

УДК 620.178.162

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-12-19-25

М.Г. Шалыгин, А.П. Ващишина

## ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМАЗЫВАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ СМАЗЫВАНИЯ ГРЕБНЯ КОЛЕСА МАГИСТРАЛЬНОГО ЛОКОМОТИВА

Проведены лабораторные испытания на изнашивание пары трения гребень-рельс. Определена оптимальная присадка из исследуемых. Сделаны выводы о влиянии функциональных групп на поверхности трения. Установлено, что для данного узла трения целесообразно применять в качестве присадки к смазочному материалу фосфооргани-

ку, которая в процессе трения и при повышенной температуре образует эвтектическую систему фосфидов металлов, обладающих способностью полировки поверхности.

**Ключевые слова:** гребень, колесо, смазочный материал, изнашивание, присадка, водородное изнашивание.

M.G. Shaligin, A.P. Vashchishina

## IMPROVING THE TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE LUBRICANT INTENDED FOR LUBRICATING THE WHEEL FLANGE OF THE MAINLINE LOCOMOTIVE

The problem of wear of the locomotive wheel flange on the rail head when the train enters a curved section of the track is considered. It is shown that in most cases the solution to this problem is investigated from the point of view of modifying lubricants for the locomotive flange or offering new ones. Three types of additives are considered: organophosphorus compounds, organosulfatic compounds and hydroquinone derivatives; each of which has a different chemical-mechanical interaction with the base oil and the lubricated surface. When carrying out wear tests, the lowest value was given by an additive made of a hydroquinone derivative. Measurement of diffusion active hydrogen evolution during wear tests showed that the

least hydrogen is evolved in the friction zone from a lubricant with an organophosphate additive. The analysis of relative water wear, as the ratio of the diffusion-active hydrogen evolution and the wear on the friction zone shows that it is most appropriate to use an organophosphate compound as an additive. It is established that for this friction unit it is advisable to use organophosphate as an additive to a lubricant, which in the process of friction and at higher temperature forms an eutectic system of metal phosphides with the ability to polish the surface.

**Key words:** flange, wheel, lubricant, additive, hydrogen wear.

### Введение

Проблема износа узлов трения остро стоит во многих сферах отечественной и мировой экономики, в том числе на железнодорожном транспорте. Одним из узлов трения, подверженных интенсивному износу, является гребень бандажа колеса магистрального локомотива. Изнашивание гребня о головку рельса происходит тогда, когда состав входит в криволинейный участок пути [1,2]. Уменьшению износа и коэффициента трения способствует присутствие смазывающей жидкости между

гребнем и головкой рельса, которая наносится на гребень перед входом в криволинейный участок пути. Используются различные системы смазывания: стационарный рельсосмазыватель, форсунки с жидким маслом, гребнесмазывающий стержень и с вязкостью смазывающего материала, достаточной для того, чтобы при ударе гребня о рельс остаться в зоне трения, то есть гидродинамическим смазочным материалом.

### Постановка задачи

Смазочный материал должен обладать высокой адгезией к материалу гребня колеса. Общие свойства смазочных материалов регламентируются техническими условиями ТУ 32 ЦТ 2232-97, а их триботехнические характеристики – различными присадками. На данный момент актуальным остается вопрос о разработке присадок к смазочным материалам, обеспечивающих заданные триботехнические свойства.

Авторы [3] в своей работе предлагают вариант повышения температурного режима работы смазочного стержня. Стержень представлен полимерной оболочкой, основным компонентом которой является смазочный материал с добавлением полимерных модификаторов и противозадирных присадок, улучшающих эксплуатационные свойства базовой основы и обеспечивающих образование прочной противозадирной пленки, что приводит к уменьшению износа с 2 мм до 0,3 мм на 10 тыс. км. Однако, в результате исследований на текучесть было выявлено, что соотношение присадки к базовому маслу 30–35 % приводит к текучести смазки до температуры 75 °С, что противоречит условиям смазывания в системе колесорельс.

В работе [4] представлены исследования органических соединений с содержанием галогенов. Триботехнические свойства смазочных материалов с данными присадками определяются наличием атомов галогена и их распределение по циклу молекулы или в алифатической части. Авторы предлагают использование карты рецептур смазочного материала с галогенсодержащими присадками с учетом эксплуатационных режимов работы. Данные соединения обладают высокой активностью модификации трущихся поверхностей. Ис-

### Методы и средства исследования

Так, в систему смазывания гребня локомотивов, выпускаемых на Брянском машиностроительном заводе, закладывается смазочный материал Пума. В проводимом исследовании в качестве присадок к смазочному материалу Пума использова-

пытания показывают, что интенсивность изнашивания уменьшается в 8-10 раз, нагрузка заедания и индекс задира увеличиваются в 3,3 и 2 раза соответственно. Наличие в присадке смеси функциональных групп приводит к поочередному изменению триботехнических свойств.

В статье [5] предложен вариант использования низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) как основы смазочной системы, состоящей из лигнина, дизельного масла и основы – НМПЭ. Анализ авторами смазочной композиции показал соотношение компонентов, при котором происходит снижение износа до 96,7%. На основе полученных данных были предложены уравнения регрессии, которые позволяют прогнозировать величину износа поверхностей.

В результате деструкции органических компонентов смазочных материалов происходит образование свободного водорода в системе, который способен адаптироваться к условиям работы механизма и диффундировать в поверхностные слои металла. Данный процесс приводит к обезуглероживанию стали и к образованию гидридов металла и понижению прочности материала трибосистемы [6]. В статье [7] подтверждена связь интенсивности изнашивания и выделения диффузионно-активного водорода в зоне трения. Исследования различных материалов деталей с использованием смазочных материалов показали, что установившийся режим трения представляет собой линейную зависимость.

Таким образом, в настоящей статье рассмотрено использование различных присадок к смазочному материалу гребня колеса локомотива с целью повышения износостойкости пары трения гребень-рельс.

лись добавки: сульфоорганическое соединение, производные гидрохинона и фосфорорганическое соединение. Объем присадок вводили в соотношении 1:4 на 100 г базового масла.

Испытания проводили на машине трения по принципу истирания пары экспериментальных образцов, прижатых друг к другу, с заданной силой и частотой, при вращении цилиндрического образца о неподвижное контртело. Парой трения выступали образцы, вырезанные из рельса Р65 и гребня локомотива 3ТЭ25К<sup>2М</sup> (АО «УК «БМЗ»). Химический анализ материалов показал, что рель Р65 изготовлен из стали К76, гребень – Ст2сп. Испытания

были проведены в непрерывном режиме при нагрузке 60 Н в течение 10 минут, что составило 94,2 м пути трения, или 130 циклов. Износ измерялся в автоматическом режиме с помощью лазерного датчика, направленного в бороздку, образованную за счет движения рельса по контртелу (гребень колеса), а также суммарный износ пары трения. Базовое масло использовалось аналогичное работе [8] – Пума (ТУ 32 ЦТ 2232-97).

### Результаты и обсуждение

Результаты по суммарному износу пары трения представлены в работе [8]. Наименее изношенным был гребень колеса при использовании в качестве присадки производного гидрохинона – 110 мкм (рис. 1). Сульфо- и фосфорорганические присадки привели к одинаковому износу 130 мкм. Однако, применение присадок привело к уменьшению износа в обоих случаях на 40 и 20 мкм соответственно. Равные значения износа при добавлении

сульфо- и фосфорорганических присадок могут говорить об одинаковой активности добавленных функциональных групп.

При использовании исходного образца смазочного материала Пума интенсивность изнашивания составила  $I_h = 1,592 \cdot 10^{-6}$ , с сульфоорганической и фосфорорганической присадками  $I_h = 1,380 \cdot 10^{-6}$ , с присадкой производного гидрохинона  $I_h = 1,168 \cdot 10^{-6}$ .

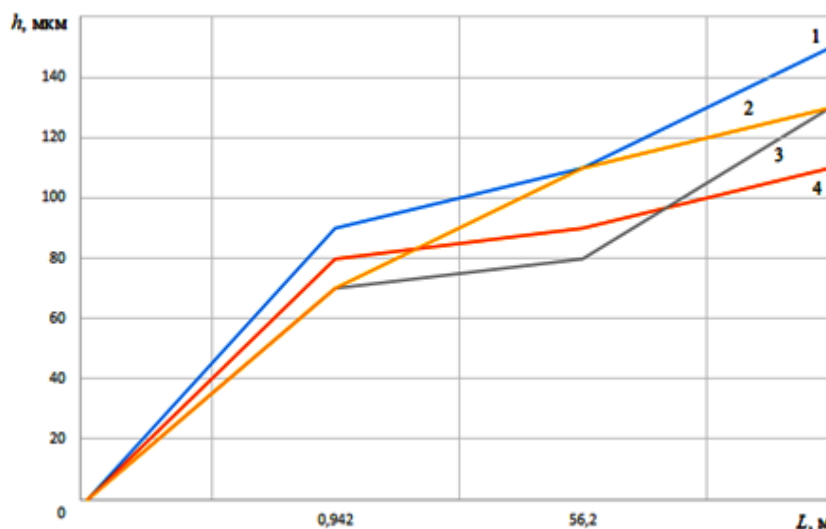


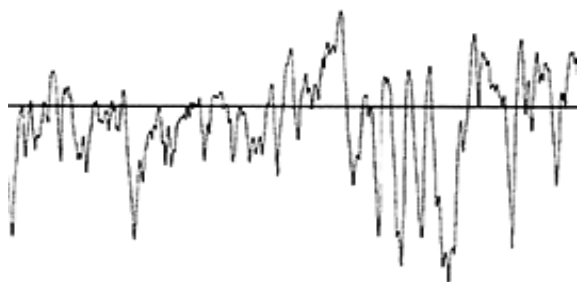
Рис. 1. Зависимость износа гребня колеса локомотива от пути трения:  
1 – чистый смазочный материал Пума; 2 – фосфорорганическая присадка+Пума;  
3 – сульфоорганическая присадка+Пума; 4 – производное гидрохинона+Пума

На рис. 2 представлены профилограммы гребня колеса локомотива до испытаний (рис. 2а) и после (рис. 2б). Анализ профилограмм поверхности гребня до проведения испытаний на износ и после показал, что параметр  $Ra$  уменьшился в 8 раз с 3,492 мкм до испытаний до 0,437 мкм после испытаний по результатам обработ-

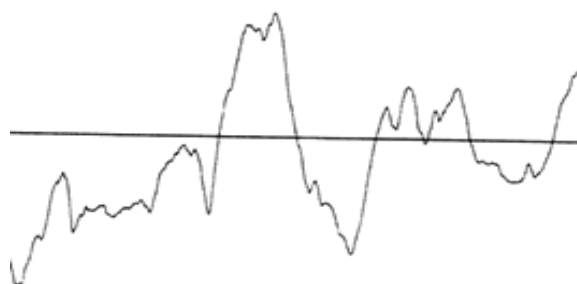
ки 3-х профилограмм для каждой поверхности снятых на базовой длине 0,8 мм. Параметры  $s$  и  $Sm$  также уменьшились с 0,017 мм и 0,108 мм до испытаний до 0,008 мм и 0,034 мм после испытаний соответственно. Это свидетельствует о приработке поверхностей в процессе трения. Однако, действие смазывающего материала гребня ко-

леса локомотива основано не только на его адгезионной способности, но и на попадании смазывающего материала во впадины шероховатости, задержании его во впадинах и дальнейшем переносе на рельс при

контакте гребня колеса и рельса. Следовательно, уменьшение шаговых параметров  $\lambda$  и  $Sm$  негативно сказывается на адгезионной способности твердого смазывающего материала гребня колеса локомотива.



а)



б)

Рис. 2. Профилограмма гребня колеса:  
а – до испытаний; б – после испытаний

Определение твердости материала гребня колеса локомотива и рельса проводилось на стационарном твердомере по методу Роквелла в соответствии с ГОСТ 24622, ГОСТ 23677, ГОСТ 10242. Результаты измерений показали, что твердость материала до испытаний и после не изменилась – исходная твердость рельса до и после испытаний составила  $75\ HRC$ , гребня –  $54\ HRC$  и  $53\ HRC$  соответственно.

На рис. 3 представлены данные по определению выделившегося водорода в систему. Анализ данных показал, что при

использовании чистого смазочного материала Пума водород выделяется в систему в количестве  $67\ ppm$ , присадка с производными гидрохинона показала значение  $15\ ppm$ , что говорит о возможном захвате активного выделяющегося водорода с образованием соединений, остающихся в системе, как продукты распада смазочного материала и их взаимодействия с водородом. С использованием сульфоприсадки выделение диффузионно-активного водорода составило  $39\ ppm$ .

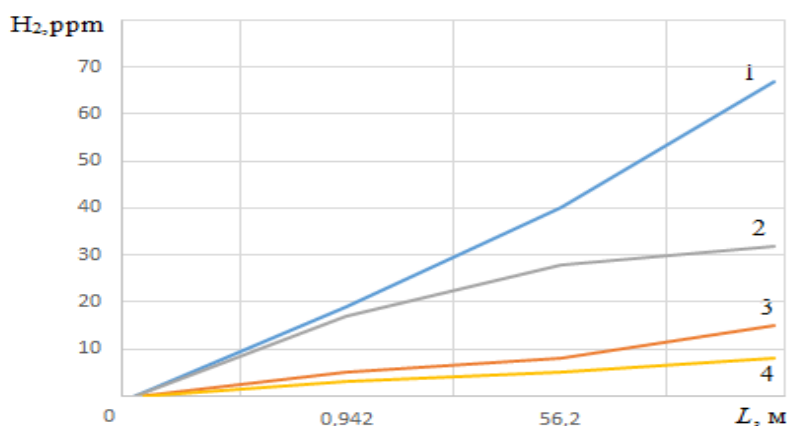


Рис. 3. Выделение диффузионно-активного водорода:  
1 – чистый смазочный материал Пума; 2 – сульфоприсадка;  
3 – присадка с производным гидрохинона; 4 – фосфорорганическая присадка

По приведенным результатам невозможно рекомендовать определенную присадку, так как количество выделившегося водорода и износ поверхностей трения для различных присадок различны. Тогда,

наиболее оптимальную присадку с точки зрения износа и снижения выделения водорода в зоне трения определим, как относительный гидроизнос (рис. 4).

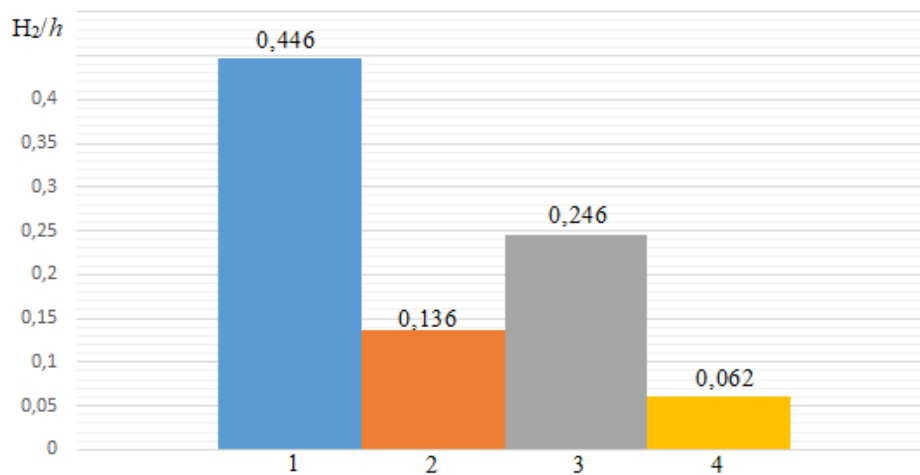


Рис. 4. Относительный гидроизнос пар трения: 1 – чистый смазочный материал Пума; 2 – производное гидрохинона+Пума; 3 – сульфороганическая присадка+Пума; 4 – фосфорорганическая присадка+Пума

В таком случае наиболее целесообразно из рассмотренных присадок для смазочного материала Пума, применяемого

### Выводы

Активность сульфороганической присадки объясняется распадом сульфосоединения по связям  $S-S$  с образованием активных радикалов, взаимодействующих с ювенильной поверхностью металла с активными центрами. Так же можно отметить, что наличие неподеленной электронной пары у атома серы и наличие свободных орбиталей у атома металла способствует образованию комплексов, в результате чего образуется устойчивый сульфид железа. Фосфорорганическая присадка в процессе трения и при высокой температуре образует эвтектическую систему фосфидов металлов, обладающих способностью полировки поверхности. Еще одним механизмом действия фосфорорганических присадок являются реакции образования фосфатов металла и кислых органических фосфатов, которые адсорбируются поверхностью. Эффективность присадок зависит от пространственного расположения углеводородной цепочки и радикала, а также длины алкильной группы присадки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antipin, D. Research of dynamic load capacity of tipper car using mathematical model method. / D. Antipin, T. Motyanko, D. Rasin // Proceedings of 2015

для смазывания гребня колеса магистрального локомотива, использовать фосфорорганическую присадку.

Сопоставление значений износа и выделившегося в систему диффузионно-активного водорода по результатам лабораторных испытаний показывают:

1. Уменьшение значений параметров шероховатости приводит к снижению мест закладки смазочного материала, следовательно, возрастает роль адгезии. Таким образом, смазочный материал после добавления присадки должен обладать не меньшей адгезионной способностью, чем без нее. Кроме того, модифицированный смазочный материал должен проходить обязательные испытания на адгезию к материалам колеса и рельса, что будет сделано в дальнейшем.

2. В качестве присадки к смазочному материалу гребня колеса локомотива использовать фосфорорганическую присадку, которая показывает наиболее рациональное значение относительного гидроизноса.

- International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems; MEACS-2015. - 2015. – P. 7414873.

2. **Антипин, Д. Я.** Обоснование динамических моделей для анализа нагруженности несущих конструкций кузовов пассажирских вагонов / Д. Я. Антипин, С. Н. Ашуркова, Е. В. Чепикова // в сборнике: будущее машиностроения России Девятая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов. - 2016. - С. 695-697.
3. **Майба, И. А.** Разработка оптимального состава смазки, повышающего термостойкость смазочных стержней РАПС / И. А. Майба, В. А. Могилевский, Д. В. Глазунов, В. М. Приходько, И. С. Морозкин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2012 - № 2. - С. 34-41.
4. **Меликсетян, Н. Г.** Основные закономерности трения и изнашивания композиционных материалов и смазочных масел / Н. Г. Меликсетян, А. Н. Карапетян, В. В. Сароян, К. В. Оганесян // Вестник научно-технического развития. - 2016. - № 5 (105). - С. 27-42.
1. **Antipin, D.** Research of dynamic load capacity of tipper car using mathematical model method. / D. Antipin, T. Motyanko, D. Rasin // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems; MEACS-2015. - 2015. - P. 7414873.
2. **Antipin, D.Ya.** Rationale of dynamic models for the analysis of load-bearing structures of passenger car bodies / D.Ya. Antipin, S.N. Ashurkova, E.V. Chepikova // Collection: Future of Russian Engineering. Ninth All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists. - 2016. - pp. 695-697.
3. **Maiba, I.A.** Development of the optimum structure of greasing raising thermal stability of lubricant cores SACG / I.A. Maiba, V.A. Mogilevskiy, D.V. Glazunov, V.M. Prikhodko, I.S. Morozkin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. - 2012 - no. 2. - pp. 34-41.
4. **Meliksetyan, N.G.** Basic laws of friction and wear of composite materials and lubricating oils / N.G. Meliksetyan, A.N. Karapetyan, V.V. Saroyan, K.V. Oganesyanyan // Vestnik Nauchno-tehnicheskogo Razvitiya. - 2016. - no. 5 (105). - pp. 27-42.
5. **Tuvshintur, B.** Lubricants for the wheel-rail system. Solution of an excessive wear problem with production wastes used / B. Tuvshintur, D.I. Vinokurov, G.A. Yakimova, V.E. Gozbenko // Systems. Methods. Technologies. - 2015. - no. 3 (27). - pp. 23-31.
6. **Stavrovskiy, M.E.** On the role of hydrogen in the processes of destruction of materials. / M.E. Stavrovskiy, M.I. Sidorov, A.Yu. Albagachiev, A.V. Ragutkin, P.E. Lukashev. Moscow: Eko-Press, 2020. - 208 c. - ISBN 978-5-6044018-7-3.
7. **Sidorov, M.I.** Investigation of the influence of technological parameters on the dependence of the processes of wear and hydrogen formation / M.I. Sidorov, M.E. Stavrovskiy, A.Yu. Albagachiev // Problemy Mashinostroeniya i Nadezhnosti Mashin. - 2017. - no. 4. - p. 72.
8. **Shalygin, M. G.** Anti-frictional Lubricant Additives for Locomotive Wheel Flange / M. G. Shalygin, A. P. Vashchishina // AIP Conf. Proc. 2340, 060003 (2021). - URL: <https://doi.org/10.30987/978-5-907271-27-2>.

Ссылка для цитирования:

*Шалыгин, М.Г. Повышение триботехнических характеристики смазывающего материала, предназначенного для смазывания гребня колеса магистрального локомотива / М.Г. Шалыгин, А.П. Ващишина // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2021. - № 12. - С. 49 - 54. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-12-19-25.*

Статья поступила в редакцию 24.09.21.

Рецензент: д.т.н., зав. отделением динамики и прочности, подвижного состава и инфраструктуры АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава

Волохов Г.М.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 29.11.21.

**Сведения об авторах:**

**Шалыгин Михаил Геннадьевич**, д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, тел.: +7(4832) 588-212, e-mail: migshalygin@yandex.ru.

**Shaligin Mikhail Gennadyevich**, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Pipeline Transport Systems at Bryansk State Technical University, phone: +7(4832) 588-212, e-mail: migshalygin@yandex.ru.

**Ващишина Анна Павловна**, ассистент кафедры «Трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, тел.: +7(4832) 588-212, 8-920-867-49-96, e-mail: vashhi.anya@yandex.ru.

**Vashchishina Anna Pavlovna**, Assistant of the Department of Pipeline Transport Systems at Bryansk State Technical University, phone: +7(4832) 588-212, 8-920-867-49-96, e-mail: vashhi.anya@yandex.ru.