

Разработка смазочного материала для бортовых гребнерельсосмазывателей тягового подвижного состава

Д. В. ГЛАЗУНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС), Ростов-на-Дону, 344038, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные эксплуатационные требования к смазочным материалам, работающим в условиях колесно-рельсовой трибосистемы. Показано, что ни один из смазочных материалов, используемых в колесно-рельсовой системе, не удовлетворяет температурным условиям эксплуатации тягового подвижного состава.

Для решения данной проблемы в ФГБОУ ВО РГУПС разработан и апробирован в промышленных условиях смазочный материал с расширенным температурным диапазоном работы в условиях колесно-рельсовой трибосистемы. Комплексом экспериментальных исследований и методом ортогонального центрального композиционного плана 2-го порядка установлены оптимальные значения толщины рабочей оболочки смазочного стержня и доля пластичного смазочного материала, позволяющие значительно расширить температурный диапазон работы смазочных стержней и, в частности, полностью исключить течение смазочного материала до достижения максимальной температуры выше 126 °С. Предложенный состав апробирован на электровозе серии ВЛ80Т, оснащенный бесприводными лубрикатрами в условиях участка Северо-Кавказской железной дороги Батайск — Лихая. Интенсивность изнашивания гребней колес тягового подвижного состава, обработанных предлагаемым смазочным материалом, по сравнению с интенсивностью изнашивания гребней колес без использования систем лубрикации снижена в 2 раза.

Ключевые слова: смазочный материал; подвижной состав; колесно-рельсовая трибосистема; промышленные испытания; ортогональный центральный композиционный план 2-го порядка; бесприводной лубрикатр

Введение. Разнообразие условий эксплуатации тягового подвижного состава определяет ряд требований к смазочным материалам, предназначенным для колесно-рельсовой системы.

Выделим следующие основные эксплуатационные требования:

- работоспособность в широком диапазоне температур (от –30 до +85 °С и выше), так как летом в ветреную погоду при температуре окружающего воздуха +50 °С температура колес локомотива и рельсов достигает +72 °С [1], а при напряженном графике движения поездов возрастает до +83 °С [2];
- удельное давление в зоне контакта «колесо — рельс» до 3 ГПа;
- скорость скольжения до 0,8 м/с;

- способность сохранять смазочные свойства после разового нанесения значительное время, или ресурс смазки после разового нанесения (сопротивление истиранию);

- достаточная вязкость и адгезия с металлом, чтобы противостоять сбрасыванию с поверхности гребня колеса и рельса (способность к переносу);

- прочие требования, предъявляемые к колесным и рельсовым смазкам, — биоразлагаемость, противо-задирные и противоизносные свойства смазки и др.

В колесно-рельсовой системе применяют смазочные материалы, агрегатное состояние которых меняется от жидкого до твердого. При оценке лубрикационных свойств этих материалов надо учитывать значительное число факторов, включая влияние окружающей среды, способ нанесения, состояние поверхности рельсов и ряд других [3, 4].

В настоящее время для снижения износа контакта «гребень колеса — рельс» на грузовых электровозах широко применяются лубрикатры, использующие жидкие смазочные материалы. Основным недостаток таких смазок — возможность попадания на поверхность катания, что приводит к снижению коэффициента сцепления.

Для устранения этого недостатка разработан пластичный смазочный материал РАПС и устройство для его использования (ТУ 3183-002-01116006-04). Однако применение РАПС, как и других пластичных смазок, используемых на железной дороге для колесно-рельсовой системы, ограничено температурами от –45 до +50 °С (табл. 1), что приводит к повышенному износу деталей сопряжения. Вышеперечисленное показывает важность разработки рациональных смазочных материалов и методов их нанесения в условиях работы колесно-рельсовой трибосистемы.

Технические требования, предъявляемые к смазочным материалам. Для обеспечения требуемой долговечности функционирования узла трения следует стремиться к тому, чтобы смазочный материал отвечал условиям работы сопряжения. Выбор типа смазочного материала осуществлялся по данным А. Р. Лансдауна [5, с. 526]. Если тип смазочного материала жестко

Таблица 1

Температурный диапазон работы смазочных материалов,
используемых в колесно-рельсовой системе на сети железных дорог РФ

Table 1

Temperature range of lubricants used in the wheel-rail system
on the railway network of the Russian Federation

№ п/п	Наименование смазочного материала	Конструкции/компании-производители	Температура
1	Пума-МР по ТУ 0254-006-17368431-07	Передвижные вагоны-рельсосмазыватели (конструкции ВНИИЖТ, ВНИКТИ, по проекту 202.00.00.000 РЭ и типа ОЗПМ)	От –30 до +50 °С*
2	КР-400 по ТУ 0254-213оп-01124323-2006	Передвижные рельсосмазыватели (конструкции ВНИИЖТ, эксплуатируемые на Северо-Кавказской железной дороге)	От –20 до +50 °С**
3	МС-27 по ТУ 2113-004-70470322-2009	Передвижные рельсосмазыватели (конструкции ВНИКТИ, эксплуатируемые на Восточно-Сибирской железной дороге, конструкции ВНИКТИ и ЗАО «Фирма Твема»)	От –10 до +50 °С**
4	СВР-500 по ТУ 2421-002-29269674-2013	Стационарные путевые лубрикаторы СПР-02	От –45 до +50 °С***
5	Пума-МГ по ТУ 0254-004-17368431-07	Гребнесмазыватели типа АГС (конструкции «Фромир»)	От –30 до +50 °С*
6	РАПС-1, РАПС-2 по ТУ 0254-001-01116006-2006	Гребнесмазыватели типа ГРС (конструкции ООО «Транс-Триботехника»)	От –40 до +50 °С*
7	СР-КУМ по ТУ 0258-002-62768160-2011	Передвижные рельсосмазыватели (на базе электровозов ВЛ60, в вагонах-рельсосмазывателях типа ВРСМ и конструкции ЗАО «Фирма Твема», эксплуатируемых Забайкальской дирекцией тяги и Забайкальской железной дорогой)	От –45 до +50 °С*
8	СС-1 по ТУ 0254-064-0762060-2004	Бортовые гребнесмазыватели типа ТГСМ (установленные на локомотивы, эксплуатируемые Забайкальской дирекцией тяги)	От –30 до +50 °С*
9	Графитовый концентрат РС-6 «В» и РС-6 «Ву» по ТУ 2113-131-05015182-98	Передвижные рельсосмазыватели (системы ВНИКТИ на базе локомотивов)	От –30 до +50 °С*

* Распоряжение ОАО «РЖД» от 06 октября 2015 г. № 2378р «О применении смазочных материалов для контакта «колесо — рельс» в IV квартале 2015 г».

** Распоряжение ОАО «РЖД» от 20 января 2012 г. № 76р «О допуске к применению смазок КР-400 и МС-27».

*** Распоряжение ОАО «РЖД» от 21 июля 2014 г. № 1692р «О применении смазочных материалов для контакта «колесо — рельс» в III квартале 2014 г».

не предопределен условиями работы смазываемого узла трения или его конструкцией, то выбор типа смазочного материала, по данным А. Р. Лансдауна, может быть осуществлен исходя из соотношения между относительной скоростью перемещения трущихся тел и удельными нагрузками во фрикционном контакте (рис. 1), а также предельными значениями скорости относительного перемещения трущихся тел и нормального давления в контакте.

Разработка смазочного материала. Коллективом ученых ФГБОУ ВО РГУПС проводится активная работа по созданию новых и усовершенствованию существующих твердых и пластичных смазочных материалов в форме блока или стержня [6, 7, 8, 9]. В частности, был разработан и апробирован в промышленных условиях смазочный материал, позволяющий повысить температурный диапазон работы смазки в условиях колесно-рельсовой трибосистемы. Прототипом разработанного смазочного материала являлись смазоч-

ные стержни РАПС. Стержень состоит из полимерной оболочки, в которую помещен смазочный материал, состоящий из термопластичной основы с добавлением двух основных типов присадок функционального назначения: полимерных модификаторов и твердых противозадирных присадок. Термопластичная основа представляет собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных, придающих ей водостойкость, водонепроницаемость и гидрофобные (водоотталкивающие) свойства, но при ограниченном диапазоне рабочих температур.

Из различного ассортимента смазок и термопластичных основ выбрана пластичная смазка «Литол-24». Данная смазка является универсальной, надежной и применимой в различных отраслях промышленности, а также доступной по цене. Она совместима с большинством смазок, обладает хорошей смазочной способностью в довольно широком диапазоне темпе-

ратур (от -40 до $+130$ °С), удерживается на наклонной и вертикальной поверхностях, не выдавливается из контакта, обеспечивая малый расход смазки.

Для разработки термостойкого состава смазочного материала в условиях колесно-рельсовой системы был использован ортогональный центральный композиционный план 2-го порядка (далее — ОЦКП-2) [5, 10, 11].

В качестве натуральных значений входных параметров задавались:

- толщина оболочки смазочного материала (в диапазоне от 0,3 до 0,9 мм);
- доля пластичного смазочного материала в составе РАПС — от 40 до 100 % (табл. 2).

Были выполнены экспериментальные исследования износа оболочки смазочного стержня по толщине и текучести его смазочного материала в зависимости от доли пластичного смазочного материала в составе РАПС [8]. При выборе диапазона варьирования состава смазочного материала мы оперировали технологическим критерием — возможностью получения однородной массы при смешивании компонентов.

При определении оптимального состава смазочного материала методом ОЦКП-2 минимальная доля пластичного смазочного материала составила 40 %, так как по результатам экспериментальных исследований было установлено, что содержание пластичного смазочного материала в составе РАПС ниже этого предела незначительно влияло на расширение температурного диапазона его работы в условиях колесно-рельсовой трибосистемы [8].

Выходным параметром оптимизации была минимальная температура, при которой смазочный материал не теряет свою структуру.

После оценки статистической значимости коэффициентов уравнение регрессии имеет вид

$$\hat{T} = 136,15 - 4,28x_1 + 25,61x_2 + 2,61x_1^2 + 19,61x_2^2 \quad (1)$$

где 136,15; 4,28; 25,61; 2,61; 19,61 — расчетные значения коэффициентов уравнения регрессии; x_1 — толщина оболочки смазочного стержня; x_2 — содержание пластичного смазочного материала в составе РАПС.

Проверка на адекватность окончательного уравнения регрессии производилась по F -критерию (критерию Фишера) и заключалась в установлении соотношения между дисперсией адекватности и дисперсией воспроизводимости эксперимента. Удобство использования критерия Фишера состоит в том, что проверку гипотезы можно свести к сравнению с табличным значением. Если рассчитанное значение F -критерия не превышает табличного, то с соответствующей доверительной вероятностью модель можно считать адекватной. Координаты точки экстремума (макси-

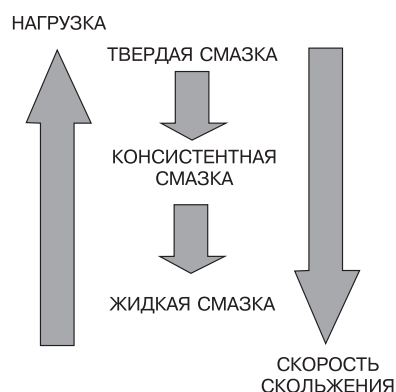


Рис. 1. Выбор типа смазочного материала по А. Р. Лансдауну
Fig. 1. Choice of the type of lubricant according to A.R. Lansdown

мума выпуклости или минимума вогнутости поверхности) функции отклика были установлены путем последовательного дифференцирования уравнения регрессии с последующим приравнением к нулю частных производных:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 4,28 + 2,61x_1 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 25,61 + 19,61x_2 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В результате решения уравнений были найдены оптимальные значения входных факторов в кодовом виде $x_1 = 0,82$, $x_2 = -0,65$, при которых функция отклика имеет минимальное значение.

Подставив в уравнение регрессии найденные оптимальные значения входных факторов x_1 и x_2 , находим минимальное значение температуры смазочного материала, при которой он сохраняет свою структуру в исследуемом факторном пространстве:

$$T_{\min} = 136,15 - 4,28 \cdot 0,82 + 25,61 \cdot (-0,65) + 2,61 \times 0,82^2 + 19,61 \cdot (-0,65)^2 = 126,034 \text{ °С}. \quad (3)$$

Таблица 2

Натуральные значения входных параметров

Table 2

Natural values of input parameters			
Входные факторы			
Толщина оболочки x_1 (н), мм		Доля пластичного смазочного материала x_2 (С), %	
Нулевой уровень $(x_0)_1$	Интервал варьирования $(\Delta x)_1$	Нулевой уровень $(x_0)_2$	Интервал варьирования $(\Delta x)_2$
0,6	0,3	70	30

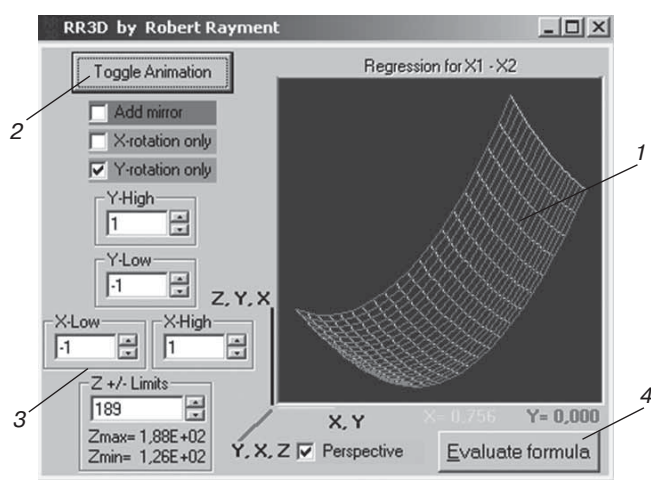


Рис. 2. Геометрическая интерпретация уравнения регрессии, оценивающего влияние толщины оболочки и процентного содержания пластичной смазки на минимальную температуру:

1 — регрессия по $X_1 - X_2$; 2 — кнопка режима анимации;
3 — пределы X, Y, Z; 4 — расчетная формула

Fig. 2. Geometric interpretation of the regression equation, evaluating the effect of shell thickness and the percentage of grease on the minimum temperature:

1 — $X_1 - X_2$ regression; 2 — animation mode button;
3 — limits X, Y, Z; 4 — calculation formula

Обратный переход от кодовых значений варьируемых факторов к натуральным осуществляется по формуле

$$x_i = x_0 + x_{1,2} \Delta x_i. \quad (4)$$

Натуральные значения координат точки минимума функции отклика равны:

$$n_{\text{опт}} = 0,6 + 0,82 \cdot 0,3 = 0,846 \text{ мм}; \quad (5)$$

$$C_{\text{опт}} = 70 + (-0,65) \cdot 30 = 50,411 \%, \quad (6)$$

где $n_{\text{опт}}$ — оптимальная толщина оболочки смазочного стержня, мм; $C_{\text{опт}}$ — оптимальное содержание пластичного смазочного материала в составе РАПС, %.

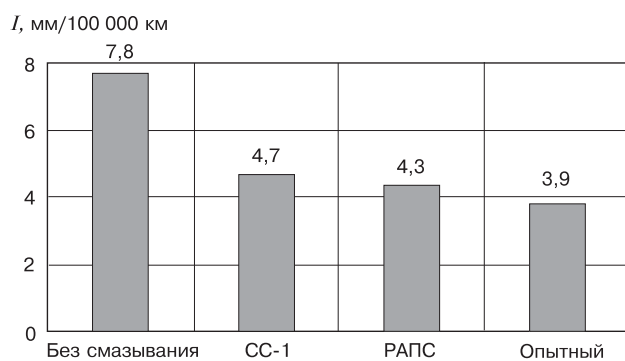


Рис. 3. Интенсивность изнашивания гребней колес (I) при разных условиях смазывания (локомотив ВЛ80Т)

Fig. 3. Intensity of wear of the wheel flanges (I) under different lubrication conditions (VL80T locomotive)

Геометрическая фигура в трехмерной системе координат, представленная на рис. 2, является геометрической интерпретацией уравнения регрессии, отражающего степень влияния входных факторов на выходной параметр оптимизации. По вертикальной оси откладывались значения выходного параметра, минимальной температуры, при которой смазочный материал не теряет структуру (T), соответствующие сочетаниям уровней двух входных варьируемых факторов: толщины оболочки смазочного стержня (n) и доли пластичного смазочного материала в составе РАПС (C) согласно количеству опытов плана эксперимента.

В результате математического планирования эксперимента при помощи ОЦП-2 установлены оптимальные значения толщины рабочей оболочки смазочного стержня, составившей 0,846 мм и процентного содержания (доли) пластичного смазочного материала — 50,411 %, позволяющие значительно расширить температурный диапазон работы стержней и, в частности, полностью исключить течение смазочного материала до достижения температуры 126,034 °С. Дисперсии параметра оптимизации, предсказываемого уравнением регрессии, не зависели от вращения системы координат в центре плана. Следующим этапом исследования была проверка разработанного смазочного материала на соответствие обеспечению требуемого ресурса работы узла трения.

Эксплуатационные испытания смазочных материалов. Промышленные испытания проводились на участке Северо-Кавказской железной дороги Батаяск — Лихая в температурном диапазоне окружающей среды от −30 до +50 °С на грузовом электровозе серии ВЛ80Т, оснащенном бесприводными лубрикаторами ГРС 20.07. В промышленных испытаниях использовались смазочные материалы в форме стержней РАПС, СС-1 и опытный смазочный материал. Максимальная скорость электровоза не превышала 80 км/ч — порожним и смешанным составом или 60 км/ч — груженым составом. Средняя скорость в кривых составляла 34 км/ч. Данные по расходу смазочных материалов и интенсивности изнашивания гребней колес электровоза в исследуемом температурном диапазоне фиксировались в журнале учета.

Для измерения толщины гребня колеса и его износа был использован абсолютный шаблон. Диагностика и измерения основных параметров колесных пар в движении были выполнены автоматическим диагностическим комплексом ARGUS компании Hegenscheidt-MFD. Данный комплекс позволяет осуществлять мониторинг состояния колесных пар после сборки с применением программных средств, исключая человеческий фактор.

Результаты испытаний показали, что наименьший удельный износ гребней колес электровоза ВЛ80Т выявлен при использовании опытного смазочного материала, а температурный предел этого материала позволяет превосходить суммарную температуру, возникающую в колесно-рельсовой системе. Интенсивность изнашивания гребней колес электровоза, обработанных предлагаемым смазочным материалом, по сравнению с интенсивностью изнашивания гребней колес без использования систем лубрикации снижена в 2 раза (рис. 3).

На основании проведенных исследований предлагаемый состав опытного смазочного материала можно считать наиболее эффективным, препятствующим износу гребня колеса во всем диапазоне исследуемых температур.

Заключение. 1. Рассмотрены смазочные материалы, используемые на железных дорогах России, а также основные эксплуатационные требования, предъявляемые к ним, в результате чего определено, что не существует смазочных материалов, удовлетворяющих требованиям, обеспечивающим эксплуатацию колесно-рельсовой трибосистемы до температуры +85 °С.

2. Для подбора компонентов смазочного материала, работающего в широком диапазоне температур, рассмотрены технические требования, предъявляемые к смазочным материалам.

3. Комплексом экспериментальных исследований и методом ОЦКП-2 разработан смазочный материал, установлены оптимальные значения толщины рабочей оболочки смазочного стержня (0,846 мм) и процентного содержания пластичной смазки (50,411 %), позволяющие значительно расширить температурный диапазон работы стержней и, в частности, полностью исключить течение смазочного материала до достижения температуры 126,034 °С.

4. Результаты эксплуатационных испытаний смазочных стержней показали, что интенсивность изнашивания гребней колес грузового электровоза, обработанных

опытным смазочным материалом, в 2 раза ниже, чем у гребней колес без использования систем лубрикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Luczak M. Ways to optimize the system «wheel—rail» // *Railway Age*. 2000. № 4. P. 66–67.
2. Huesmann H., Beck A. System of a «wheel—rail» from the standpoint of the permanent way // *Gläser's Annalen*. 2003. № 11/12. P. 524–530.
3. Глазунов Д. В. Исследование значимости факторов, влияющих на ресурс смазочного материала в паре трения «колесо—рельс» // *Вестник машиностроения*. 2017. № 6. С. 63–65.
4. Богданов В. М., Михайлова Н. В. Развитие исследований в области взаимодействия пути и подвижного состава // *Вестник ВНИИЖТ*. 2016. Т. 75. № 4. С. 256–260. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-256-260>.
5. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для тех. вузов / А. В. Чичинадзе [и др.]. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
6. Петрушин А. Д., Игнатьев О. Л., Глазунов Д. В. Устройство для смазывания открытых узлов трения // *Вестник ВНИИЖТ*. 2017. Т. 76. № 6. С. 348–353. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-348-353>.
7. Разработка оптимального состава смазки, повышающего термостойкость смазочных стержней РАПС / И. А. Майба [и др.] // *Вестник РГУПС*. 2012. № 2 (46). С. 34–42.
8. Майба И. А., Глазунов Д. В. Теоретическое обоснование механизма смешанной (полужидкостной) смазки в контакте «твердый оболочечный смазочный стержень—колесо—рельс» // *Инженерный вестник Дона*. 2012. Т. 19. № 1. С. 223–232.
9. Смазочный стержень: пат. № 2388635 ФИПС (Роспатент): МПК В61К 3/02 (2006/01) / В. В. Шаповалов [и др.]. Заявл. 13.05.2006; опубл. 10.05.2010. Бюл. № 13.
10. Евдокимов Ю. А., Колесников В. И., Тетерин А. И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М.: Наука, 1980. 228 с.
11. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1985. 327 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ГЛАЗУНОВ Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, кафедры «Тяговый подвижной состав», «Транспортные машины и триботехника», ФГБОУ ВО РГУПС

Статья поступила в редакцию 28.02.2018 г., актуализирована 29.06.2018 г., принята к публикации 30.07.2018 г.

Development of the lubricant for side-mounted rail flange lubricators for traction rolling stock

D. V. GLAZUNOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Rostov State University of Transport Engineers” (FGBOU VO RGUPS), Rostov-on-Don, 344038, Russia

Abstract. Specificity of operating conditions of the rolling stock defines a number of requirements for lubricants intended for the wheel-rail tribosystem. Lubricants are used for “wheel—rail” contact, the aggregate state of which varies from liquid to solid. When evaluating the lubrication properties of these materials, a significant number of factors must be taken into account, in particular, influence of the environment, method of application, con-

dition of the rail surface. The paper discusses the main operational requirements for lubricants operating in a wheel-rail tribosystem. Temperature ranges of the lubricants used for the “wheel—rail” contact on the railway network of the Russian Federation are given. As a result of the research, it was determined that none of the materials used for lubrication of the wheel-rail system satisfies the operating temperature conditions of the traction rolling stock.

To solve this problem a lubricant was developed and tested in an industrial environment at the Rostov State University of Railway Transport. Its lubricant composition allows to significantly expand the temperature range of the lubricant. Complex of experimental studies and method of orthogonal central composite plan of the 2nd order established the optimum values of the thickness of the working shell of the 0.846 mm lubricating rod and the 50.411 % percentage of plastic lubricant, allowing to extend the temperature range of lubricant rods and, in particular, completely eliminate the lubricant flow to achieve a temperature of 126.034 °C. Proposed composition of the lubricant was tested on a freight electric locomotive of the VL80T series, equipped with non-power lubricators, under the conditions of the Bataysk — Likhaya section of the North Caucasus Railway. Intensity of wear of the wheel flanges of the traction rolling stock lubricated by the proposed material, compared with the intensity of wear of the wheel flanges without the use of lubrication systems is reduced by 2 times.

Keywords: lubricant; rolling stock; wheel-rail tribosystem; industrial testing; orthogonal central composition plan of the 2nd order; gearless locomotor

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-59-64>

REFERENCES

1. Luczak M. *Ways to optimize the system "wheel — rail"*. Railway Age, 2000, no. 4, pp. 66–67.
2. Huesmann H., Beck A. *System of a "wheel — rail" from the standpoint of the permanent way*. Glärsers Annalen, 2003, no. 11/12, pp. 524–530.
3. Glazunov D.V. *Issledovanie znachimosti faktorov, vliyayushchikh na resurs smazochного materiala v pare treniya "koleso — rel's"* [Investigation of the significance of factors affecting the life of a lubricant in a wheel-rail friction pair]. Vestnik mashinostroeniya, 2017, no. 6, pp. 63–65.
4. Bogdanov V.M., Mikhaylova N.V. *Razvitie issledovaniy v oblasti vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava* [Development of research in the field of interaction between track and rolling stock]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2016, Vol. 75, no. 4, pp. 256–260. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-256-260>.

5. Chichinadze A.V., Braun E.D., Bushe N.A. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka). Ucheb. dlya tekhn. vuzov* [Basics of tribology (friction, wear, lubrication). Textbook for technical universities]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001, 664 p.

6. Petrushin A.D., Ignat'ev O.L., Glazunov D.V. *Ustroystvo dlya smazyvaniya otkrytykh uzlov treniya* [Device for lubrication of open friction units]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 6, pp. 348–353. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-348-353>.

7. Mayba I.A., Mogilevskiy V.A., Glazunov D.V., Prikhod'ko V.M., Morozkin I.S. *Razrabotka optimal'nogo sostava smazki, povyshayushchego termostoykost' smazochnykh sterzhney RAPS* [Development of an optimal lubricant composition, which increases the heat resistance of RAPS lubricating rods]. Vestnik RGUPS, 2012, no. 2 (46), pp. 34–42.

8. Mayba I.A., Glazunov D.V. *Teoreticheskoe obosnovanie mekhanizma smeshannoy (poluzhidkostnoy) smazki v kontakte "tverdyi obolochecnyy smazochnyy sterzhen' — koleso — rel's"* [Theoretical substantiation of the mechanism of mixed (semi-liquid) lubricant in the contact "solid shell lubricating rod — wheel — rail"]. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering journal of Don], 2012, Vol. 19, no. 1, pp. 223–232.

9. Shapovalov V.V., Mayba I.A., Kiryushkin A.V., Shcherbak P.N., Vyalov S.A., Danilevko D.A., Glazunov D.V. *Lubricating rod*. Patent no. 2388635. Moscow, Rospatent, 2010. (in Russ.).

10. Evdokimov Yu.A., Kolesnikov V.I., Teterin A.I. *Planirovanie i analiz eksperimentov pri reshenii zadach treniya i iznosa* [Planning and analysis of experiments in solving problems of friction and wear]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 228 p.

11. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. *Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoy tekhnologii. Ucheb. posobie* [Methods of experiment optimization in chemical technology. Textbook]. Moscow, Higher school Publ., 1985, 327 p.

ABOUT THE AUTHOR

Dmitriy V. GLAZUNOV,

Cand. Sci. (Eng.), Associated Professor, Departments "Traction rolling stock", "Transport machines and triboengineering", FGBOU VO RGUPS

Received 28.02.2018

Revised 29.06.2018

Accepted 30.07.2018

■ E-mail: glazunovdm@yandex.ru (D. V. Glazunov)

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ и др.

Подписной индекс журнала — 70116

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru, <https://vestnik.vniizht.ru/jour>.

Подписчики зарубежных стран могут оформить подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» в агентстве «Урал-Пресс» (Ural-Press, export@ural-press.ru).