

УДК 620.178.162

Математическое моделирование скорости изнашивания пары трения колесо локомотива—рельс

М.Г. Шалыгин, А.П. Ващишина

ФГБОУ ВО Брянский Государственный технический университет,
бул. 50 лет Октября, 7, г. Брянск 241035, Россия

Поступила в редакцию 19.09.2022.

После доработки 19.02.2023.

Принята к публикации 21.02.2023.

Построена регрессионная модель, определены факторы, влияющие на скорость изнашивания гребня колеса локомотива. Установлено, что основными факторами, оказывающими влияние на износ гребня бандажа локомотива при вхождении подвижного состава в криволинейный участок пути являются — диффузионно-активный водород и вязкость смазочного материала с использованными присадками. Определяющими факторами износа гребня являются: P — давление гребня на рельс (максимальное) в криволинейном участке пути; K_c — ударная вязкость более мягкого материала (бандажа); характеристики смазочного материала: η — динамическая вязкость, τ — напряжение сдвига в пластичном смазочном материале; условия протекания процесса изнашивания: L — путь трения, V — объём, отделяемый в процессе изнашивания, v — скорость изнашивания. Предложена математическая модель скорости изнашивания гребня колеса локомотива в криволинейном участке железнодорожного пути. Предложенная модель позволяет оценить эксплуатационные свойства исследуемой пары трения гребень-рельс. Осуществлена верификация модели по результатам испытаний смазочного материала Пума. Установлено, что скорость изнашивания гребня со смазочным материалом Пума равна $2,9703 \cdot 10^{-6}$ м/с. Интенсивность выделения диффузионно-активного водорода в процессе испытаний на пути трения определялась как отношение выделения водорода в процессе изнашивания и пути трения и равна 0,711 ppm/мм. Проведен сравнительный анализ математической модели и экспериментальных исследований на износ гребня колеса с использованием присадок к смазочному материалу: сульфоорганической, фосфорорганической и производного соединения гидрохинона, расхождение эмпирических и теоретических значений скорости изнашивания составляет 0,67 %. Использование разработанной математической модели позволяет оценить процесс скорости изнашивания гребня колеса локомотива и определить износ гребня за время эксплуатации, в дальнейшем позволит рассчитать износ в реальных условиях и прогнозировать сроки межремонтного пробега подвижного состава.

Ключевые слова: трение, износ, гребень колеса локомотива, присадки, смазочный материал, диффузионно-активный водород.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-34-40

Адрес для переписки:

А.П. Ващишина
ФГБОУ ВО Брянский Государственный технический университет,
бул. 50 лет Октября, 7, г. Брянск 241035, Россия
e-mail: vashhi.anya@yandex.ru

Address for correspondence:

A.P. Vashchishina
Bryansk State Technical University,
50 years of October Blvd., 7, Bryansk 241035, Russia
e-mail: vashhi.anya@yandex.ru

Для цитирования:

М.Г. Шалыгин, А.П. Ващишина.
Математическое моделирование скорости изнашивания пары трения колесо локомотива—рельс.
Трение и износ.
2023. — Т. 44, № 1. — С. 34–40.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-34-40

For citation:

M.G. Shalygin and A.P. Vashchishina.
[Mathematical Modeling of the Wear Rate of a Friction Pair Locomotive Wheel Rail].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 1, pp. 34–40 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-34-40

Mathematical Modeling of the Wear Rate of a Friction Pair Locomotive Wheel Rail

M.G. Shalygin and A.P. Vashchishina

Bryansk State Technical University,
50 years of October Blvd., 7, 241035, Bryansk

Received 19.09.2022.

Revised 19.02.2023.

Accepted 21.02.2023.

Abstract

Using a regression model, the factors influencing the wear rate of the locomotive wheel crest are determined. It has been established that the main factors influencing the wear of the locomotive bandage ridge when the rolling stock enters the curved section of the track are diffusion-active hydrogen and the viscosity of the lubricant material with the additives used. The determining factors of the ridge wear are: P — the pressure of the ridge on the rail (maximum) on the curved section of the track, K_c — impact strength of soft material (wheel tread), η — dynamic viscosity, τ — shear stress in grease, L — friction trail, V — volume of wear particles, v — wear rate. A mathematical model of the wear rate of the locomotive wheel crest in a curved section of the railway track is proposed. The proposed model makes it possible to evaluate the operational properties of the ridge — rail friction pair under study. The modification of the model was carried out based on the test results of the Puma lubricant. It is established that the wear rate of the comb with the Puma lubricant is $2.9703 \cdot 10^{-6}$ m/s. The intensity of the release of diffusionally active hydrogen during tests on the friction path was determined as the ratio of hydrogen release during wear and the friction path and is equal to 0.711 ppm/mm. A comparative analysis of the mathematical model and experimental studies on the wear of the wheel crest using additives to the lubricant: organosulfate, organophosphorus and a derivative of the hydroquinone compound, the discrepancy between the empirical and theoretical values of the wear rate is 0.67 %. The use of the developed mathematical model allows us to evaluate the process of the wear rate of the locomotive wheel crest and determine the wear of the crest during operation, in the future it will allow us to calculate the wear in real conditions and predict the timing of the inter-repair run of the rolling stock.

Keywords: friction, wear, locomotive wheel crest, additive, lubricant, diffusion-active hydrogen.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-34-40

Адрес для переписки:

А.П. Ващишина
ФГБОУ ВО Брянский Государственный технический университет,
буль. 50 лет Октября, 7, г. Брянск 241035, Россия
e-mail: vashhi.anya@yandex.ru

Для цитирования:

М.Г. Шалыгин, А.П. Ващишина.
Математическое моделирование скорости изнашивания пары трения колесо локомотива—рельс.
Трение и износ.
2023. — Т. 44, № 1. — С. 34–40.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-34-40

Address for correspondence:

A.P. Vashchishina
Bryansk State Technical University,
50 years of October Blvd., 7, Bryansk 241035, Russia
e-mail: vashhi.anya@yandex.ru

For citation:

M.G. Shalygin and A.P. Vashchishina.
[Mathematical Modeling of the Wear Rate of a Friction Pair Locomotive Wheel Rail].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 1, pp. 34–40 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-1-34-40

Список использованных источников

1. **Shalygin M.G. and Vashchishina A.P.** Anti-Frictional Lubricant Additives for Locomotive Wheel Flange // Proceedings International Conference “Problems of Applied Mechanics”, Bryansk: Bryansk State Technical University, April 2021, AIP Conference Proceedings 2340(1):060003, DOI:10.1063/5.0047297
2. **Смазочные материалы для лубрикации зоны контакта колес и рельсов** [Текст]: Технические требования: утв. ст. вице-президентом ОАО «РЖД» 05.11.2009: ввод в действие с 24.02.2010 распоряжением ОАО «РЖД» № 375р. — М.: РЖД. — 2010
3. **Шалыгин М.Г., Ващишина А.П.** Повышение триботехнических характеристики смазывающего материала, предназначенного для смазывания гребня колеса магистрального локомотива // Транспортное машиностроение. — 2021, № 12(109), 19—25
4. **Шалыгин М.Г., Ващишина А.П.** Эффективность фосфорорганических присадок в системе смазывания гребня колеса локомотива // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2021. № 9, 410—413. DOI 10.36652/0202-3350-2021-22-9-410-413
5. **Лукашев П.Е.** Математическое моделирование трибохимической кинетики водородного износа: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. [Место защиты: Рос. гос. ун-т туризма и сервиса]. — Москва. — 2008. РГБ ОД, 61 09-5/694
6. **Лукашев Е.А., Сидоров М.И., Юрцев Е.С.** Анализ связи процессов водородного изнашивания и образования гидридов // Современные материалы, техника и технологии. — 2017, № 2(10), 84—90
7. **Трибохимия водородного износа: монография** / Е.А. Лукашев, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник, В.М. Юдин, С.Г. Емельянов. — Курск: Курск ГТУ. — 2007
8. **Касаткин Г.Н.** Водород в конструкционных сталях. — М: Интернет Инжиниринг. — 2003
9. **Ставровский М.Е., Ставровский М.Е., Олейник А.В., Емельянов С.Г.** Технологические методы защиты деталей узлов машин от водородного изнашивания // Технология машиностроения. — 2009, № 9, 39—41
10. **Ставровский М.Е., Сидоров М.И., Емельянов С.Г., Посеренин С.Г.** Исследование эксплуатационного наводороживания материалов деталей // Известия Юго-Западного государственного университета. — 2016, № 2, 59—65
11. **Ставровский М.Е., Сидоров М.И., Емельянов С.Г., Посеренин С.П., Константинов И.М.** Исследование технологических мероприятий по снижению наводороживания материалов // Известия юго-западного государственного университета. Серия: техника и технологии. — 2016, № 2, 20—25

12. **Ставровский М.Е., Албагачиев А.Ю., Сидоров М.И.** Моделирование адгезии при контактом взаимодействии металлов // Современные материалы, техника и технологии. — 2016, № 7, 168—173

References

1. **Shalygin M.G. and Vashchishina A.P.** Anti-Frictional Lubricant Additives for Locomotive Wheel Flange. — Bryansk: Bryansk State Technical University, 7, 50 years October boulevard, 241035. — 2021, 060003
2. **Lubricants for lubricating the contact zone of wheels and rails** [Text]: Technical requirements: approved by the Vice-President of JSC “Russian Railways” 05.11.2009: entry into force from 24.02.2010 by Order of JSC “Russian Railways” No. 375r. — M.: Russian Railways. — 2010 (in Russian)
3. **Shalygin M.G., Vashchishina A.P.** Improving the tribotechnical characteristics of a lubricant intended for lubricating the wheel crest of a mainline locomotive // Transport engineering. — 2021, № 12(109), 19—25 (in Russian)
4. **Shalygin M.G., Vashchishina A.P.** Efficiency of organophosphorus additives in the lubrication system of the locomotive wheel crest // Assembly in mechanical engineering, instrumentation. — 2021. № 9, 410—413. DOI 10.36652/02-3350-2021-22-9-410-413 (in Russian)
5. **Lukashev P.E.** Mathematical modeling of tribochemical kinetics of hydrogen wear: dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.17.08. [Place of defense: Russian State University of Tourism and Service]. — Moscow, 2008. RGB OD, 61 09-5/694 (in Russian)
6. **Lukashev E.A., Sidorov M.I., Yurtsev E.S.** Analysis of the relationship between the processes of hydrogen wear and the formation of hydrides // Modern materials, equipment and technologies. — 2017, № 2(10), 84—90 (in Russian)
7. **Tribochemistry of hydrogen wear: monograph** / E.A. Lukashev, M.E. Stavrovsky, A.V. Oleinik, V.M. Yudin, S.G. Emelyanov. — Kursk: Kursk State Technical University. — 2007 (in Russian)
8. **Kasatkin G.N.** Hydrogen in structural steels. — Moscow: Internet Engineering. — 2003 (in Russian)
9. **Stavrovsky M.E., Stavrovsky M.E., Oleinik A.V., Emelyanov S.G.** Technological methods of protecting machine parts from hydrogen wear // Technology of machine-building. — 2009, no. 9, 39—41 (in Russian)
10. **Stavrovsky M.E., Sidorov M.I., Emelyanov S.G., Poserenin S.G.** Investigation of operational flooding of materials of parts // Proceedings of the Southwestern State University. — 2016, № 2, 59—65 (in Russian)

11. **Stavrovsky M.E., Sidorov M.I., Emelyanov S.G., Poserenin S.P., Konstantinov I.M.** Research of technological measures to reduce the flooding of materials // *Izvestia of the South-Western State University*. Series: engineering and technology. — 2016, № 2, 20—25 (in Russian)
12. **Stavrovsky, M.E., Albagachiev A.Yu., Sidorov M.I.** Modeling of adhesion during contact interaction of metals // *Modern materials, equipment and technologies*. — 2016, № 7, 168—173 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by