

А.П. Куцый, Е.В.Горбунова, А.В. Линявский

Иркутский Государственный университет Путей Сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ И КАЧЕНИЯ В БУКСОВЫХ УЗЛАХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВАГОНОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПРИ СЛЕДОВАНИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО РАВНОМЕРНОМУ ПРОФИЛЮ ПУТИ

Аннотация. В статье приведено общее сравнение при использовании подшипников скольжения и качения для составов массой 6000 тонн с локомотивом серии «Ермак» при следовании подвижного состава по равномерному профилю реального участка Транссибирской магистрали. Дана оценка влияния применения подшипников на тяговые показатели электроподвижного состава. Моделирование проводилось в программном комплексе «Кортэс».

Ключевые слова: буксовый узел, подшипник, тяговая сеть, электроподвижной состав, ПК «Кортэс»

Kutsyi A.P., E.V.Gorbunova, A.V. Liniavskiy

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

THE EFFECT OF THE USE OF SLIDING AND ROLLING BEARINGS IN THE AXLE BOXES OF DOMESTIC RAILWAY WAGONS ON THE CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY IN THE TRACTION NETWORK WHEN ROLLING STOCK FOLLOWS A UNIFORM TRACK PROFILE

Annotation. The article provides a general comparison when using sliding and rolling bearings for trains weighing 6,000 tons with a Yermak series locomotive when the rolling stock follows a uniform profile of the real section of the Trans-Siberian Railway. An assessment of the impact of the use of bearings on the traction characteristics of electric rolling stock is given. The simulation was carried out in the Kortess software package.

Keywords: axle box, bearing, traction network, electric rolling stock, PC «Kortess»

Введение

Подшипники являются ключевыми элементами буксовых узлов вагонов железнодорожного транспорта [1], оказывая значительное влияние на эксплуатационную надёжность, эффективность движения и экономичность работы подвижного состава. В России с конца 1990-х годов начался переход от подшипников скольжения к подшипникам качения в буксах грузовых и пассажирских вагонов, что обусловлено их техническими и экономическими преимуществами, в том числе в снижении потребляемой электрической энергии электроподвижного состава и улучшения его динамичности.

Подшипники скольжения обеспечивают вращение вала за счёт скольжения поверхностей, разделённых смазочным материалом, который предотвращает прямой контакт металлов. Это требует постоянного контроля уровня смазки и регулярной её замены, что повышает эксплуатационные затраты и риск перегрева элементов [2,3]

Подшипники качения содержат тела качения (шарики или ролики), которые вращаются между внутренним и внешним кольцами, сводя к минимуму трение скольжения. Благодаря этому значительно снижается сопротивление вращению, уменьшается износ и повышается надёжность узла.

Использование различных видов подшипников — качения и скольжения — существенно влияет на затраты электрической энергии при движении железнодорожных вагонов. Основное отличие связано с уровнем трения в узлах и, как следствие, с сопротивлением движению.

Сравнение эффективности применения подшипников скольжения и качения

В России с 1998 года эксплуатация подшипников скольжения в буксовых узлах запрещена на общедорожной сети в связи с их низкой эффективностью и требовательностью к обслуживанию. Подшипники качения полностью вытеснили подшипники скольжения в пассажирских и грузовых вагонах, тогда как подшипники скольжения ещё сохраняются лишь в промышленных вагонах, не выходящих на основную железнодорожную сеть.

В следствии многолетней эксплуатации и теоретических исследованиях можно выделить основные преимущества подшипников качения:

- снижение количества отказов примерно в 10 раз за счёт меньшего нагрева и износа;
- независимость сопротивления движению от времени стоянки и температуры окружающей среды;
- уменьшение расхода смазочных материалов в 5 раз;
- сокращение сопротивления движению при 60-70 км/ч около на 20%, что улучшает динамику поезда;
- повышение эксплуатационной надёжности, сокращение ремонта и увеличенный ресурс служебных частей;
- возможность работы при температурах до -60°C и скоростях до 385 км/ч.

Подшипники качения в буксах воспринимают вес вагона и динамические нагрузки, защищая оси от повреждений и обеспечивая минимальные поперечные смещения колесных пар. Конструкции с коническими и цилиндрическими роликовыми подшипниками получили широкое распространение благодаря высокой прочности и долговечности [4].

Использование подшипников качения приводит к заметному уменьшению сил трения при вращении осей вагонов, что облегчает движение состава. При прочих равных условиях и мощности локомотива это позволяет увеличить полезную нагрузку поезда и повысить скорость движения, тем самым увеличивая пропускную способность железнодорожных линий [5].

Кроме того, при трогании с места сопротивление движения уменьшается в 7-10 раз, что особенно важно для тяжеловесных грузовых поездов. Меньшее трение означает снижение нагрузки на электропривод локомотива и снижение расхода электроэнергии, сокращение износа оборудования и материальные затраты на ремонт и обслуживание [6].

Переход на подшипники качения сокращает сопротивление движению на 20% при средних эксплуатационных скоростях (60-70 км/ч), что напрямую способствует росту скорости движения поездов. Сокращение сил трения позволяет снижать потребление тяговой энергии на 10% и уменьшать расходы смазочных материалов в 5 раз. Таким образом, железнодорожные перевозки становятся более экологичными и экономичными [7].

Описание эксперимента по определению энергетической эффективности при использовании подшипников скольжения и качения

В качестве проведения экспериментального моделирования выбран участок Транссибирской магистрали Восточно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» Слюдянка – Танхой общей протяженностью 108 км. Данный участок не отличается значительным горно-перевальным рельефом (Рис.1) и имеет следующее расположение станций (Рис.2).

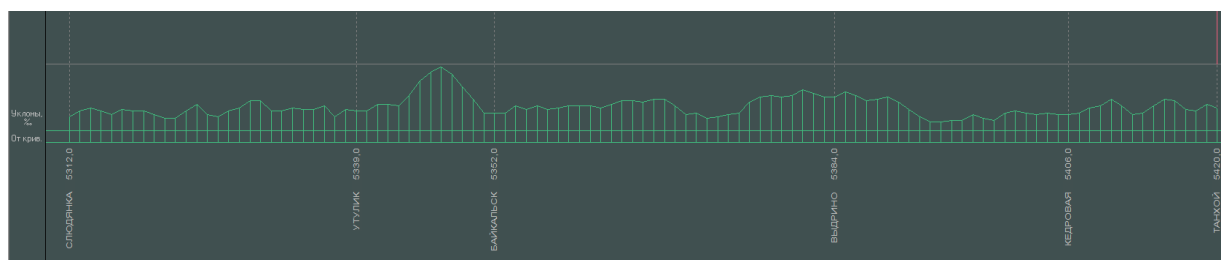


Рис.1. Профиль пути участка Слюдянка – Танхой

Наименование станции	Наличие путевого развития	Координата на плане, км	Фактич. коорд. по 1-му пути
СЛЮДЯНКА	×	5312.000	5312.000
УТУЛИК	×	5339.000	5339.000
БАЙКАЛЬСК	×	5352.000	5352.000
ВЫДРИНО	×	5384.000	5384.000
КЕДРОВАЯ	×	5406.000	5406.000
ТАНХОЙ	×	5420.000	5420.000

Рис.2. Раздельные пункты участка Слюдянка – Танхой

Для проведения сравнительного анализа энергоэффективности при использовании подшипников скольжения и качения выбран подвижной состав массой 6000 тонн с электровозом серии «Ермак». Общая масса подвижного состава (с учетом локомотива) составила 6192 тонны. Эксперимент проведем для движения электроподвижного состава в четном и нечетном направлениях без рекуперации. Подшипники скольжения и качения влияют на динамические и энергоэффективные характеристики подвижного состава за счет создания сопротивления движению вагона. Это учитывается при расчете основного удельного сопротивления движению вагона, которое можно описать как силу сопротивления, действующую на вагон при движении по участку пути в нормальных условиях. Основное удельное сопротивление движению вагонов с нагрузкой на ось более 6 т, Н/кН в режиме тяги, определяется по эмпирической формуле в зависимости от типа вагонов, конструкции пути, нагрузки на ось и скорости движения [8]:

$$W''_o = A + (B + C \cdot V + D \cdot V^2) / q_o, (1)$$

где:

A – коэффициент, учитывающий сопротивление трения качения колес о рельсы, сопротивление в подшипниках и другие постоянные сопротивления;

B, C, D – коэффициенты, учитывающие влияние скорости на сопротивление;

V – скорость движения вагона;

q_o – погонная нагрузка на ось вагона.

Как видно из выражения (1) подшипники влияют на значение коэффициента A. Ориентируясь на характеристики вагонов с разными роликами, которые описаны в базе данных программного комплекса «Кортэс» примем следующие значения коэффициента A: для роликов скольжения A = 1,14, для роликов качения A = 0,87.

Для проведения сравнительного анализа определим следующие критерии:

- полное время хода;
- время хода под током;
- расход активной энергии;
- удельный расход активной энергии;
- расход полной энергии;
- удельный расход полной энергии;
- максимальный нагрев обмоток электродвигателя.

Результаты эксперимента

Общие результаты тягового расчета для составов с роликами скольжения и роликами качения при движении в четном и нечетном направлениях, приведены в таблице 1, а также проиллюстрированы на рисунке 3.

Таблица 1 – Общие результаты тягового расчета

Время хода полное, мин.		Время хода под током, мин.		Расход активной энергии / удельный расход, кВт·ч / Вт·ч/т·км		Расход полной энергии / удельный расход, кВт·А·ч / В·А·ч/т·км		Максимальный нагрев обмоток электродвигателя, t°	
скольжения	качения	скольжения	качения	скольжения	качения	скольжения	качения	скольжения	качения
Нечетное направление									
108.4	108.2	48.0	42.1	4778.9/7.1	4286.7/6.4	5473.3/8.2	4915.2/7.3	53	49

Четное направление									
107.3	108.2	60.6	50.7	4993.5/7.5	4547.1/6.8	5715.7/8.5	5208.4/7.8	58	56

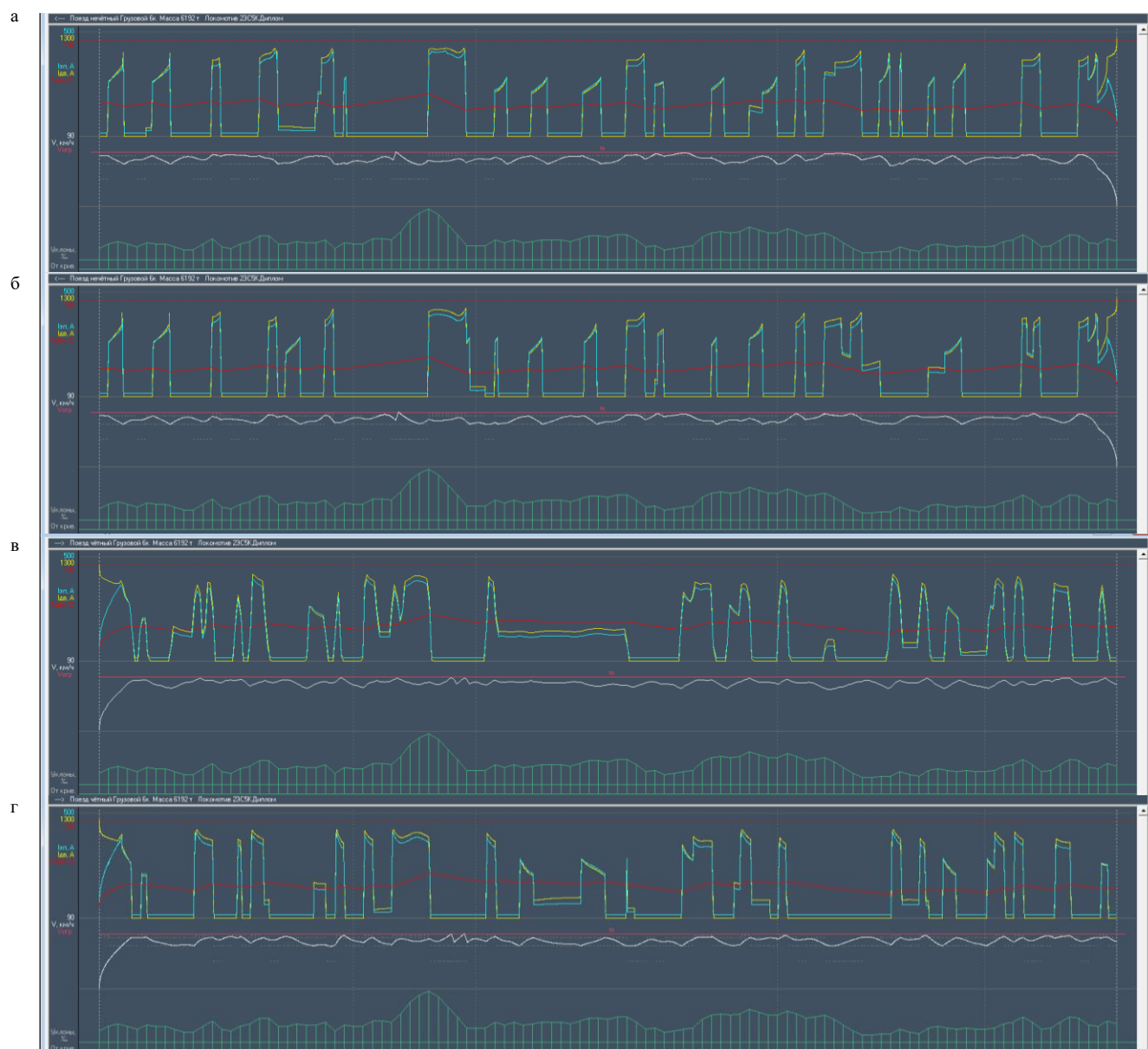


Рис.3. Графическое изображение результатов тяговых расчетов

а- для состава с роликами скольжения в нечетном направлении, б – для состава с роликами качения в нечетном направлении, в-для состава с роликами скольжения в четном направлении, для состава с роликами качения в четном направлении.

Заключение

Как видно из результатов эксперимента, замена роликов скольжения на ролики качения показывает свою эффективность не только с точки зрения повышения пропускной способности участка, увеличения массы груженого состава, снижения экологического воздействия на окружающую среду, уменьшении времени простоя вагонов в связи с их обслуживанием и повышении уровня надежности и безопасности при эксплуатации подвижного состава, но и существенное влияние на расход электрической энергии и температуру нагрева тягового электродвигателя. Улучшение приведенных показателей влияет на формирование стоимости услуг грузовых перевозок, что в свою очередь позволяет компании снизить стоимость и повысить уровень конкурентоспособности [9-10]. Сравнение этих показателей продемонстрировано в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение основных результатов эксперимента

Расход активной энергии, кВт·ч		Расход полной энергии, кВт·А·ч		Максимальный нагрев обмоток электродвигателя, t°	
скольжения	качения	скольжения	качения	скольжения	качения
Нечетное направление					
4778.9	4286.7	5473.3	4915.2	53	49
снижение расхода активной энергии на 492.2 кВт·ч / 10,3%		снижение расхода полной энергии на 558,1 кВт·А·ч / 10,1%		снижение нагрева тягового электродвигателя на 4°	
Четное направление					
4993.5	4547.1	5715.7	5208.4	58	56
снижение расхода активной энергии на 446,4 кВт·ч / 8,9%		снижение расхода полной энергии на 507,3 кВт·А·ч / 8,8%		снижение нагрева тягового электродвигателя на 4°	

В целях дальнейшего исследования планируется провести моделирования для разных масс составов при движении по горно-перевальному участку пути.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воротников В.Г., Калетин С.В., Козлов М.В. Расчет подшипниковых узлов транспортных средств: Методические указания. – М. МИИТ, 2010. – 45 с.
2. Кулиев, Т. Ф., Мельниченко, О. В., Устинов, Р. И. (2022). Проблемы эксплуатации моторно-осевых подшипников скольжения электровозов Восточно-Сибирской дирекции тяги. Электронный научный журнал "Молодая наука Сибири", (3(13). извлечено от <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/262>
3. Моторно-осевые подшипники и системы их смазки на современных отечественных локомотивах / О.В. Мельниченко, Ю.В. Газизов, Т.Н. Мельниченко // Учебное пособие по дисциплине «Механическая часть ЭПС». -2009 года.–С. 96.
4. Мартыненко, Л. В. (2021). Безопасность и эксплуатация железнодорожного транспорта при выполнении комплексных работ по неразрушающему контролю подшипников буксовых узлов. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, (3(71), 193-200. извлечено от <https://ojs.irgups.ru/index.php/stsam/article/view/307>
5. Лапицкий В.Н., Пашнин А.Г. Новый этап в эксплуатации локомотивов: переход на моторно-осевые подшипники качения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.informio.ru/publications/id1894/Novyi-yetap-v-yekspluatacii-lokomotivov-perehod-na-motorno-osevye-podshipniki-kachenija>
6. Изучение конструкции и работы буксовых узлов в эксплуатации : методические указания / В. А. Баранов. – Екатеринбург : УрГУПС, 2020. – 44 с
7. Энциклопедия Ж.Д. [электронный ресурс] – 2015 – Режим доступа: <http://www.jd-enciklopedia.ru/5-lokomotivy-i-lokomotivnoe-xozyajstvo/5-16-texnicheskaya-diagnostika-lokomotivov/>
8. Анисимов В. А., Анисимов В. В. Тяговые расчеты: монография. Хабаровск. 2013. 79с
9. Горбунова, Е.В. Угрозы экономической безопасности государства // V Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов по устойчивому развитию, инвестициям и финансовым рискам «Финатлон форум», Москва, 2025
10. Рубанова Д.В., Яковлева Н.В., Развитие цифровизации в экономике России. Экономика и бизнес: теория и практика. 11-3 (117), 2024 год. DOI: 10.24412/2411-0450-2024-11-3-72-74

REFERENCES

1. Vorotnikov V.G., Kaletin S.V., Kozlov M.V. Calculation of bearing assemblies of vehicles: Methodological guidelines. – М. MIIT, 2010. – 45 p.
2. Kuliyeu, T. F., Melnichenko, O. V., Ustinov, R. I. (2022). Problems of operation of motor-axial sliding bearings of electric locomotives of the East Siberian Traction Directorate. The

electronic scientific journal "Young Science of Siberia", (3(13). extracted from <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/262>

3. Motor-axial bearings and their lubrication systems on modern domestic locomotives / O.V. Melnichenko, Yu.V. Gazizov, T.N. Melnichenko // Textbook on the discipline "Mechanical part of EPS". -2009.–p. 96.

4. Martynenko, L. V. (2021). Safety and operation of railway transport when performing complex non-destructive testing of axle box bearings. Modern technologies. System analysis. Modeling, (3(71), 193-200. extracted from <https://ojs.irkups.ru/index.php/stsam/article/view/307>

5. Lapitsky V.N., Pashnin A.G. A new stage in the operation of locomotives: transition to motor-axial rolling bearings [Electronic resource]. URL: <https://www.informio.ru/publications/id1894/Novyi-yetap-v-yekspluatatsii-lokomotivov-perehod-na-motorno-osevye-podshipniki-kachenija>

6. Study of the design and operation of axle boxes in operation: guidelines / V. A. Baranov. Yekaterinburg : USUPS Publ., 2020. 44 p.

7. Encyclopedia of Zh.D. [electronic resource] – 2015 – Access mode: <http://www.jd-enciklopedia.ru/5-lokomotivy-i-lokomotivnoe-xozyajstvo/5-16-texnicheskaya-dagnostika-lokomotivov/>

8. Anisimov V. A., Anisimov V. V. Traction calculations: monograph. Khabarovsk.2013. 79c

9. Gorbunova, E.V. Threats to the economic security of the state // V International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists on Sustainable Development, Investments and Financial Risks "Finathlon Forum", Moscow, 2025

10. Rubanova D.V., Yakovleva N.V., The development of digitalization in the Russian economy. Economics and Business: theory and practice. 11-3 (117), 2024. DOI: 10.24412/2411-0450-2024-11-3-72-74

Информация об авторах

Куцый Антон Павлович – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email:kutsyi_ap@irkups.ru

Горбунова Екатерина Вячеславовна – студент 4 курса факультета «Экономика и Управление», гр.ЭБ.1-21-1, Иркутский Государственный университет Путей Сообщения, г.Иркутск, email: kgorbunova743@gmail.com

Линявский Алексей Витальевич – студент2 курса факультета «Управление на транспорте и информационные технологии», гр. ПИ.1-23-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, email:kutsyi_ap@irkups.ru

Information about the authors

Kutsyi Anton Pavlovich – senior student of the Department of «Electric Power Engineering of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kutsyi_ap@irkups.ru .

Gorbunova Ekaterina Vyacheslavovna - 4th year student of the Faculty of Economics and Management, gr.EB.1-21-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kgorbunova743@gmail.com.

Linyavsky Alexey Vitalievich - 2nd year student of the Faculty of Transport Management and Information Technology, class 1-23-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, email:kutsyi_ap@irkups.ru