TOOL" WHEN CUTTING METALS

Novikov Victor Vladimirovich
Ivanovo State University,
39, Ermaka str., Ivanovo, Russia, 153025,
Tribological science and education center,
Candidate of the technical sciences, senior researcher,
E-mail: novikov-ww@mail.ru

A physical model of friction in the contact zone of the "chip-tool" when cutting metals was offered. It based on the description of the formation of a stagnation zone at the apex of the cutter. Using the model the explanation for the lubricating action of the vetalworking fluids was given.

Keywords: friction, cutting, shaving, tool, vetalworking fluids, MWFs.

Bibliography:

1. Zorev,N.N. Study of elements of mechanics of cutting process. M: Mashgiz, 1952, p. 364
2. Gordon, M.B. Study of friction and external environment in the process of metal cutting. The author's abstract Diss. kand. tech. Sciences. Bitter: GUIs, 1965. 20 C.
3. Astakhov, V. P. Tribology of metal cutting// the Cutting tribology and interface engineering series, 52 Editor: B. J. Briscoe. Elsevier Ltd. Oxford, 2006. 454 p.
4. Latyshev, V. N. Improving the efficiency of MWFs. — M.: Mashinostroenie, 1975. 88 p

УДК 536.2

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЭКРАНИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ГРАНИЧНЫХ МАСЛЯНЫХ ПЛЕНОК

Попов Дмитрий Анатольевич
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8,

Кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин,
Телефон: 8-960-113-21-45,
E-mail: qaz.7@mail.ru

Кадырметов Анвар Минирович
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8,
Доктор технических наук, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин,
Телефон: 8951-568-50-27,
E-mail: kadyrmetov.a@mail.ru

Пустовалов Алексей Сергеевич
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8,
Аспирант кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин,
Телефон: 8-960-137-96-65
E-mail: Pustovalov_aleks@mail.ru

Представлена конструкция устройства для имитации температурной вспышки, возникающей при фрикционном взаимодействии, а также для изучения пространственно временной области распространения теплового потока от температурной вспышки через сухой и масляный контакт.

Ключевые слова: устройство, температурная вспышка, износ, граничное трение, экранирующий эффект, тепловая динамика трения.

Библиографический список:

1 Чичинадзе, А. В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др.; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение. – 2003. – 576 с.: ил.;

2 Чичинадзе, А. В. Исследование экранирующего действия масляной пленки, находящейся на фрикционном контакте / А. В. Чичинадзе, Н. В Поляков // Трение и износ. – Машиностроение. – 1983. – Т. 4. – С. 600-607;

3 Поляков, Н. В. Аналитический расчет тепловой интенсивности трения при повторно-кратковременных торможениях / Н. В. Поляков, Д. А Попов, Е. В Снятков // Мир транспорта и технологических машин. – Орел ГТУ. – 2013. – № 2 (41). – С. 54-58.

4 Begelinger A. Lubrication of sliding point contacts of AISI 52100 steel / Bgelinger A., de Gee A.W.Y. – the influence of curvature // Wear. 36. 1976. – №1. – P. 7-11.

THE DEVICE FOR INVESTIGATION HEAT SCREENING OF THE ACTION BOUNDARY OF THE OIL FILM

Popov Dmitry Anatolyevich
Federal state educational institution of higher professional education Voronezh state forestry engineering University named after G. F. Morozov,
8, Timiryazeva str., Voronezh, Russia,
Chair « production, repair and operation of machines»,
Candidate of technical Sciences, associate Professor,

Phone: 8-960-113-21-45,
E-mail: qaz.7@mail.ru

Kadirmetov Anvar Minirovich
Federal state educational institution of higher professional education Voronezh state forestry engineering University named after G. F. Morozov,
8, Timiryazeva str., Voronezh, Russia,
Chair « production, repair and operation of machines»,
Doctor of technical Sciences, Professor,
Phone: 8951-568-50-27,
E-mail: kadyrmetov.a@mail.ru

Pustovalov Alexey Sergeyevich
Federal state educational institution of higher professional education Voronezh state forestry engineering University named after G. F. Morozov,
8, Timiryazeva str., Voronezh, Russia,
Chair « production, repair and operation of machines»,
Assistant,
Phone: 8-960-137-96-65,
E-mail: Pustovalov_aleks@mail.ru

The design of the device to simulate the temperature flash that occurs when the friction interaction, as well as to explore the spatial and temporal distribution of the heat flux from temperature flash through dry and oil contact.

Keywords: device, flash temperature, wear, boundary friction, the shielding effect of the thermal dynamics of friction.

Bibliography:

1 Chichinadze, A. V. Friction, wear and lubrication (tribology and tribotechnics) / A.V. Chichinadze, E. M. Berliner, E. D. Brown and others; under the General editorship of A. V. Chichinadze. – M. : Mechanical Engineering. – 2003. – 576 p.: Il.

2 Chichinadze, A. V. Investigation of the shielding effect of the oil film being in frictional contact / A. B. Chichinadze, N. V. Polyakov // Friction and wear. – Engineering. – 1983. – T. 4. – P. 600-607;

3 Polyakov, N. V. Analytical calculation of thermal intensity of friction in intermittent braking / N. V. Polyakov, D. A. Popov, E. V. Snyatkov // World of transport and technological machines – Orel GTU. – 2013. – № 2 (41). – P. 54-58.

4 Begelinger A., de Gee A.W.Y. Lubrication of sliding point contacts of AISI 52100 steel – the influence of curvature // Wear. 36. – 1976. – №1. – P. 7-11.

УДК 62-251

МЕХАТРОННЫЕ ПОДШИПНИКИ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Леонид Алексеевич Савин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
302020, Россия, г. Орел, Наугоское ш., 29,
Технологический институт имени Н.Н. Поликарпова,

Кафедра «Мехатроника и международный инжиниринг»,
Доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,
E-mail: savin@ostu.ru.

Денис Владимирович Шутин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
302020, Россия, г. Орел, Наугоское ш., 29,
Технологический институт имени Н.Н. Поликарпова,
Кафедра «Мехатроника и международный инжиниринг»,
Кандидат технических наук, инженер-исследователь,
E-mail: rover.ru@gmail.com.

Александр Сергеевич Фетисов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»,
302020, Россия, г. Орел, Наугоское ш., 29,
Технологический институт имени Н.Н. Поликарпова,
Кафедра «Мехатроника и международный инжиниринг»,
Студент, стажер-исследователь,
E-mail: fetisov57rus@mail.ru.

Проведен анализ применения мехатронных подшипников в качестве опор роторов различных электро- и турбоагрегатов. Рассмотрены принципы функционирования мехатронных опор роторов на основе подшипников качения и скольжения. Представлены тенденции развития данного направления триботехники.

Ключевые слова: подшипник качения, подшипник жидкостного трения, опора ротора, несущая способность, динамические и энергетические характеристики, мехатронные технологии.

Библиографический список:

1. Савин, Л.А. Автоматизированное проектирование роторных систем: монография// Л.А. Савин, О.В. Соломин, Д.Е. Устинов, А.О. Пугачев; под общ. Ред. Л.А. Савина. – М.: Машиностроение -1, 2006. – С. 9-14.

2. Kytka, P. “Application of Feedforward-Disturbance-Compensation and Input-Shaping to Machinez-Axis in Active Hydrostatic Bearings”, Proceedings of the 9th International Conference on Motion and Vibration Control / P. Kytka, B. Riemann, R. Nordmann // Technische Universitaet München Campus Garching/Munich, Germany, 2008.

3. Савин, Л.А. Мехатроника: Введение в специальность. Учебное пособие для высшего профессионального образования. Л.А. Савин. – Орел: «ФГБОУ ВПО Госуниверситет-УНПК», 2012г., С. – 29-33.

4. Хайманн, Б Мехатроника: компоненты, методы, примеры / Б. Хайманн, В. Герт // [Б. Хайманн, В. Герт, К. Попп, О. Репецкий]; под ред. О.В. Репецкого; пер. с нем. А.В. Хапров. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – С. 363-371.

5. Alciatore, D. Introduction to Mechatronics and Measurement Systems. Third edition /. D. Alciatore, M. Histand // David G. Alciatore, Michael B. Histand. – 3rd ed.

MECHATRONIC FLUID-FILM BEARINGS WITH ACTIVE CONTROL

Savin Leonid Alekseevich
Orel State University,
29, Naugorskoe rte, Orel, Russia, 302020,

Technology Institute named after N.N. Polykarpov;
Chair “Mechatronics and international engineering”,
Doctor of the technical sciences, Professor, leading researcher,
E-mail: savin@ostu.ru.

Shutin Denis Vladimirovich
Orel State University,
29, Naugorskoe rte, Orel, Russia, 302020,
Technology Institute named after N.N. Polykarpov,
Chair “Mechatronics and international engineering”,
Candidate of the technical sciences, engineer-researcher,
E-mail: rover.ru@gmail.com

Fetisov Alexander Sergeevich
Federal state Budgetary Educational Institution of Higher Education “Orel State University named after I.S. Turgenev” (Orel State University);
29, Naugorskoe rte, Orel, 302020, Russia;
Technology Institute named after N.N. Polykarpov;
Chair “Mechatronics and international engineering”
Student, researcher.
E-mail: fetisov57rus@mail.ru.

The paper contains the analysis of usage of mechatronic bearings as rotor bearings in electric and turbine machines. Different principles of operation of mechatronic bearings based on fluid film bearings are considered. The trends of development of this direction if tribology are shown.

Keywords: rolling bearings, fluid film bearings, load capacity, dynamic and energetic characteristics, mechatronics

Bibliography:

1. Savin, L. Computer-aided design of rotor systems: monograph.// Savin L., Solomin O., Ustinov D., Pugachev A. Moscow: Mashinostroenie-1, 2006. P. 9-14.

2. Kytka, P. “Application of Feedforward-Disturbance-Compensation and Input-Shaping to a Machinez-Axis in Active Hydrostatic Bearings”, Proceedings of the 9th International Conference on Motion and Vibration Control / P. Kytka, B. Riemann, R. Nordmann // Technische Universitaet München Campus Garching/Munich, Germany, 2008.

3. Savin, L. Mechatronics: Introduction to the profession. Tutorial for higher professional education// Savin L., Orel: “SU-ESPC”, 2012, P. 29-33.

4. Mechatronics: components, methods, examples// [B. Hayman, V. Gert, K. Popp]. – Novosibirsk, 2010. – P. 363-371.

5. Alciatore, M. Histand Introduction to Mechatronics and Measurement Systems. Third edition / David G. Alciatore, Michael B. Histand. – 3rd ed.

УДК 534.014

ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ

Шехов Дмитрий Владимирович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.
Кафедра «Путь и путевое хозяйство», аспирант
Телефон: (863) 242-60-42,
E-mail: iiiexob@gmail.com

Шехов Владимир Павлович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.
Кафедра «Теоретическая механика», доцент
Телефон: (952) 567-99-20,
E-mail: Shekhovvp@gmail.com

Рассматривается вопрос, что такое сила сцепления и сила трения. Их схожесть и отличие от других сил механического взаимодействия.
Ключевые слова: Механическое взаимодействие. Сила сцепления. Сила трения.

Библиографический список:

1. Никитин, Н.Н. Курс теоретической механики: учебник для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов /Н.Н. Никитин. – М.: Высш. шк., 1990. – 607 с.
2. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: учебник. 9-е изд., стер. /А.А. Яблонский, В.М. Никифорова – СПб.: Издательство «Лань», 2004. – 768 с.
3. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для втузов 13-е изд. /С.М. Тарг., – М.: Высш. шк., 2003. – 416 с.

THE NATURE OF THE ADHESION FORCES-FRICTION

Chekhov Dmitry Vladimirovich
Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Rostov state transport University",
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Department of "Path and track facilities", PhD student
Phone: (863) 242-60-42,
E-mail: iiiexob@gmail.com

Chekhov Vladimir Pavlovich
Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Rostov state transport University",
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038

The Department of Theoretical mechanics, associate Professor
Phone: (952) 567-99-20,
E-mail: Shekhovvp@gmail.com

Addresses the question, what is the adhesive force and friction force. Their similarity and difference from other forces of mechanical interaction.
Keywords: Mechanical interaction. The strength of adhesion. The force of friction.

Bibliography:
1. Nikitin, N. N. The course of theoretical mechanics: a textbook for mashinostroit. and PRIBOROSTROITEL. spec. universities /N. N. Nikitin. – M.: Higher. wk., 1990. – 607 p.
2. Yablonsky A. A. Course of theoretical mechanics: textbook. 9th ed., erased. /Yablonskiy A. A., Nikiforova V. M. – SPb.: Publishing House "LAN", 2004. – 768.
3. Targ, S. M. Short course of theoretical mechanics: textbook. for technical colleges 13-e Izd. /S. M. Targ., – M.: Higher. wk., 2003. – 416 p

УДК 534.014

О ПРИРОДЕ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ-ТРЕНИЯ

Шехов Дмитрий Владимирович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.
Кафедра «Путь и путевое хозяйство», аспирант
Телефон: (863) 242-60-42,
E-mail: iiiexob@gmail.com

Шехов Владимир Павлович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2.
Кафедра «Теоретическая механика», доцент
Телефон: (952) 567-99-20,
E-mail: Shekhovvp@gmail.com

Рассматривается вопрос, что такое сила сцепления и сила трения. Их схожесть и отличие от других сил механического взаимодействия.
Ключевые слова: Механическое взаимодействие. Сила сцепления. Сила трения.

Библиографический список:
1. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Под ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. – 664с.
2. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 368 с. – ISBN 978-5-9221-0824-9.

3. Никитин, Н.Н. Курс теоретической механики: учебник для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов /Н.Н. Никитин. – М.: Высш. шк., 1990. – 607 с.

4. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики: учебник. 9-е изд., стер. /А.А. Яблонский, В.М. Никифорова – СПб.: Издательство «Лань», 2004. – 768 с.

5. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для втузов 13-е изд. /С.М. Тарг., – М.: Высш. шк., 2003. – 416 с.

THE NATURE OF THE ADHESION FORCES-FRICTION

Chekhov Dmitry Vladimirovich
Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Rostov state transport University",
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
Department of "Path and track facilities", PhD student
Phone: (863) 242-60-42,
E-mail: iiiexob@gmail.com

Chekhov Vladimir Pavlovich
Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Rostov state transport University",
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038
The Department of Theoretical mechanics, associate Professor
Phone: (952) 567-99-20,
E-mail: Shekhovvp@gmail.com

Addresses the question, what is the adhesive force and friction force. Their similarity and difference from other forces of mechanical interaction.

Keywords: Mechanical interaction. The strength of adhesion. The force of friction.

Bibliography:

1. Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication) / Under the editorship of A. V. Chichinadze. Moscow: Mashinostroenie, 2001. – 664c.

2. Myshkin N. To., Petrokovets M. I. Friction, lubrication, wear. Physical foundations and technical applications of tribology. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 368 p. – ISBN 978-5-9221-0824-9.

3. Nikitin, N. N. The course of theoretical mechanics: a textbook for mashinostroit. and PRIBOROSTROITEL. spec. universities /N. N. Nikitin. – M.: Higher. wk., 1990. – 607 p.

4. Yablonsky A. A. Course of theoretical mechanics: textbook. 9th ed., erased. /Yablonskiy A. A., Nikiforova V. M. – SPb.: Publishing House "LAN", 2004. – 768.

5. Targ, S. M. Short course of theoretical mechanics: textbook. for technical colleges 13-e Izd. /S. M. Targ., – M.: Higher. wk., 2003. – 416 p

УДК 629.42

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА СИСТЕМЫ «КОЛЕСО – РЕЛЬС»

Щербак Петр Николаевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Путь и путевое хозяйство»,
Доктор технических наук, профессор,
E-mail: spn55@mail.ru

Фейзов Эмин Эльдарович
Северо-Кавказская дирекция тяги – СП Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД»,
344001, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Привокзальная 1/2,
E-mail: eminf@yandex.ru

Мищиненко Василий Борисович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,
344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2,
Кафедра «Транспортные машины и триботехника»,
E-mail: tmt@rgups.ru

Рассмотрены разработанные системы, средства и материалы, повышающие ресурс элементов пути и ходовых частей подвижного состава

Ключевые слова: система «колесо – рельс», ресурс системы, лубрикация, термопоражение

IMPROVING RESOURCE OF “WHEEL – RAIL” SYSTEM

Sherbak Petr Nikolaevich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Rail way and track facilities»,
Doctor of the technical sciences, Professor.
E-mail: spn55@mail.ru

Feizov Emin Eldarovich
Joint Stock Company "Russian Railways",
1/2, Privokzalnaya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
E-mail: eminf@yandex.ru

Mishinenko Vasily Borisovich
Rostov State Transport University,
2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq., Rostov-on-Don, Russia, 344038,
Chair «Transport machines and tribotechnick»,
E-mail: tmt@rgups.ru

Considered developed systems, tools and materials that enhance the resource elements of the path and running parts of the rolling stock

Keywords: system of "wheel - rail" system resource, lubrication, thermal damaging

УДК 621.833.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПИРОИДНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ САМОТОРМОЖЕНИЯ

Анферов Валерий Николаевич;
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»;
630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191;
Кафедра «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины»;
Доктор технических наук, профессор.
E-mail: avn43@mail.com

Кузьмин Антон Васильевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»;
630049, г. Новосибирск, 191, ул. Д. Ковальчук, 191;
Кафедра «Подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины»;
Аспирант
Тел. 89133749627
E-mail: antonkuzmin@ya.ru

В статье рассмотрены вопросы геометрического, математического и физического моделирования спироидного зацепления, проведенного с целью оценки самоторможения спироидной передачи.

Ключевые слова: спироидная передача, самоторможение, моделирование, коэффициент трения

Библиографический список:

1. **Гольдфарб В. И.** Спироидные редукторы трубопроводной арматуры / В. И. Гольдфарб, Е. С. Трубачев, А. С. Кузнецов Е. В. Лукин, Д. Е. Иванов, В. Ю. Пузанов. - М.: Вече, 2011. – 222 с.

2. **Анферов В. Н.** Проектирование приводов подъемно-транспортных машин на основе спироидных передач с гарантированным ресурсом по износу: монография. М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. –216 с.

3. **Генкин М. Д., Кузьмин Н. Ф., Мишарин Ю. А.** Вопросы заедания зубчатых колес. М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 296 с.

4. **Анферов В. Н., Кузьмин А. В., Коваленко Р. К.** Экспериментальное исследование коэффициента трения в спироидном зацеплении на дисково-роликовом стенде / Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2015. №2 (32). с. 46-52.

UDK 621.833.01

MODELING SPIROIDNYH GEAR FOR EVALUATION SELF-LOCKING

Anferov Valerii Nikolaevich;
Siberian State Transport University
191, D. Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049
Chair «Conveying, travel, construction and road machines»;
Doctor of the technical sciences, Professor
E-mail: avn43@mail.com

Kuzmin Anton Vasilevich
Siberian State Transport University
191, D. Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049
Chair «Conveying, travel, construction and road machines»;
graduate student
E-mail: antonkuzmin@ya.ru

The paper deals with the geometric, mathematical and physical modeling spiroidnyh engagement conducted to assess the self-locking spiroidnyh transmission.
Keywords: spiroidnyh transmission, self-locking, modeling, friction coefficient

Bibliography:
1. Goldfarb V I Spiroidnye reduktory truboprovodnoi armatury V I Goldfarb E S Trubachev A S Kuznetcov E V Lukin D E Ivanov V IU Puzanov - M Veche 2011 222 s
2. Anferov V N Proektirovanie privodov podemno-transportnykh mashin na osnove spiroidnykh peredach s garantirovannym resursom po iznosu monografiia M Berlin Direkt-Media 2015 216 s
3. Genkin M D Kuzmin N F Misharin IU A Voprosy zaedaniia zubchatykh koles M Izd-vo AN SSSR 1959 296 s
4. Anferov V N Kuzmin A V Kovalenko R K Eksperimentalnoe issledovanie koeffitcienta treniia v spiroidnom zatceplenii na diskovo-rolikovom stende Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia 2015 2 32 s 46-52

УДК 621-822-5

РАСЧЁТ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Мордвинкин Валерий Андреевич
Донской государственный технический университет,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
Кандидат технических наук, доцент
8(863)2738320
E-mail: 2456537@bk.ru

Сергиенко Роман Александрович
Донской государственный технический университет,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
магистрант кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
8(863)2738320
E-mail: 2456537@bk.ru

Рассмотрен метод расчёта радиального подшипника конечной длины с жидкостной смазкой на основе, полученного для данного подшипника, дифференциального уравнения Рейнольдса с соответственными граничными условиями. Полученная граничная задача решена методом конечных элементов в программном комплексе FlexPDE, при этом вязкость смазки считалась зависимой от давления по формуле Баруса. Определено поле давления в зазоре конкретного подшипника, а также его несущая способность. Результаты расчётов представлены в виде графиков

Ключевые слова: подшипник скольжения, смазка, вязкость, поле давления.

Библиографический список

1. Кочин, Н. Е. Теоретическая гидромеханика. Ч. 1. / Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе. — Москва : Физматгиз, 1963 . — 585 с.
2. Мордвинкин В.А. Введение в механику жидкости и газа /
В. А. Мордвинкин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2016. — 95 с.
3. Мордвинкин, В. А. Математическое моделирование опор с газовой смазкой / В. А. Мордвинкин. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2008. — 55 с.
4. Снопов, А. И. Теоретические основы работы газостатических опор /
А. И. Снопов. — Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2009. — 176 с.
5. Мордвинкин В.А. Несущая способность упорного газостатического подшипника (УГСП) с учётом вращения / В. А. Мордвинкин. Вестник ДГТУ, 2008. – Т.8- №2(37). —С.166 - 169**.**

CALCULATION OF THE SLIDING BEARING

Valery A. Mordvinkin
Don State Technical University
1, Gagarina sq., Rostov-on-Don, Russia, 344000
Associate Professor of the Department "Theoretical and Applied Mechanics", Candidate of Technical Sciences
Tel. 8 (863) 2738320
E-mail: spu-42.4@donstu.ru

Roman A. Sergienko
Don State Technical University
1, Gagarina sq., Rostov-on-Don, Russia, 344000
undergraduate Chair of theoretical and applied mechanics
Tel. 8 (863) 2738320
E-mail: spu-42.4@donstu.ru

The method of calculation of the radial bearing of finite length with liquid-based lubricant produced for the bearing, the Reynolds differential equation with suitable boundary conditions. The resulting boundary value problem is solved by the finite element software package FlexPDE, while the viscosity of the lubricant was considered dependent on the formula Barus pressure. Defined pressure field in the gap of a particular bearing and its bearing capacity. The calculation results are presented in graphs

Keywords: plain bearing, lubrication, viscosity, pressure field.

Bibliography:

1. Kochin N. E. Teoreticheskaia gidromekhanika CH 1/ N. E. Kochin, I. A. Kibel, N. V. Roze, Moskva, Fizmatgiz. 1963. 585 p.
2. Mordvinkin V. A. Vvedenie v mekhaniku zhidkosti i gaza/
V. A. Mordvinkin Rostov-na-Donu Izd tcentr DGTU, 2016. 95 p.
3. Mordvinkin V. A. Matematicheskoe modelirovanie opor s gazovoi smazkoi / V. A. Mordvinkin Rostov-na-Donu, Izd tcentr DGTU. 2008. 55 p.
4. Snopov A. I. Teoreticheskie osnovy raboty gazostaticheskikh opor/
A. I. Snopov Rostov-na-Donu, Izd-vo IUFU. 2009. 176 p.
5. Mordvinkin V. A. Nesushchaia sposobnost upornogo gazostaticheskogo podshipnika UGSP s uchetom vrashcheniia //V A Mordvinkin Vestnik DGTU, 2008. I.8 - №2 (37) P. 166 - 169

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1
ИНВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Давыдов Ю.В., Богачев В.А., Богачев Т.В., Даглдиян Г.Д. Информационные технологии в логистическом исследовании рынка в условиях олигополии……. 3

Даглдиян Г.Д., Давыдов Ю.В., Швалов Д.В., Даглдиян Б.Д. Разработка оптимальных алгоритмов распознавания образов на топографической карте…… 8

Донченко Е.Г. Инновационные инструменты развития транспортной компании…. 12

Ерофеева Е.А., Зубков В.Н., Сарапулов И. А. Увеличение скорости доставки груженых и порожних вагонов на основе инновационных технологий, реализуемых на Северо-Кавказской железной дороге……... 16

Ковалев Г.А. Современные логистические технологии на магистральном железнодорожном транспорте……. 22

Ковалева Н.А. Интеграция железнодорожного сообщения в городскую пассажирскую транспортную систему……... 26

Козлов П.А., Колокольников В.С., Пермикин В.Ю. Современные методы расчета систем железнодорожного транспорта…… 30

Лобас Ю.Н., Матвеева О.А. Оценка инновационности научных коллективов……. 36

Костоглотов А.А., Лященко З.В., Кириллов И.Е. Инновационные адаптивные алгоритмы оценки процессов с регулярными возмущениями……... 42

Мамаев Т.Э. Городской общественный транспорт: синергетический эффект от использования разных видов транспорта……. 45

Мамаев Э.А. Взаимодействие государственных и частных организационных структур в инновационном развитии транспортных систем…….. 49

Муленко О.В. Инновационное развитие технологий сервиса на транспорте……. 53

Овсянников А.Л. Железнодорожный транспорт в условиях спонтанного изменения грузопотоков…… 57

Скрипников И.Н. Анализ инновационного способа обеспечения грузовладельцев железнодорожным подвижным составом на базе электронных аукционов……. 61

Хашев А.И. Имитационное моделирование в исследовании транспортных систем.. 65

Чеботарева Е.А., Бакалов М.В. Перспективы инновационной деятельности на железнодорожном транспорте в региональном разрезе (на примере южного региона)……... 69

Шагинян С.Г., Радченко Е.В. Регулирование олигополии – поддержка инновационного развития железнодрожного транспорта……... 73

Веревкина О.И., Кравец А.С. Применение аутсорсинга на предприятиях железнодорожного транспорта…… 77

СЕКЦИЯ 2
МЕХАНИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Булавин Ю.П, Волков И.В., Ворон О.А., Коновалов П.Ю. Оценка напряженно-деформированного состояния поддерживающей конструкции, используемой при перевозке энергетического оборудования…… 82

Зарифьян А.А. мл. Показатели энергетической эффективности грузовых электровозов с асинхронным тяговым приводом …… 87

Кобзев К.О., Месхи Б.Ч. Принципы построения методики расчета и проектирования оригинальной муфты, обеспечивающей снижение динамических нагрузок при перемещении грузовой тележки козлового крана……... 93

Кобищанов В.В., Антипин Д.Я., Расин Д.Ю., Шорохов С.Г. Совершенствование конструкции шкворневого узла рамы универсального полувагона…….. 97

Волков И.В., Булавин Ю.П., Коновалов П.Ю. Анализ расхода систем пескоподач локомотивов для стабилизации величины коэффициента сцепления…… 101

Коссов В.С., Бидуля А.Л., Краснов О.Г., Акашев М.Г. Нагруженность упругих клемм рельсового скрепления арс-4 на участках движения тяжеловесных поездов... 107

Синицын В.В. О нормировании величины выхода штока для тормозных систем грузовых вагонов с раздельным торможением…… 110

Сироткин В.В. Построение компьютерной модели электровоза вл80^{с} для изучения вопросов энергоэффективности…… 115

Елисеев А.В., Ситов И.С., Елисеев С.В. Метод определения условий ненарушения контакта с неудерживающими связями при динамических взаимодействиях….. 120

Суворова Т.В., Беляк О.А., Усошина Е.А. О генерации колебаний в основании бесстыкового пути при движении поезда…… 124

Элязов И.Ш., Равлюк В.Г. Совершенствование системы контроля технического состояния грузовых вагонов…….. 130

СЕКЦИЯ 3
ПРОБЛЕМЫ ТРЕНИЯ, ИЗНОСА, СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СМАЗКИ

Албагачиев А.Ю., Лукашев Е.А., Сидоров М.И., Ставровский М.Е Трибохимическая кинетика внешнего трения……. 136

Анферов В.Н., Коваленко Р.К. Исследование задиростойкости в спироидном зацеплении при сочетании материалов звеньев пары: сталь-бронза…… 141

Бородай А.В. О роли, механизмах формирования и кинетике плёночных структур в трибосистемах…….. 146

Voinov K.N., Makarenko P.S. Technical possibilities in tribology connected with lubricant…… 150

Григорьев А.Я., Ковалева И.Н., Мышкин Н.К. Сравнительная оценка триботехнических, физико-механических и структурных свойств растительных масел……... 153

Громаковский Д.Г., Крышень Е.В., Хаустов В.И., Шигин С.В Разработка и внедрение новых триботехнологий, повышающих ресурсные характеристики узлов трения транспортных систем……. 157

Жорник В.И., Ивахник А.В., Ивахник В.П. Исследование структуры и свойств комплексной сульфонат кальциевой смазки…… 163

Зайцев А.В. Обоснование расчета ресурса передач червячного типа при переменных режимах нагружения……... 168

Иваночкина Т.А. Моделирование структурных изменений в пленке фрикционного переноса при трении ПТФЭ в металлополимерной паре трения…… 173

Колесников В.И., Мигаль Ю.Ф., Савенкова М.А. Квантово-химический анализ взаимодействия присадок с поверхностью металла…… 178

Корнаев А.В. Влияние реологических свойств смазочных материалов на рабочие характеристики подшипников жидкостного трения……... 183

Кузнецов В.Г., Курбанов Т.А. Повышение эффективности очистки внутренней поверхности корпуса буксы железнодорожного вагона за счет обработки катодными пятнами вакуумно-дугового разряда……... 188

Лагунова Е.О., Солоп К.С. Расчетные модели подшипников скольжения, работающих на неньютоновских смазочных материалах с учетом зависимости вязкостных характеристик от температуры…….. 194

Майба И.А., Мигаль Ю.Ф., Бекетов А.С., Савенкова М.А. Компьютерное моделирование и прогнозирование свойств системы присадок к смазочным материалам для работы в условиях граничного трения……... 201

Майба И.А., Савенкова М.А., Бекетов А.С., Никитин Е.И. Смазочные материалы с присадками кислых ортофосфатов натрия и жидкого стекла…… 205

Маленко П.И., Релмасира К.Д., Леонов А.Ю. Роль и механизмы диффузионных процессов в формировании ресурса узлов, работающих в экстремальных условиях ресурсного смазывания…….. 209

Мигаль Ю.Ф., Колесников В.И., Новиков Е.С. Формирование поверхностного слоя узлов трения с повышенной износостойкостью…….. 213

Новиков В.В. Физическая модель трения на контакте «стружка-инструмент» при резании металлов…… 217

Попов Д.А., Кадырметов А.М., Пустовалов А.С. Устройство для исследования и теплоэкранирующего действия граничных масляных пленок……... 222

Савин Л.А., Шутин Д.В., Фетисов А.С. Мехатронные подшипники жидкостного трения с активным управлением……... 226

Шехов Д.В., Шехов В.П. Виды движения при трении……..... 231

Шехов Д.В., Шехов В.П. О природе сил сцепления-трения……. 235

Щербак П.Н., Фейзов Э.Э., Мищиненко В.Б. Повышение ресурса системы «колесо – рельс»…… 239

Анферов В.Н., Кузьмин А.В. Моделирование спироидного зацепления для оценки самоторможения……... 243

Морвинкин В.А., Сергиенко Р.А. Расчёт подшипника скольжения…… 249

Аннотации……... 254

Сборник докладов
Том 1
Международная научная конференция
«Механика и трибология транспортных систем»
(МехТрибоТранс−2016)

Тексты докладов приводятся в авторской редакции

Компьютерная верстка А.С. Степанищева
Подписано в печать с оригинал-макета
Формат 60х/84/8 Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 21,94 Тираж 500 Изд. № 50174 Заказ № 195

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»
Адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д.2

Отпечатано в издательстве ООО «АЛЬЯНСКОНЦЕПТ»
Адрес: 344013, г. Ростов-на-Дону, ул. Мечникова, д. 112
e-mail: divprint@mail.ru, тел. +7(918) 543-75-63