

ИННОВАЦИОННЫЙ ТРАНСПОРТ

№ 4 (30)
декабрь 2018

I N N O T R A N S



Проектирование системы охлаждения гоночного болида класса Formula Student

С. 60

ВСМ-2 Москва – Казань:
инновации в проектировании
и строительстве

Комплексный проект
рефрижераторного
склада

Развитие систем
бортовой диагностики
локомотивов



Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА



Основана 26 июня 1991 года, насчитывает более 680 действительных членов, среди которых доктора и кандидаты технических наук, доктора транспорта.

Располагает девятью региональными и двумя функциональными отделениями, имеет большой опыт работы в области транспортного планирования и развития транспортных систем регионального и муниципального уровня.

Проведение научно-исследовательских и научно-технических работ является приоритетной задачей Российской академии транспорта.

Реализованные государственные контракты на выполнение научно-исследовательских работ за последнее время по темам:

- «Концепция развития мультимодальных пассажирских перевозок в городе Перми»
- «Разработка макета информационно-аналитической системы выбора поставщиков и транспортных схем доставки нерудных строительных материалов при выполнении проектов капитального строительства»
- «Разработка предложений по концепции развития транспортного комплекса г. Красноярск в 2016-2025 гг.»
- «Проведение обследования процессов дистрибуции авиакомпанией «Аэрофлот» пакетированных туристических услуг с моделированием базовых функций, а также подготовка технических требований по автоматизации бизнес-процессов»

Все реализованные контракты представлены на сайте Российской академии транспорта: <http://rosacademtrans.ru/proektyi-akademii/>

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ:

Центральное отделение:
107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34, блок 1
Тел.: +7 (499) 399-98-72
Сайт: www.rosacademtrans.ru

Уральское межрегиональное отделение:
620034 г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, УрГУПС
Тел.: 8-922-205-95-92, факс: (343) 221-24-67
E-mail: Anna-Volinskaya@mail.ru
Сайт отделения: <http://www.uralakademia.ru>

С НАМИ СОТРУДНИЧАЮТ:



Минтранс РФ

РЖД



Министерство транспорта
и дорожного хозяйства
Волгоградской области



АЭРОФЛОТ

СКОРОСТНЫЕ
МАГИСТРАЛИ



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА
ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Инновационный транспорт

Научно-публицистическое издание

№ 4 (30), 2018 г.

Издаётся с ноября 2011 г.

Учредители: Российская академия транспорта (РАТ),

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)

Главный редактор Александр Геннадьевич Галкин, д-р техн. наук, профессор, ректор УрГУПС, председатель Уральского отделения РАТ

Научный редактор Дмитрий Германович Неволин, д-р техн. наук, профессор, действительный член РАТ

Редактирование и корректура — Елена Владимировна Чагина

Верстка и дизайн — Андрей Викторович Трубин

Адрес редакции: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, каб. Б2-79. Тел. (343) 221-24-42, 221-24-90.

Веб-сайт: www.usurt.ru, e-mail: innotrans@mail.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации Роскомнадзора ПИ № ФС 77-46984 от 14 октября 2011 г.

Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 586908.

Зарегистрировано в Государственном реестре товарных знаков и знаков обслуживания РФ 14.09.2016 г.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета в типографии ООО «АЛЕКС ПРИНТ».

394007, г. Воронеж, Ленинский проспект, д. 94, кв. 52.

Тел.: (473) 290-45-17. E-mail: alexey-print@mail.ru

Подписной индекс издания в общероссийском каталоге «Пресса России» — 85022. Цена 382,6 руб.

DOI: 10.20291/2311-164X.

Подписано в печать 30.12.2018. Дата выхода в свет 20.03.2019.

Печать офсетная. Тираж 500 экз. (1-й з-д 1–160). Заказ № 6998

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», 2018

© Общероссийская общественная организация «Российская академия транспорта», 2018

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Александр Геннадьевич Галкин, доктор технических наук, профессор, главный редактор журнала «Инновационный транспорт», действительный член РАТ, ректор Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Рольф Эпштайн, доктор технических наук, Siemens (Германия).

Денис Викторович Ломотко, доктор технических наук, академик Транспортной академии Украины, профессор Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, Харьков (Украина).

Мargarita Булатовна Имандосова, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау (Казахстан).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Дмитрий Германович Неволин, доктор технических наук, профессор, научный редактор журнала «Инновационный транспорт», действительный член РАТ, заведующий кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Петр Алексеевич Козлов, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, директор научно-производственного холдинга «Стратег», Москва (Россия).

Сергей Алексеевич Румянцев, доктор физико-математических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Высшая и прикладная математика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Валерий Михайлович Самуилов, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Мировая экономика и логистика» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Игорь Александрович Тараторкин, доктор технических наук, действительный член РАТ, профессор кафедры «Гусеничные машины» Курганского государственного университета, заведующий Курганским отделом механики транспортных машин Института машиноведения УрО РАН, Курган (Россия).

Елена Николаевна Тимухина, доктор технических наук, профессор, действительный член РАТ, заведующая кафедрой «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург (Россия).

Innotrans

Scientific-and-nonfiction edition

№ 4 (30), 2018

Published since November 2011

Founders: Russian Academy of transport (RAT),

Ural state University of railway transport (USURT)

Editor-in-chief Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor, Rector of USURT, Chairman of RAT Ural Department

Scientific editor Dmitry G. Nevolin, DSc in Engineering, Professor, full member of RAT

Editing and proofreading — Elena V. Chagina

Layout and design — Andrey V. Trubin

Address of the editorial office: Office B2-79, 66 Kolmogorova Str., Ekaterinburg, 620034. Telephone: (343) 221-24-42, 221-24-90.

Web-site: www.usurt.ru. E-mail: innotrans@mail.ru

Mass media registration certificate of Roskomnadzor PI No. FS 77-46984 dated October 14, 2011.

Subscription reference number of the issue in the All Russia Catalogue "Russian Press" — 85022. Price 382,6 rub.

Released for printing on 30.12.2018. Date of issue 20.03.2019. Offset printing. Circulation 500 copies.

© ФГБОУ ВО Уральский Государственный Университет Железнодорожного Транспорта, 2018

© All-Russian Public Organisation "Russian Academy of Transport", 2018

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Alexander G. Galkin, DSc in Engineering, Professor, Editor-in-Chief of Innotrans magazine, full member of RAT, Rector of the Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg (Russia).

Rolf Epstein, DSc in Engineering, Siemens (Germany).

Denis V. Lomotko, DSc in Engineering, Academician of the Transport Academy of Ukraine, professor of the Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov (Ukraine)

Margarita B. Imandosova, DSc in Engineering, professor, vice-rector for academic affairs of the Caspian State University of Technologies and Engineering named after S. Yesenov, Aktau (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD

Dmitry G. Nevolin, DSc in Engineering, Professor, full member of RAT, Scientific Editor of Innotrans journal, Head of Car Design and Operation Chair, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg (Russia).

Pyotr A. Kozlov, DSc in Engineering, Professor, full member of RAT, Director of Scientific Production Holding Strateg, Moscow (Russia).

Sergey A. Rumyantsev, Doctor of Physico-mathematical Sciences, full member of the Russian Academy of Transport, Professor of "Higher and Applied Mathematics" at Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg (Russia).

Valery M. Samuilov, DSc in Engineering, full member of RAT, Professor, Logistics and World Economy Chair, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, (Russia).

Igor A. Taratorkin, Doctor of Technical Sciences, Professor of "Track Machines" Department at Kurgan State University, member of the Russian Academy of Transport, Institute of Mechanical Engineering Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Head of the Mechanics of transport vehicles office, Kurgan (Russia).

Elena N. Timukhina, Doctor of Technical Sciences, professor, member of Russian Academy of Transport, Head of "Field operation management" department of the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, (Russia).

СОДЕРЖАНИЕ

Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

<i>Журавская М. А., Цяо Цун.</i> О модернизации инструментария для комплексной оценки эффективности и устойчивости развития транспортно-логистических систем территорий макрорегионального уровня	3
<i>Левшунов В. П., Бушуев С. В.</i> Высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Казань (ВСМ-2): инновации в проектировании и строительстве.	9
<i>Самуйлов В. М., Неволин Д. Г., Парышев Д. Н., Каргапольцева Т. А.</i> Повышение пропускной способности двухполосных федеральных автомобильных дорог для транспортного коридора экономического пояса Шелкового пути	19
<i>Покровская О. Д., Регер Е. А.</i> Комплексный проект рефрижераторного склада	24

Организация производства (транспорт)

<i>Грязнов А. О., Тарасян В. С.</i> Методы построения нечетких регуляторов для управления движением на регулируемом перекрестке	28
<i>Скутин Д. А.</i> Оценка влияния шага интегрирования в программном комплексе «Универсальный механизм» на оперативную память ПК	32
<i>Писаренко В. В.</i> Универсальная математическая модель для расчета износа поверхности гребня колесной пары при прохождении кривого участка пути	35
<i>Тарасовский Т. С.</i> Тиристорно-реакторное устройство регулирования напряжения под нагрузкой РПН преобразовательного трансформатора ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 с пофазным регулированием напряжения	39

Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<i>Худояров Д. Л., Тюшев И. А.</i> Развитие систем бортовой диагностики локомотивов	43
<i>Баева И. А.</i> Особенности расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока при движении двух одиночных грузовых поездов с межпоездным интервалом и одного соединенного поезда	49

Эксплуатация автомобильного транспорта

<i>Цариков А. А., Бачинина А. В., Коньков А. А., Полуяхтова Е. А.</i> Опыт организации ночных маршрутов общественного транспорта в городах Европы и постсоветского пространства	52
<i>Неволин Д. Г., Котельников А. П., Зорин М. Д.</i> Проектирование системы охлаждения гоночного болида класса Formula Student	60
<i>Цариков А. А., Мокерова А. А., Бадиева А. А.</i> Исследование закономерностей функционирования парковок торговых центров в городе Екатеринбурге	66

CONTENTS

Transport and transport-technology system of the country, its regions and cities, manufacture organization on transport

<i>Marina A. Zhuravskaya, Qiao Cong.</i> On modernization of instruments for complex evaluation of efficiency and stability of development of transport and logistical systems of macro-regional level territories.	3
<i>Vitaly P. Levshunov, Sergey V. Bushuev.</i> Highspeed railway mainline Moscow – Kazan (HSM-2): innovations in designing and construction	9
<i>Valery M. Samuilov, Dmitry G. Nevolin, Dmitriy N. Paryshev, Tatiana A. Kargapoltseva.</i> Increase of highway capacity of two-way federal roads for transport corridor of Silk Road economic belt.	19
<i>Oksana D. Pokrovskaya, Yegor A. Reger.</i> Complex project of refrigerator warehouse	24

The organization of production (transport)

<i>Alexey O. Gryaznov, Vladimir S. Tarasyan.</i> Methods of construction of equivocal regulators for movement control at the signaled crossing	28
<i>Dmitry A. Skutin.</i> Evaluation of influence of an integrating step in the programmed complex “Universal mechanism” on PC random access memory	32
<i>Vadim V. Pisarenko.</i> Universal mathematical model for calculation of wheel-set ridge surface wear on a curved track section	35
<i>Timofey S. Tarasovskiy.</i> Thyristor-reactor device for voltage regulation under РПН load of ТРСЗП-12500/10 ЖУ1 rectifier transformer with single phase voltage regulation	39

Rolling stock, hauling operation and electrification

<i>Dmitry L. Khudoyarov, Igor A. Tushev.</i> Development of locomotive on-board diagnostics systems.	43
<i>Irina A. Baeva.</i> Peculiarities of calculation of DC traction power supply system under movement of two single freight units with a running interval and one multiplied train	49

Operation of motor transport

<i>Aleksey A. Tsarikov, Alena V. Bachinina, Alexander A. Konkov, Elena A. Poluyakhtova.</i> Experience of organization of public transport night-time routes in cities of Europe and post-Soviet states	52
<i>Dmitry G. Nevolin, Andrey P. Kotelnikov, Maxim D. Zorin.</i> Formula Student class racing car cooling system designing.	60
<i>Aleksey A. Tsarikov, Anastasia A. Mokerova, Angelika A. Badijeva.</i> Studies of regularities in functioning of parking lots of trade centres in the city of Ekaterinburg	66



Вадим Валерьевич
Писаренко

Vadim V. Pisarenko

Универсальная математическая модель для расчета износа поверхности гребня колесной пары при прохождении кривого участка пути

Universal mathematical model for calculation of wheel-set ridge surface wear on a curved track section

Аннотация

Математическое моделирование на данный момент является самым распространенным методом исследования различных физических процессов. Чем точнее математическая модель, тем меньше затрат несет производитель при изготовлении опытных образцов на натурные испытания. На данном этапе создано немало программных комплексов для упрощения процесса создания новых конструкций: ПК «Универсальный механизм», ПК «ADAMS». Данные программные комплексы являются хорошими инструментами, но при этом достаточно дорогими. Как показывает практика, для моделирования физических процессов достаточно электронных таблиц MS Excel. В статье рассмотрена математическая модель износа поверхности гребня колесной пары, реализуемая в электронных таблицах MS Excel.

Ключевые слова: математическое моделирование, динамика, износ гребня, наибольший перекося рамы.

DOI:10.20291/2311-164X-2018-4-35-38

Авторы Authors

Вадим Валерьевич Писаренко, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (МИИТ); главный специалист-эксперт отдела по работе с пользователями услуг железнодорожного транспорта Управления инфраструктуры и перевозок Федерального агентства железнодорожного транспорта (Росжелдор), Москва; e-mail: vadimbasket@mail.ru

Vadim Valerievich Pisarenko, post graduate student, "Railway cars and Rolling Stock" Chair, Russia's University of Transport (MIIT); chief specialist-expert, Department of work with users of railway services, Federal agency of railway transport, Administration of infrastructure and traffic (Roszheldor), Moscow; vadimbasket@mail.ru

Annotation

At present mathematical simulation is the most widespread technique for investigation of different physical processes. The more precise a mathematical model is, the less expenses a producer experiences while making prototypes for natural tests. At that stage quite a lot of programmed complexes for simplification of construction of new structures have been made: PC "Universal mechanism", PC "ADAMS". These programmed complexes are good instruments, but rather expensive. As the practice shows, MS Excel electronic spreadsheets are good enough for simulation of physical processes. The article looks upon a mathematical model of wheel-set ridge surface wear, being realized in MS Excel electronic spreadsheets.

Keywords: mathematical simulation, dynamics, ridge wear, greatest frame skewing.

Математическое моделирование на данный момент является самым распространенным методом исследования различных физических процессов. Чем точнее математическая модель, тем меньше затрат несет производитель при изготовлении опытных образцов для натуральных испытаний. На данном этапе создано немало программных комплексов для упрощения процесса создания новых конструкций: ПК «Универсальный механизм», ПК «ADAMS». Данные программные комплексы являются хорошими инструментами, но при этом достаточно дорогими. Как показывает практика, для моделирования физических процессов достаточно электронных таблиц MS Excel. Для начинающего конструктора необходимо понять суть всех процессов, происходящих в конструкции при движении. Для этого в данной статье рассмотрена математическая модель износа гребня колесной пары, реализуемая в электронных таблицах MS Excel.

Износ колесной пары является одной из популярнейших задач современных конструкторов. Создается множество профилей катания колесной пары для уменьшения износа. В данной статье мы построим универсальную математическую модель для расчета износа гребня колеса грузового вагона на тележках 18-100, учитывая геометрические характеристики рельса и колеса. Для этого построим схему действия сил со стороны набегающего колеса на рельс (рис. 1).

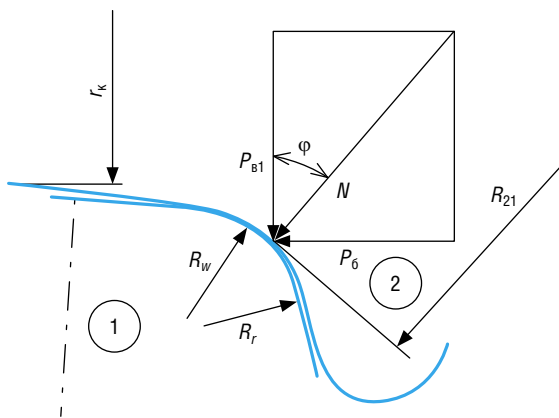


Рис. 1. Схема действия сил со стороны набегающего колеса

Согласно приведенной схеме, при набегаании гребня колеса на рельс происходит скольжение поверхности гребня по боковой грани головки рельса, в результате чего возникает износ. Износ поверхности гребня можно определить как фактор износа, умноженный на поправочный коэффициент. Фактор износа представляет собой работу силы трения на промежутке скольжения колеса по рельсу [3]:

$$A = \int_0^S \frac{N(a; b) \cdot \mu}{\sin \varphi} \cdot dS. \quad (1)$$

При контакте гребня колесной пары и рельса образуется площадка контакта.

$$N(a; b) = \frac{N}{S} = \frac{N}{\pi \cdot a \cdot b}, \quad (2)$$

$$N = \sqrt{P_{B1}^2 + Y^2}, \quad (3)$$

$$P_{B1} = 2 \cdot Q_{ш} \cdot \left[\frac{b - a_1}{L} \cdot (1 - \bar{K}_{ДБ}) + \frac{b}{L} \cdot K_{ДБГ} \right] + H_p \cdot \frac{r}{L} + q_{кп} \cdot \frac{b - a_1}{L}, \quad (4)$$

где a, b — большая и малая полуоси эллипса; P_{B1} — вертикальные силы, действующие со стороны набегающего колеса; $Q_{ш}$ — нагрузка, приходящаяся на одну шейку оси; $q_{кп}$ — вес колесной пары; $L = 1,555$ м; $a_1 = 0,264$ м; $a_2 = 0,217$ м; $\bar{K}_{ДБ}$ — среднее значение коэффициента вертикальной динамики; $K_{ДБГ}$ — среднее значение коэффициента горизонтальной динамики; H_p — среднее значение рамной силы; β — угол наклона образующей конусообразной поверхности гребня.

Для того чтобы сделать нашу модель универсальной, учтем перекося рамы тележки грузового вагона.

Согласно приведенной схеме (рис. 2, а) составим уравнение моментов всех сил относительно точки С и приравняем к нулю. Выразим направляющую силу и примем силу трения равной $F = P_{B1} \cdot \tan(\varphi)$.

$$Y = \frac{H_0 \cdot a_{\max} + 2F \cdot (r_1 + r_2)}{\frac{p}{2} + a_{\max}}, \quad (5)$$

$$H_0 = 0,0407 \cdot G + 25 \cdot F_{бок} + S \frac{2k}{R}, \quad (6)$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{1}{4}(s^2 + p^2) + a_{\max} \cdot (p + a_{\max})}, \quad (7)$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{1}{4}(s^2 + p^2) + a_{\max} \cdot (a_{\max} - p)}, \quad (8)$$

$$a_{\max} = \frac{eR}{p}, \quad (9)$$

где Y — направляющая сила колеса; p — база тележки; a_{\max} — наибольший перекося рамы тележки в плане; R — радиус кривой; $r_{1,2}$ — расстояние от центра тяжести тележки до точки контакта колеса и рельса; F — сила трения в контакте колеса и рельса; k — база вагона; $F_{бок}$ — боковая площадь кузова вагона; S — продольная сила поезда, действующая на вагон в кривом участке пути; G — вес вагона брутто; e — суммарный зазор между гребнем колесной пары и рельсов.

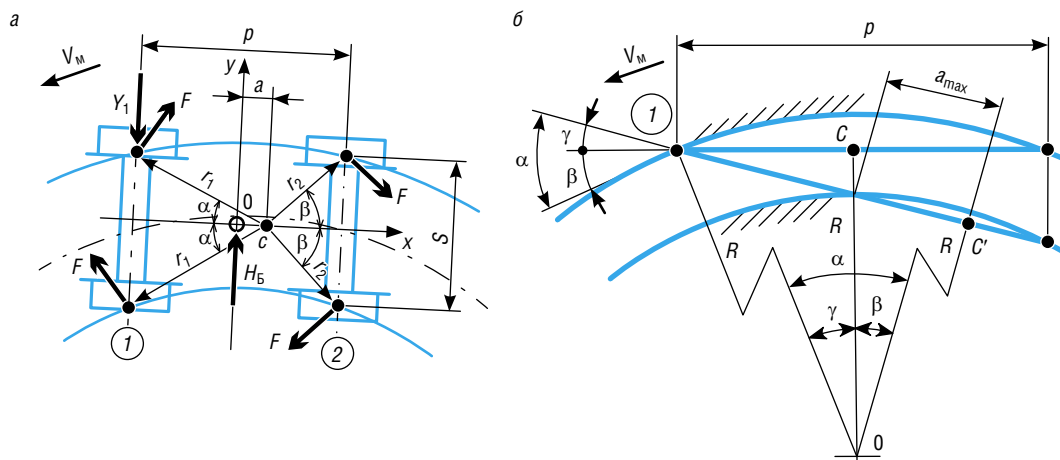


Рис. 2. Схема действия сил на тележку при прохождении кривого участка пути (а); кинематическая схема прохождения тележкой кривого участка пути (б)

Для определения размеров полуосей эллипса контакта a и b используем модель Герца. С учетом допущений, что угол между плоскостями поверхностей колеса и рельса, содержащими главные радиусы кривизны, равен нулю и $R_{11} = \infty$, уравнения примут вид [2]:

$$a = m \sqrt[3]{\frac{3\pi N(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}, \quad (10)$$

$$b = n \sqrt[3]{\frac{3\pi N(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}, \quad (11)$$

$$A+B = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{21}} + \frac{1}{R_{22}} \right], \quad (12)$$

$$B-A = \frac{1}{2} \left[-\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{21}} - \frac{1}{R_{22}} \right], \quad (13)$$

где $k_1 + k_2 = 0,67(1 - \mu^2)/E$; E — модуль упругости материалов колеса и рельса; N — нормальная сила в контак-

те; коэффициенты m и n определяются по табл. 1 в зависимости от угла θ .

Для вычисленного значения $\cos \theta = 0,952$ получаем $m = 4,282$, $n = 0,392$. Приняв $N = 65$ кН, получаем длину большой полуоси эллипса контакта равной 9,33 мм и длину малой полуоси — 0,85 мм.

Подставив все полученные данные, находим износ гребня колесной пары в мм (табл. 2). Согласно нормам, минимальная толщина гребня в эксплуатации составляет 25 мм, то есть максимальный износ может быть 8 мм.

Как видно из приведенных расчетов, износ гребня составляет 1 мм на 10 тыс. км, что соответствует статистическим данным.

Для построения 3D-модели пятна контакта воспользуемся формулой

$$z = N \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2 - \left(\frac{y}{b}\right)^2}.$$

где z — давление на площадке контакта, МПа.

Таблица 1

Значения коэффициентов m и n

$\cos \theta$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
m	1	1,07	1,15	1,25	1,36	1,46	1,66	1,89
n	1	0,931	0,871	0,821	0,760	0,721	0,666	0,610
$\cos \theta$	0,8	0,85	0,9	0,95	0,97	0,99	0,997	1,0
m	2,29	2,60	3,09	4,08	5,09	7,83	12,21	—
n	0,539	0,506	0,461	0,396	0,356	0,290	0,224	—

Значения износа гребня колеса

Износ гребня колеса, мм	7,87	7,99	8,10	7,90	8,01	8,13	7,92	8,03	8,15
Пройденный путь при непрерывном контакте гребня и колеса, км	70	71	72	70	71	72	70	71	72
Радиус кривой, м	300	300	300	600	600	600	900	900	900

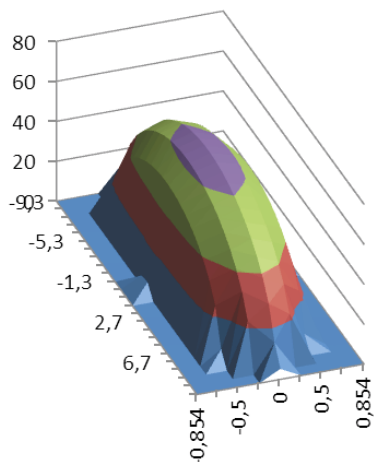


Рис. 3. 3D-модель площадки контакта на гребне колеса:
 ■ — 60–80; ■ — 40–60; ■ — 20–40; ■ — 0–20

Из рис. 3 и 4 видно, что форма контактной площадки полностью совпадает. Данная методика показывает достаточно точные данные износа гребня колеса. Также стоит отметить, что износ поверхности катания и износ поверхности гребня никак не коррелируются и должны рассчитываться отдельно друг от друга.

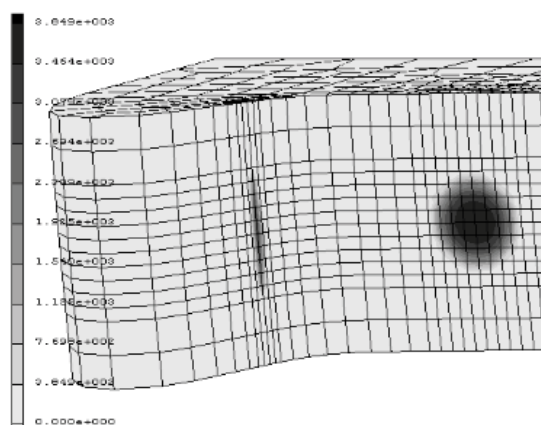


Рис. 4. Распределение контактных узловых сил в программном комплексе MSC.MARC при двухточечном контакте

Данная методика дает возможность изучить износ гребня колеса, не используя при этом коммерческие программные комплексы. Модель учитывает не только геометрические характеристики рельса и колеса (R_{12} , R_{22} , R_{21}), но и значения перекаса рамы тележки. [ИТ](#)

Список литературы

1. Вершинский С. В., Хусидов В. Д. Динамика вагона : учебник / под. ред. С. В. Вершинского. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1991. — С. 53–57.
2. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости / пер. с англ. — М. : Физматгиз, 1957. — С. 560.
3. Максимов И. Н. Разработка профиля колес для скоростных поездов и прогнозирование его эволюции в процессе взаимодействия подвижного состава и пути : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2014. — С. 47–49.

Объем статьи: 0,31 авторских листа