

УДК 629.4.063.7

Совершенствование системы автоматического смазывания гребней колесных пар с учетом условий эксплуатации локомотива

К. А. Московских, П. Ю. Иванов, И. А. Кудьяров, Е. Ю. Дульский

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15

Для цитирования: *Московских К. А., Иванов П. Ю., Кудьяров И. А., Дульский Е. Ю.* Совершенствование системы автоматического смазывания гребней колесных пар с учетом условий эксплуатации локомотива // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 3. С. 625–634. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-3-625-634

Аннотация

Цель: изучить проблему повышенного износа гребней колесных пар у электровозов подталкивающего движения; проанализировать недостатки автоматического гребнесмазывателя АГС8.10М2; определить, как климат влияет на подачу смазки гребнесмазывателем; описать принцип работы и устройство адаптивного автоматического гребнесмазывания; провести математическое моделирование процесса нанесения смазки на участке Большой Луг — Слюдянка-2 при скорости 60 км/ч. **Методы:** сравнение характеристик смазывающего материала, используемого на АГС8.10М2, в зависимости от температуры; математическое моделирование на участке Большой Луг — Слюдянка-2 при скорости 60 км/ч с применением разных алгоритмов подачи смазки и варьированием массы подаваемого материала. **Результаты:** установлено, что наиболее распространенный дефект колесных пар — износ гребней у электровозов подталкивающего движения. Анализ физических свойств смазочного материала, который используется на АГС8.10М2, показал значительное изменение его вязкости при колебаниях температуры. Предложено устройство с адаптивным управлением подачи смазки. Оно учитывает особенности эксплуатации локомотива (движение по кривым и прямым участкам пути) и обеспечивает стабильное смазывание в зимний период за счет поддержания оптимальной температуры смазки. Моделирование продемонстрировало, что адаптивный принцип управления подачей смазки сокращает длину «сухого рельса» и расход смазочного материала по сравнению с классическим принципом, который реализован на АГС8.10М2. **Практическая значимость:** результаты моделирования подтверждают, что адаптивные системы гребнесмазывания целесообразно применять для повышения эффективности лубрикации колесных пар и снижения износа их гребней.

Ключевые слова: автоматический гребнесмазыватель, вязкость, моделирование, принцип управления подачей смазки, удельная масса смазки, «сухой рельс»

Введение

Износ колесных пар подвижного состава и рельсов — одна из важнейших проблем железнодорожного транспорта. Этой проблематике посвятили свои труды многие ученые и специалисты в области железнодорожного транспорта [1–5].

На процесс износа существенно повлияли два фактора:

- переход с подшипников скольжения на подшипники качения, который привел к заметному ускорению износа гребней колесных пар;
- уменьшение ширины колеи с 1524 до 1520 мм, что повысило нагрузки на систему

«колесо — рельс» и способствовало увеличению износа [6].

Согласно стратегии развития ОАО «РЖД» до 2030 года, планируется рост объема перевозок и увеличение нагрузки на ось колесной пары. Это приведет к повышению грузонапряженности подвижного состава [7].

Износ гребней колесных пар — наиболее распространенный тип дефектов среди повреждений железнодорожных колес. Он возникает вследствие контактного взаимодействия колеса и рельса [8].

Практика показывает, что наибольший износ гребней колесных пар наблюдается у локомотивов подталкивающего движения, которые эксплуатируются на горноперевальных участках с большим количеством кривых, подъемов и спусков. У таких локомотивов также встречается неравномерный износ бандажей колесных пар — в частности, из-за износа гребня при вписывании во внешнюю кривую.

Проблему решают путем отправки локомотива на станцию для разворота. Для локомотивов подталкивающего движения на участке Большой Луг — Слюдянка-2 Восточно-Сибирской железной дороги эта операция занимает 4 часа и проводится дважды в месяц.

Устранение износа гребня — дорогостоящее мероприятие: для восстановления профиля гребня при обточке колесной пары приходится значительно сточить бандаж.

Сегодня основные способы снижения износа гребней колесных пар — это повышение твердости (путем термического упрочнения либо нанесения износостойких покрытий) и лубрикация.

Термическое упрочнение — наиболее современный и перспективный метод снижения износа [9–11]. Однако он отличается высокой стоимостью и недостаточно изучен с точки зрения влияния на ресурс рельса. Поэтому на те-

кущий момент наиболее доступным способом снижения износа остается лубрикация [12–14].

Наибольшее распространение для снижения износа гребней колесных пар локомотивов получил бортовой автоматический гребнесмазыватель АГС8.10М2 [15]. Принцип подачи смазки на гребень колесной пары состоит в подаче сжатого воздуха в камеру форсунки, содержащую смазку, и выдавливании ее через форсунку на гребень бандажа колесной пары, при этом из-за высокого давления происходит ее разбрызгивание. Подачей сжатого воздуха управляет электропневматический вентиль, получающий сигналы от блока управления. Смазка поступает в форсунку постоянно — под давлением питательной магистрали.

Анализ работы гребнесмазывателя АГС8.10М2 позволил выявить ряд недостатков:

1. Отсутствие адаптивного регулирования подачи смазки в зависимости от скорости движения локомотива. Согласно паспортным данным, при увеличении скорости растет интервал между циклами смазывания, и, как следствие, снижается удельная масса смазки, подаваемой на гребень колесной пары. При этом временные циклы подачи смазки остаются неизменными. В результате локомотив движется по «сухому рельсу» — участку, на котором удельная масса смазки составляет менее 5 % от максимального значения на метр (это пороговое значение, при котором смазка на колесе фактически отсутствует).

2. Неучет особенностей плана пути при дозировании смазки. АГС8.10М2 подает одинаковый объем смазки на прямых участках и при прохождении криволинейных отрезков пути, где износ гребней наиболее интенсивен. В кривых сила трения в паре «гребень бандажа колесной пары — боковая грань головки рельса» резко возрастает под действием центробежной силы, что ускоряет износ. Таким

образом, устройство расходует смазку неэффективно: в зонах с минимальным износом и в зонах с его максимальными значениями [16].

В условиях эксплуатации железных дорог РФ системы гребнесмазывания работают в широком диапазоне температур окружающей среды. При понижении температуры вязкость полужидких смазочных материалов существенно возрастает. Это приводит к ухудшению условий дозирования, увеличению времени заполнения дозирующих камер форсунок, снижению фактического количества смазки, поступающей в зону контакта.

В настоящее время в АГС8.10М2 используется полужидкая смазка «Пума-МГ». Согласно паспортным данным, ее вязкость увеличивается в 32 раза при сравнении динамической вязкости при $+20^{\circ}\text{C}$ и динамической вязкости в среднем градиенте скорости деформации 10 c^{-1} при -30°C (рис. 1).

Повышение вязкости замедляет движение смазки по трубопроводам и значительно снижает скорость ее подачи в форсунку. В итоге стабильность режима смазывания нарушается, особенно в зимний период эксплуатации. Это

подтверждает необходимость использования систем гребнесмазывания с климатическим исполнением: они позволяют поддерживать температуру смазочного материала в оптимальных пределах.

Таким образом, для снижения износа гребней колесных пар необходимо усовершенствовать алгоритмы гребнесмазывания в системе АГС8.10М2, а также обеспечить поддержание физических характеристик смазочного материала в зимний период.

Предлагаемый принцип адаптивного управления подачей смазки на гребни колесных пар

Адаптивный принцип управления подачей смазки на гребни колесных пар будет работать в автоматическом режиме. Перед кривым участком пути по загруженным координатам из бортовой системы будет подаваться сигнал на блок управления о начале работы. При вписывании в кривой участок пути удельный объем смазки подается на внешнюю нить кривой. На внутреннюю нить удельный объем смазки не подается. Интервалы подачи сигнала с блока

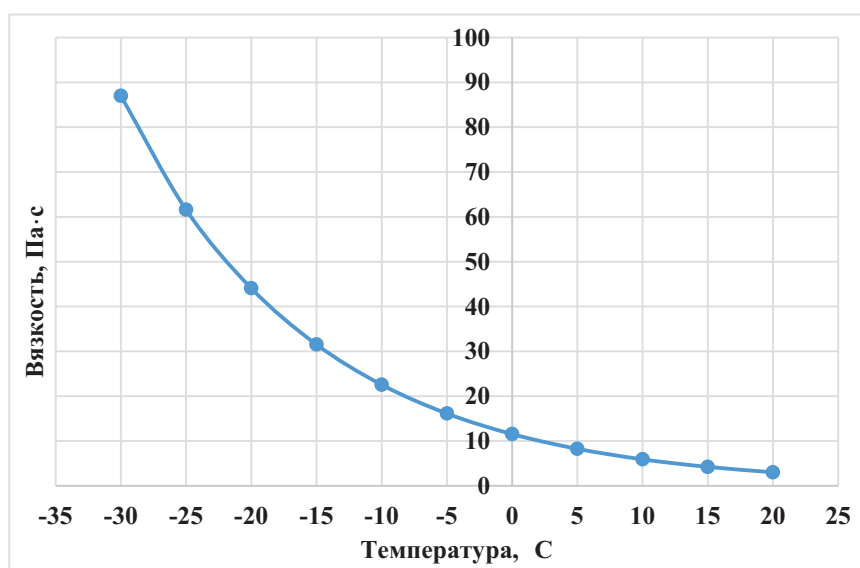


Рис. 1. Зависимость изменения вязкости смазки «Пума-МГ» от температуры

управления на электропневмовентили зависят от скорости прохождения кривой пути. После прохождения кривого участка пути подача сигнала от бортовой системы на блок управления прекратится.

Для обеспечения подачи смазки индивидуально на каждую кривую предусмотрено добавление второго электропневмовентилля. Форсунки закрепляются на кожухе зубчатой передачи для избегания попадания смазки на круг катания колеса.

Стабильность работы системы обеспечиваются специальные технические решения:

1. **Пневматические редукторы** поддерживают постоянное рабочее давление в баке для хранения смазки и на форсунках, что способствует стабилизации системы смазки.

2. **Термоэлемент** поддерживает необходимые физические свойства смазки, обеспечивая работоспособность системы в зимний период за счет обогрева трубопроводов. Термоэлемент подключается к трансформатору вспомогательной цепи локомотива.

Реализация описанного подхода позволит экономить смазку за счет дифференцированной подачи на левую и правую стороны колесной пары на криволинейных участках пути, а также обеспечит стабильность смазывания в зимний период за счет поддержания оптимальной температуры (и, как следствие, вязкости) смазочного материала.

Моделирование процесса нанесения смазки на гребни колесных пар при движении локомотива по участку Большой Луг — Слюдянка-2

Для оценки эффективности классического принципа управления подачей смазки (реализованного в АГС8.10М2) в сравнении с предложенным адаптивным принципом, было проведено математическое моделиро-

вание. Исследование проводилось на отдельном горно-перевальном участке Большой Луг — Слюдянка-2 при постоянной скорости локомотива 60 км/ч. Расчеты выполнялись в программе MS Excel и были направлены на определение удельной массы смазки, подаваемой на гребень колеса, длины «сухого рельса» и общего расхода смазки.

При работе по алгоритму АГС8.10М2 (согласно паспортным данным) процесс нанесения смазки осуществляется с чередованием 1 с подачи и 2,3 с паузы. Масса смазки, подаваемой с одной форсунки на колесо, составляет 3 г/м. При этом подача осуществляется одновременно двумя форсунками.

Адаптивный принцип управления подачей смазки предполагает другой режим: 1,5 с подачи и 1,8 с паузы. В этом случае масса смазки, подаваемой с одной форсунки на колесо, увеличивается до 6 г/м. При этом подача осуществляется только одной форсункой — на гребень колеса, взаимодействующий с внешним рельсом при вписывании в кривую.

Результаты моделирования нанесения смазки классическим принципом, реализованным в АГС8.10М2, представлены на рис. 2, а для адаптивного принципа подачи смазки — на рис. 3. Информация о плане пути приведена в виде горизонтальных линий красного и зеленого цвета, по ним можно проследить количество смазки, находящейся на гребне колеса при прохождении кривых и прямых участков.

Анализ результатов показывает, что при работе алгоритма АГС8.10М2 интенсивность подачи смазки остается неизменной на всем протяжении участка пути (рис. 2). В то же время адаптивный принцип позволяет существенно увеличить количество подаваемой смазки именно на криволинейных участках (рис. 3), что повышает эффективность смазывания в зонах наиболее интенсивного износа.

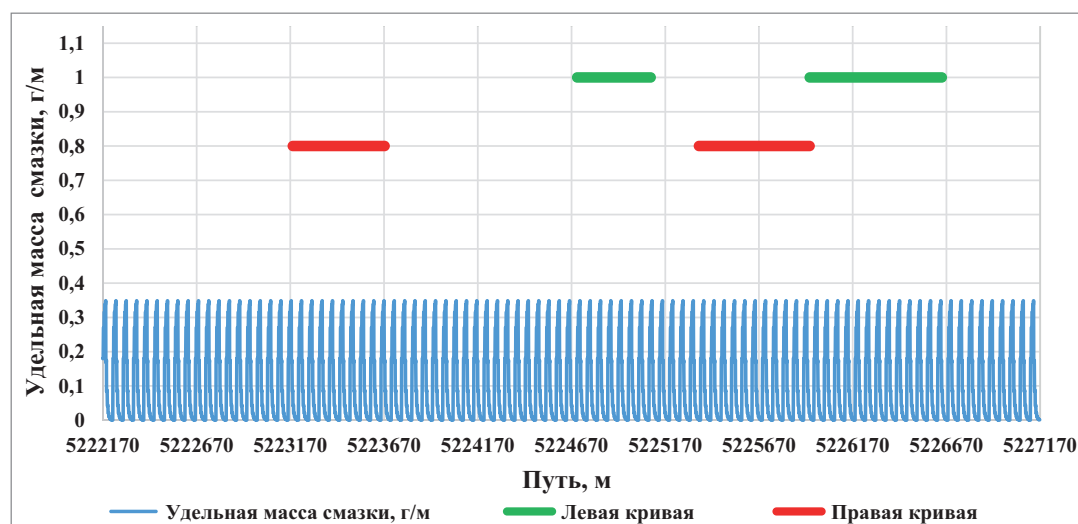


Рис. 2. Результаты моделирования процесса нанесения смазки АГС8.10М2 на фрагменте пути от 5222 км 170 м до 5227 км 170 м участка Большой Луг — Слюдянка-2 при скорости 60 км/ч

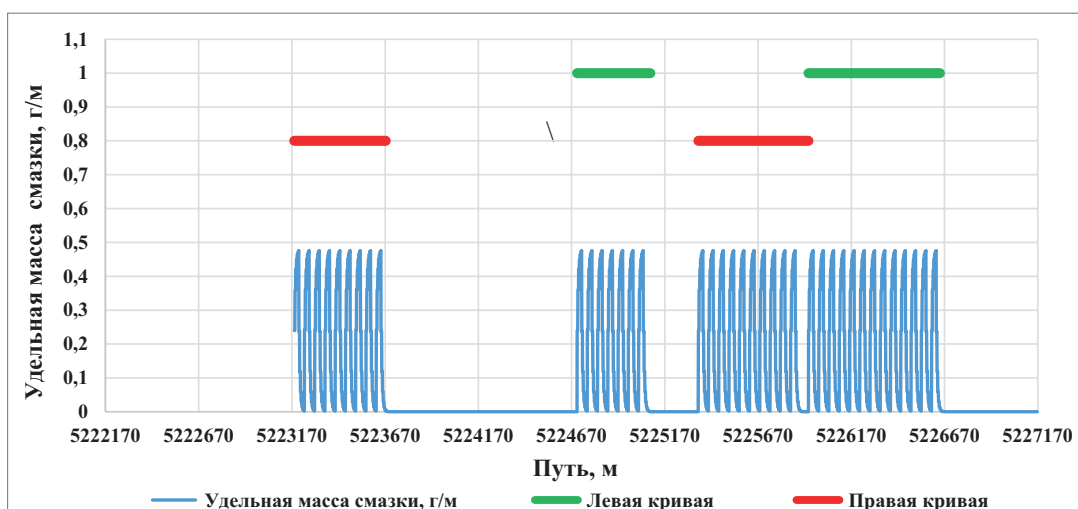


Рис. 3. Результаты моделирования процесса нанесения смазки с применением адаптивного принципа управления подачей в кривых на фрагменте пути от 5222 км 170 м до 5227 км 170 м участка Большой Луг — Слюдянка-2 при скорости 60 км/ч

Анализ результатов моделирования процесса нанесения смазки

Результаты моделирования показали, что автоматический гребнесмазыватель климатического исполнения с адаптивным принципом управления подачей смазки обеспечивает увеличенное количество смазки на колесо — до 0,47 г/м. При

использовании классического принципа управления подачей смазки максимальное количество смазки составляет 0,35 г/м, что на 34 % меньше, чем при адаптивном принципе.

Для определения наличия «сухого рельса» было принято пороговое значение — 5 % от максимальной удельной массы смазки на метр,

наносимой на гребень колесной пары. Расчеты выполнены для участка моделирования общей длиной 4476 м, из которых 2177 м приходится на криволинейные участки пути.

Анализ длины «сухого рельса» в криволинейных участках дал следующие результаты:

- при использовании АГС8.10М2 длина «сухого рельса» составила 958 м, а его доля в кривых достигла 44 %;
- при применении адаптивного автоматического гребнесмазывателя с климатическим исполнением длина «сухого рельса» сократилась до 696 м, а доля в кривых снизилась до 32 %.

На следующем этапе был проведен расчет расхода смазки для двух вариантов системы смазывания: классической (АГС8.10М2) и адаптивной автоматической гребнесмазывающей системы климатического исполнения.

Расход смазки определяется по формуле:

$$M_{\text{см}} = N_{\text{ф}} \cdot N_{\text{впр}} \cdot m_{\text{впр}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ф}}$ — количество форсунок, шт;

$N_{\text{впр}}$ — количество впрысков одной форсунки, шт;

$m_{\text{впр}}$ — масса впрыска одной форсунки, г/м.

Расход смазки автоматическим гребнесмазывателем АГС8.10М2 при заданном алгоритме смазывания составляет:

$$M_{\text{см.АГС}} = 2 \cdot 82 \cdot 3 = 492 \text{ г.}$$

Расход смазки адаптивным автоматическим гребнесмазывателем с климатическим исполнением при заданном алгоритме смазывания составляет:

$$M_{\text{см.адапт}} = 1 \cdot 39 \cdot 6 = 234 \text{ г.}$$

Расход смазки при адаптивном управлении ее подачей снизился в 2,1 раза относительно расхода при классическом управлении. Аналогично был осуществлен расчет расхода смазки на всем участке Большой Луг — Слюдянка-2. Результаты моделирования сведены в таблицу.

Согласно данным таблицы, адаптивный принцип подачи смазки позволяет снизить расход смазочного материала на всем участке Большой Луг — Слюдянка-2 (при постоянной скорости 60 км/ч) в 1,3 раза по сравнению с классическим принципом подачи смазки (АГС8.10М2).

При анализе длины «сухого рельса» в криволинейных участках выявлено, что при использовании АГС8.10М2 она превышает показатель адаптивного принципа подачи смазки на 7871 м. Доля «сухого рельса» в кривых сохраняется на тех же уровнях, что и для рассмотренного ранее отдельного участка: 44 % — для АГС8.10М2, 32 % — для адаптивного принципа управления подачей смазки.

ТАБЛИЦА. Основные численные показатели процесса нанесения смазки на всем участке Большой Луг — Слюдянка-2 при скорости 60 км/ч

Наименование устройства	Общая длина участка моделирования, м	Длина кривых участков пути, м	Длина «сухого рельса» в кривых, м	Доля «сухого рельса» в кривых, %	Расход смазки на всем участке, г
АГС8.10М2	84 394	65 582	28 891	44	9276
Адаптивный принцип управления подачи смазки			21 020	32	7050

Эти результаты подтверждают перспективность внедрения адаптивной системы смазки гребней колес с климатическим исполнением для повышения эффективности эксплуатации железнодорожного подвижного состава на сложных участках пути, таких как горно-перевальный участок Большой Луг — Слюдянка-2.

Заключение

Один из самых распространенных на сегодняшний день автоматических гребнесмазывателей типа АГС8.10М2 имеет ряд недостатков, которые влияют на повышенный износ гребней колесных пар и рельса. Отсутствие климатического исполнения АГС8.10М2 приводит к непредсказуемому снижению количества подаваемой смазки вплоть до полного ее отсутствия при низких температурах, что обусловлено многократным повышением вязкости.

На замену классическому принципу подачи смазки предложен адаптивный принцип подачи смазки с применением климатического исполнения.

На основе моделирования процесса нанесения смазки на участке Большой Луг — Слюдянка-2 при скорости 60 км/ч установлено, что применение адаптивного алгоритма смазывания приводит к снижению длины «сухого рельса» в кривых участках пути с 44 до 32 %. Анализ расхода смазочного материала показал, что при работе предложенным устройством расход смазки на участке Большой Луг — Слюдянка-2 снижается в 1,3 раза по сравнению с классическим способом подачи, реализованным на гребнесмазывателе АГС8.10М2.

Такие решения позволят обеспечить стабилизацию подачи смазочного материала с учетом скорости движения и координат локомотива, снизить расход смазки, повысить ресурс колес локомотива и рельсов на кривых участ-

ках пути. Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности применения адаптивных систем гребнесмазывания с климатическим исполнением.

Статья подготовлена в рамках государственного задания на выполнение научно-исследовательской работы № 1025032500106-9-2.1.3; 2.2.6.

Список источников

1. Буйносов А. П. Анализ процессов эксплуатационного износа гребней бандажей колесных пар электровозов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 3. С. 79–84. EDN PASBDR
2. Воробьев А. А. Влияние механических и метрических свойств на износ и ремонтпригодность колесных пар подвижного состава // Вестник ИрГТУ. 2010. № 4 (44).
3. Воробьев А. А., Котова В. В. Износ в системе «колесо — рельс» // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2014. № 3. С. 24–31.
4. Шалыгин М. Г., Ващишина А. П. Обзор причин интенсивного износа гребня колесной пары и способов его уменьшения // Механики XXI века. 2020. № 19. С. 202–207.
5. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: монография. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. 224 с.
6. Глазунов Д. В. Способы снижения износа колесных пар подвижного состава // Известия УГТУ. 2019. Вып. 2 (54). С. 107–114. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-107-114
7. О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 №877-р. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105104?id=155> (дата обращения 09.04.2026).

8. Шмелев С. А., Богданов А. В. Современное состояние вопроса повреждаемости гребней колесных пар и методы снижения их износа и контактной усталости // Научные технологии в машиностроении. 2018. № 9 (87). С. 14–20. EDN YMBJTF

9. Петров С. Ю., Костюкевич А. И., Рябов А. А. Упрочнение гребней и снижение износа колесных пар // Мир транспорта. 2013. Т. 11, № 2 (46). С. 62–69.

10. Буйносов А. П., Пышный И. М. Увеличение ресурса бандажей колесных пар промышленных электровазос с помощью наплавки // Известия Транссиба. 2012. № 2 (10).

11. Буйносов А. П., Шепелева И. О. Увеличение ресурса колесных пар электровазос за счет плазменного упрочнения гребней бандажей // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 6. С. 182–185.

12. Марулин С. Л., Фетисова Н. Г., Буйносов А. П. Повышение ресурса бандажей колесных пар локомотивов за счет применения гребне- и рельсосмазочников // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 7. С. 34–36. EDN HQMKIY

13. Свечников А. А. Снижение износа гребней колесных пар за счет применения системы лубрикации // Наука и образование транспорту. 2021. С. 97–100.

14. Лубрикация рельсов тяговым локомотивом в составе поезда / В. С. Коссов [и др.] // Вестник

Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2017. Т. 76, № 1. С. 57–60. EDN YHPSWX

15. Блок управления АГС8.10М2. Руководство по эксплуатации АГС 8.10М2.00.00.РЭ. Ростов н/Д., 2009. 33 с.

16. Устройство управления автоматическим гребнесмазочником. №2011108272/11: патент на полезную модель №107116 У1 Российская Федерация, МПК В61К 3/02. / Сачков А. А., Федоров Е. В.; заявитель открытое акционерное общество «Синара-Транспортные машины» (ОАО «СТМ»); заявл. 03.03.2011; опубл. 10.08.2011. EDN ZWDRLN

Дата поступления: 06.05.2026

Решение о публикации: 22.06.2026

Контактная информация:

МОСКОВСКИХ Кирилл Александрович — аспирант; kirillmoskovskikh@mail.ru

ИВАНОВ Павел Юрьевич — доктор техн. наук, доцент; savl.ivanov@mail.ru

КУДЬЯРОВ Иван Александрович — аспирант; mr.licrimovor@yandex.ru

ДУЛЬСКИЙ Евгений Юрьевич — доктор техн. наук, доцент; E. Dulskiy@mail.ru

Improvement of the Automatic Wheel Flange Lubrication System with Consideration of Locomotive Operating Conditions

K. A. Moskovskikh, P. Yu. Ivanov, I. A. Kud'yarov, E. Yu. Dul'skij

Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevsky str., Irkutsk, 664074, Russia

For citation: *Moskovskikh K. A., Ivanov P. Yu., Kud'yarov I. A., Dul'skij E. Yu.* Improvement of the Automatic Wheel Flange Lubrication System with Consideration of Locomotive Operating Conditions // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 3. Pp. 625–634. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-3-625-634 (In Russian)

Abstract

Objective: to examine the problem of increased wear of wheelset flanges in pushing (helper) electric locomotives. To perform an analysis of the shortcomings of the automatic flange lubricator AGS8.10M2. To determine climatic factors affecting the lubricant delivery process of the flange lubricator. To describe

the operating principle and design of an adaptive automatic flange lubrication system. To perform mathematical modeling of the lubricant application process on the Bolshoy Lug — Slyudyanka 2 section at a speed of 60 km/h. **Methods:** comparison of the properties of the lubricating material used in the AGS8.10M2 depending on temperature. Mathematical modeling on the Bolshoy Lug — Slyudyanka 2 section at a speed of 60 km/h was carried out under different lubricant supply algorithms and different lubricant mass flow rates. **Results:** it was found that the leading type of wheelset defect is flange wear in electric locomotives operating in pushing mode. Analysis of the physical properties of the lubricating material used in the AGS8.10M2 showed a significant change in lubricant viscosity with temperature variation. A device with an adaptive lubricant supply control principle is proposed, ensuring lubricant delivery to the wheel flange taking into account locomotive operating conditions, including movement on curves and straight track sections, as well as stable lubrication in winter conditions due to maintaining an optimal temperature for the lubricant. Modeling results showed a reduction in the length of the “dry rail” section and a decrease in lubricant consumption with the adaptive control principle compared to the conventional principle implemented in the AGS8.10M2. **Practical significance:** the obtained modeling results confirm the feasibility of using adaptive flange lubrication systems to improve the efficiency of wheelset lubrication and reduce wheel flange wear.

Keywords: automatic flange lubricator, viscosity, modeling, lubrication supply control principle, specific mass of the lubricant, “dry rail”

References

1. Buinosov A.P. Analiz protsessov ekspluatatsionnogo iznosa grebnej bandazhej kolesnyh par elektrovozov [Analysis of Operational Wear of Wheel Flanges of Electric Locomotives], *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]*, 2012, no. 3, pp. 79–84. EDN PASBDR (In Russian)
2. Vorob'ev A.A. Vliyanie mekhanicheskikh i metricheskikh svoystv na iznos i remontoprigochnost' kolesnyh par podvizhnogo sostava [Influence of Mechanical and Metric Properties on Wear and Maintainability of Wheelsets of Rolling Stock], *Vestnik IrGTU [Bulletin of Irkutsk State Technical University]*, 2010, no. 4 (44). (In Russian)
3. Vorob'ev A. A., Kotova V.V. Iznos v sisteme “koleso — rel's” [Wear in the Wheel — Rail System], *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Rostov State Transport University]*, 2014, no. 3, pp. 24–31. (In Russian)
4. Shalygin M. G., Vashchishina A. P. Obzor prichin intensivnogo iznosa grebnya kolesnoj pary i sposobov ego umen'sheniya [Review of Causes of Intensive Wear of Wheel Flange and Methods of Its Reduction], *Mekhaniki XXI veka [Mechanics of the 21st Century]*, 2020, no. 19, pp. 202–207. (In Russian)
5. Buinosov A.P. Metody povysheniya resursa kolesnyh par tyagovogo podvizhnogo sostava [Methods for Increasing the Service Life of Wheelsets of Traction Rolling Stock], *Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte [Educational and Methodical Center for Education in Railway Transport]*, Moscow, 2010, 224 p. (In Russian)
6. Glazunov D.V. Sposoby snizheniya iznosa kolesnyh par podvizhnogo sostava [Ways to Reduce Wear of Wheelsets of Rolling Stock], *Izvestiya UGGU [News of the Ural State Mining University]*, 2019, no. 2 (54), pp. 107–114. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-107-114 (In Russian)
7. O Strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossijskoj Federatsii do 2030 goda [On the Strategy for the Development of Railway Transport in the Russian Federation until 2030], Order of the Government of the Russian Federation, dated June 17, 2008, no. 877-r. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105104?id=155> (accessed: April 09, 2026). (In Russian)
8. Shmelev S.A., Bogdanov A.V. Sovremennoe sostoyanie voprosa povrezhdaemosti grebnej kolesnyh par i metody snizheniya ih iznosa i kontaktnoj ustalosti [Current State of the Issue of Damage to Wheel Flanges and Methods for Reducing Their Wear and Contact

Fatigue], *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science-Intensive Technologies in Mechanical Engineering], 2018, no. 9 (87), pp. 14–20. EDN YMBJTF (In Russian)

9. Petrov S. Yu., Kostyukevich A. I., Ryabov A. A. Uprochnenie grebnej i snizhenie iznosa kolesnyh par [Hardening of Flanges and Reduction of Wear of Wheelsets], *Mir transporta* [World of Transport], 2013, vol. 11, no. 2 (46), pp. 62–69. (In Russian)

10. Buinosov A. P., Pyshnyj I. M. Uvelichenie resursa bandazhej kolesnyh par promyshlennyh elektrovozov s pomoshch'yu naplavki [Increasing the Service Life of Wheel Treads of Industrial Electric Locomotives by Surfacing], *Izvestiya Transsiba* [Proceedings of Transsib], 2012, no. 2 (10). (In Russian)

11. Buinosov A. P., Shepeleva I. O. Uvelichenie resursa kolesnyh par elektrovozov za schet plazmennogo uprochneniya grebnej bandazhej [Increasing the Service Life of Electric Locomotive Wheelsets by Plasma Hardening of Wheel Flanges], *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region], 2013, no. 6, pp. 182–185. (In Russian)

12. Marulin S. L., Fetisova N. G., Buinosov A. P. Povyshenie resursa bandazhej kolesnyh par lokomotivov za schet primeneniya grebne- i rel'sosmazyvatelej [Increasing the Service Life of Locomotive Wheel Treads by Using Flange and Rail Lubricators], *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region], 2021, no. 7, pp. 34–36. EDN HQMKIY (In Russian)

13. Svechnikov A. A. Snizhenie iznosa grebnej kolesnyh par za schet primeneniya sistemy lubrikatsii [Reduction of Wheel Flange Wear by Using a Lubrica-

tion System], *Nauka i obrazovanie transportu* [Science and Education for Transport], 2021, pp. 97–100. (In Russian)

14. Kossov V. S., et al. Lubrikatsiya rel'sov tyagovym lokomotivom v sostave poezda [Lubrication of Rails by a Traction Locomotive as Part of a Train], *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Railway Research Institute], 2017, vol. 76, no. 1, pp. 57–60. EDN YHPSWX (In Russian)

15. Blok upravleniya AGS8.10M2. Rukovodstvo po ekspluatatsii AGS 8.10M2.00.00.RE [Control Unit AGS8.10M2. Operation Manual], Rostov-on-Don, 2009, 33 p. (In Russian)

16. Sachkov A. A., Fedorov E. V. Ustrojstvo upravleniya avtomaticheskim grebnesmazyvatelem [Control Device for Automatic Flange Lubricator], patent no. 107116 U1, Russian Federation, IPC B61K 3/02, appl. March 3, 2011, publ. August 10, 2011, applicant JSC Sinaro-Transportnye Mashiny. (In Russian)

Received: May 06, 2026

Accepted: June 22, 2026

Author's information:

Kirill A. MOSKOVSKIY — Postgraduate Student; kirillmoskovskikh@mail.ru

Pavel Yu. IVANOV — Dr. Sci. in Engineering; Associate Professor, savl.ivanov@mail.ru

Ivan A. KUD'YAROV — Postgraduate Student; mr.licrimovor@yandex.ru

Evgeniy Yu. DUL'SKIY — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor; E. Dul'skiy@mail.ru