

Лубрикация рельсов тяговым локомотивом в составе поезда

В. С. КОССОВ, А. А. ЛУНИН, Ю. А. ПАНИН, А. В. ТРИФОНОВ, И. Е. ИЛЬИН

Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, 140402, Россия

Аннотация. Приводится обоснование эффективности применения технологии лубрикации поверхности катания рельса в кривой локомотивом в составе поезда. Представлены рациональные значения коэффициента трения на поверхности катания внутреннего рельса, полученные по результатам компьютерного моделирования и полигонных испытаний. Обосновывается эффект снижения бокового воздействия подвижного состава на путь за счет снижения коэффициента трения на поверхности катания внутреннего рельса и боковой поверхности головки наружного рельса.

Ключевые слова: подвижной состав; лубрикация; поверхность катания рельса; боковая поверхность катания рельса; модификатор трения

Введение. Взаимодействие подвижного состава и пути — основополагающий физический процесс при движении вагонов, локомотивов и поездов по железным дорогам. Условия взаимодействия в системе «колесо — рельс» оказывают существенное влияние на сроки службы и организацию содержания основных устройств пути и подвижного состава, на эксплуатационные затраты железных дорог.

Цель исследований. В АО «ВНИКТИ» более двадцати лет ведутся исследования, направленные на снижение затрат энергоресурсов на тягу поездов. В результате проведенного анализа отечественных и зарубежных исследований определено перспективное в этой области направление — лубрикация рельсов локомотивом ведущим состав поезда [1, 2, 3, 4, 5].

Институтом разработана усовершенствованная технология, по которой лубрикация поверхности катания внутреннего рельса в кривой производится локомотивом ведущим состав на тех участках пути, где осуществлена лубрикация боковой поверхности головки наружного рельса вагонами-рельсосмазывателями.

Лубрикация производится существенно более дешевым смазочным материалом — модификатором трения, сразу за последней колесной парой локомотива, ведущего состав, на поверхность катания внутреннего рельса в кривых радиусом менее 800 м (рис. 1). Модификатор трения — это смазочный материал, регулируемо снижающий коэффициент трения на поверхности катания рельсов в системе «колесо — рельс». Он используется для уменьшения

действия сил сопротивления движению подвижного состава, экономии топлива и энергии на тягу поездов, увеличения ресурса колес подвижного состава и рельсов, исключения процессов схватывания и вырывания материалов контактирующих поверхностей.

Модификатор трения для лубрикации рельсов имеет стойкость от 250 до 280 осей подвижного состава, это обеспечивает его стирание с поверхности катания внутреннего рельса колесами подвижного состава, под которые он был нанесен, и не влияет на тяговые свойства следом идущего локомотива (рис. 2).

При этом боковая поверхность головки наружного рельса в кривой смазана по технологии лубрикации рельсов вагонами-рельсосмазывателями с применением смазочных материалов со стойкостью более 15000 осей подвижного состава [6].

По данным американских публикаций следует, что средняя экономия энергии за счет снижения сопротивления движению при применении такой технологии составляет от 10 до 13 % [7, 8]. Боковое воз-

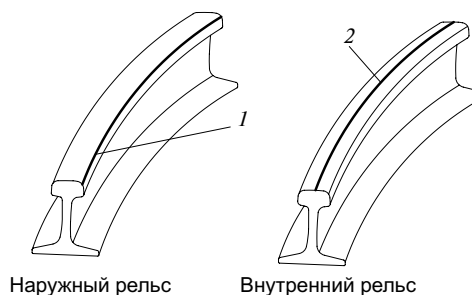


Рис. 1. Предлагаемая технология лубрикации рельсов в кривых радиусом менее 800 м: 1 — лубрикация боковой поверхности головки наружного рельса вагоном-рельсосмазывателем смазочным материалом со стойкостью более 15000 осей подвижного состава, коэффициент трения ϕ между гребнем набегающего колеса и боковой поверхностью головки рельса в диапазоне от 0,1 до 0,25; 2 — лубрикация поверхности катания внутреннего рельса локомотивом, ведущим состав, модификатором трения со стойкостью от 250 до 280 осей подвижного состава, коэффициент трения ϕ на поверхности катания в диапазоне от 0,18 до 0,25

Fig 1. The proposed rail lubrication technology in curve of radius less than 800 m: 1 — lubrication of side surface of the head of outer rail by lubricating car with lubricant having durability from over 15000 rolling stock axis, coefficient of friction ϕ between the flange of the oncoming wheel and side surface of the rail head ranging from 0.1 to 0.25; 2 — lubrication by leading locomotive of rolling surface of the inner rail with friction modifier having durability of 250 to 280 rolling stock axes, the friction coefficient ϕ on rolling surface in the range from 0.18 to 0.25

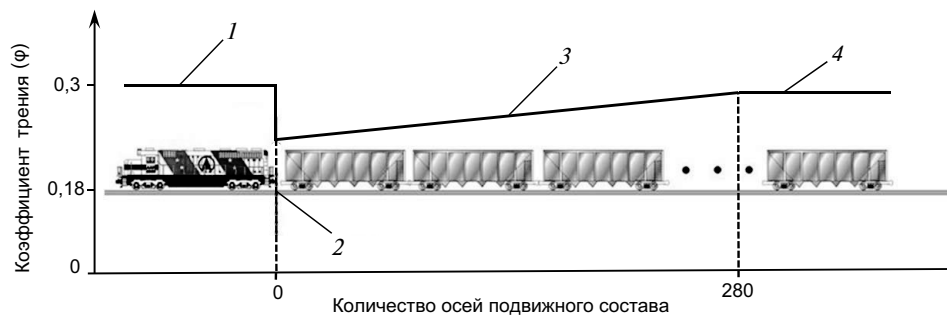


Рис. 2. Технология лубрикации рельсов локомотивом, ведущим состав:

1 — трибологическое состояние поверхности катания внутреннего рельса до лубрикации, коэффициент трения $\varphi > 0,25$; 2 — лубрификация поверхности катания внутреннего рельса локомотивом, ведущим состав, модификатором трения, коэффициент трения $\varphi = 0,18$; 3 — изменение трибологического состояния поверхности катания внутреннего рельса в зависимости от количества пропущенных осей подвижного состава, коэффициент трения φ в диапазоне от 0,18 до 0,25; 4 — трибологическое состояние поверхности катания внутреннего рельса после пропуска 250...280 осей подвижного состава, коэффициент трения $\varphi > 0,25$

Fig. 2. Technology for lubricating rails by leading locomotive:

1 — tribological state of the rolling surface of the inner rail before lubrication, the friction coefficient $\varphi > 0.25$; 2 — lubrication with friction modifier of the rolling surface of the internal rail by leading locomotive, the friction coefficient $\varphi = 0.18$; 3 — change of state tribological of rolling surface of the inner rail depending on the number of passed rolling stock axles, coefficient of friction φ in the range of 0.18 to 0.25; 4 — tribological state of the rolling surface of the inner rail after passing 250...280 rolling stock axles, the friction coefficient $\varphi > 0.25$

действие на путь в кривых в зависимости от радиуса кривой и типа вагона снижается на 50 % [9, 10].

Результаты исследований. Институтом проведены теоретические и экспериментальные исследования динамического вписывания экипажа грузового вагона с учетом лубрикации поверхности катания внутреннего рельса и боковой поверхности головки наружного рельса.

По данным компьютерного моделирования на программном комплексе «Универсальный механизм» и результатам полигонных испытаний получены диапазоны рациональных значений коэффициентов трения на контактных поверхностях рельсов в кривой: на поверхности катания внутреннего рельса $\varphi = 0,18...0,25$; на боковой поверхности головки наружного рельса $\varphi = 0,1...0,25$ (рис. 1).

Получено снижение до 30 % (рис. 3) бокового воздействия грузового вагона в груженом состоянии на путь в кривой радиусом 300 м при значениях коэффициента трения $\varphi = 0,18$ на поверхности катания внутреннего рельса и $\varphi = 0,1$ на боковой поверхности наружного рельса, уменьшение сопротивления движению до 10 % в зависимости от скорости движения.

Эффект снижения бокового воздействия на путь достигается за счет снижения коэффициента трения на поверхности катания внутреннего рельса и боковой поверхности наружного рельса, которое приводит к пропорциональному снижению поперечных сил крипа. В свою очередь это приводит к уменьшению нормальной реакции на гребне набегающего колеса и, как следствие, к уменьшению сил сопротивления движению (экономии топлива и энергии на тягу поездов) и снижению износов как гребней колес подвижного состава, так и рельсов в кривых (рис. 4).

Применение технологии лубрикации поверхности катания внутреннего рельса в кривой тяговым локо-

мотивом, ведущим состав, в комплексе с лубрикацией боковой поверхности головки наружного рельса вагоном-рельсосмазывателем смазочным материалом со стойкостью более 15000 осей подвижного состава позволит в сравнении с методом лубрикации только боковой поверхности наружного рельса осуществить:

- снижение моментов сопротивления повороту тележек (M_c) грузовых вагонов в кривой радиусом 300 м на 70 % при скорости движения 30 км/ч и на 36 % — при скорости движения 70 км/ч и в результате дополнительно снизит расход энергетических ресурсов на тягу поездов;

- снижение бокового воздействия на путь подвижного состава в кривой радиусом 300 м на 30 % при скорости движения 30 км/ч и на 10 % при скорости движения 70 км/ч;

- высвобождение парка локомотивов-рельсосмазывателей под перевозочный процесс;

- высвобождение отдельных графиковых ниток, ранее занятых локомотивами-рельсосмазывателями.

Институтом изготовлен опытный образец рельсосмазывателя для нанесения модификатора трения локомотивом в составе поезда. Проведены полигонные испытания, при которых получены значения оптимального диаметра сопла форсунки, давления в баке хранения модификатора трения, а также получено предварительное значение длины смазанного участка в кривой, т. е. определено, что лубрификация поверхности катания внутреннего рельса в кривой может быть ограничена, например, пятью метрами при входе в кривую. Модификатор трения разносится колесами на всю длину кривой. В связи с этим, как вариант, появляется возможность регулирования количества модификатора трения на рельсе в зависимости от длины состава, т. е. количества осей вагонов.

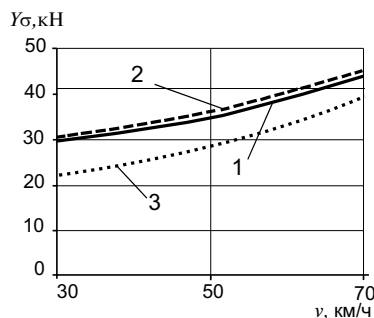


Рис. 3. Зависимость боковых сил ($Y\sigma$) от скорости движения (v) и типа смазки рельсов в кривой радиусом 300 м:

1 — рельсы не смазаны; 2 — смазка боковой поверхности головки наружного рельса; 3 — смазка боковой поверхности головки наружного рельса и поверхности катания внутреннего рельса

Fig. 3. Dependence of the lateral forces ($Y\sigma$) on the speed (v) and the type of lubrication of rails 300 m curve radius:

1 — not lubricated rails; 2 — lubrication of side surface of the head of the outer rail; 3 — lubrication of side surface of the head of the outer rail and rolling surface of the inner rail

При этом определены основные технические требования к модификаторам трения:

- модификатор трения должен легко наноситься на рельс при температуре атмосферного воздуха $-45...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, в том числе в условиях 100 % влажности;
- ресурс модификатора трения не должен превышать 280 осей подвижного состава для состава массой около 6000 т, пропущенных по смазанному участку пути, т. к. к моменту прохождения последнего вагона поезда с целью исключения боксования или ухудшения условий торможения колес локомотива, следующего за поездом, модификатор трения должен быть выработан;
- коэффициент трения после нанесения модификатора трения на поверхность катания внутреннего рельса и к моменту прохождения последнего вагона поезда должен находиться в диапазоне от 0,1 до 0,25.

Заключение. Смазка рельсов тяговым локомотивом в составе поезда имеет широкую перспективу применения на сети железных дорог ОАО «РЖД». Минимальные затраты на дооборудование локомотивов устройствами автоматического нанесения модификаторов трения и производство модификаторов трения окупаются существенной прибылью компании от экономии тяговых ресурсов на тягу поездов и от экономии, связанной со снижением переточек колесных пар и замены рельсов в кривых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов В. М., Захаров С. М. Современные проблемы системы «колесо—рельс» // Железные дороги мира. 2004. № 1. С. 57–62.
2. Бартенева Л. И., Никитин В. Е. Технология комплексного снижения износа гребня колеса и рельса с помощью передвижных рельсосмазывателей // Железные дороги мира. 2004. № 1. С. 62–68.
3. Черный В. С., Богданов В. М., Шаповалов В. В. Комплексная технология рельсосмазывания // Железнодорожный транспорт. 1999. № 5. С. 27–28.

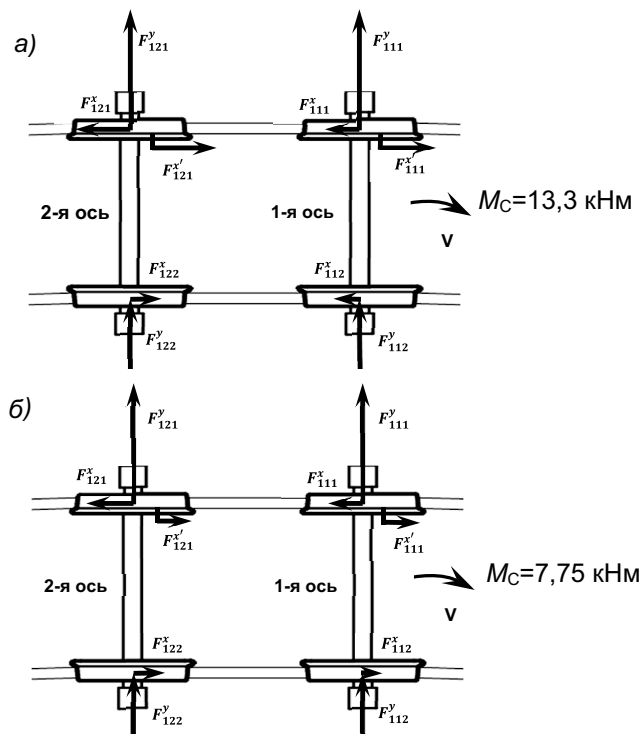


Рис. 4. Распределение сил крива первой тележки груженого вагона в кривой радиусом 300 м при $v = 30\text{ км/ч}$ при различных типах смазки рельсов:

а — смазка боковой поверхности головки наружного рельса

($F_{111}^x = -3,84\text{ кН}$; $F_{111}^y = 20,84\text{ кН}$; $F_{111}^{x'} = 3,92\text{ кН}$; $F_{112}^x = -0,87\text{ кН}$; $F_{112}^y = 37,71\text{ кН}$; $F_{121}^x = -6,97\text{ кН}$; $F_{121}^y = 20,85\text{ кН}$; $F_{121}^{x'} = 4,54\text{ кН}$; $F_{122}^x = 1,91\text{ кН}$; $F_{122}^y = 33,35\text{ кН}$);

б — смазка боковой поверхности головки наружного рельса и поверхности катания внутреннего рельса

($F_{111}^x = -3,10\text{ кН}$; $F_{111}^y = 25,13\text{ кН}$; $F_{111}^{x'} = 2,25\text{ кН}$; $F_{112}^x = 0,39\text{ кН}$; $F_{112}^y = 12,47\text{ кН}$; $F_{121}^x = -4,53\text{ кН}$; $F_{121}^y = 25,13\text{ кН}$; $F_{121}^{x'} = 2,68\text{ кН}$; $F_{122}^x = 1,39\text{ кН}$; $F_{122}^y = 12,30\text{ кН}$)

Fig. 4. Forces distribution of creep of the first truck of loaded car in a curve radius of 300 m with $v = 30\text{ km/h}$ at the different types of lubrication of rails:

а — lubrication of side surface of the head of the outer rail

($F_{111}^x = -3,84\text{ кН}$; $F_{111}^y = 20,84\text{ кН}$; $F_{111}^{x'} = 3,92\text{ кН}$; $F_{112}^x = -0,87\text{ кН}$; $F_{112}^y = 37,71\text{ кН}$; $F_{121}^x = -6,97\text{ кН}$; $F_{121}^y = 20,85\text{ кН}$; $F_{121}^{x'} = 4,54\text{ кН}$; $F_{122}^x = 1,91\text{ кН}$; $F_{122}^y = 33,35\text{ кН}$);

б — lubrication of side surface of the outer rail head and the rolling surface of the inner rail

($F_{111}^x = -3,10\text{ кН}$; $F_{111}^y = 25,13\text{ кН}$; $F_{111}^{x'} = 2,25\text{ кН}$; $F_{112}^x = 0,39\text{ кН}$; $F_{112}^y = 12,47\text{ кН}$; $F_{121}^x = -4,53\text{ кН}$; $F_{121}^y = 25,13\text{ кН}$; $F_{121}^{x'} = 2,68\text{ кН}$; $F_{122}^x = 1,39\text{ кН}$; $F_{122}^y = 12,30\text{ кН}$)

4. Марков Д. П. Трибология и ее применение на железнодорожном транспорте // Труды ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2007. 408 с.

5. Sawley K., Reiff R. Rail Failure Assessment for the Office of the Rail Regulator. An assessment of Rail track's methods for managing broken and defective rails. Pueblo, Colorado USA: Transportation Technology Center, Inc., 2000. 114 p.

6. Смазочные материалы для смазки зоны контакта колес и рельсов: техн. требования ОАО «РЖД». Утв. 5 нояб. 2009 г.

7. Influence of Gauge Face Worn Profile and Lubrication on Vehicle / Track Interaction / M. Ishida, M. Takikawa, F. Aoki, Y. Sone // QR of RTRI. 2002. No. 3 (Sep.). P. 137–142.

8. Eadie D. T., Kalouser J. Spray it on, let'em roll // Railway Age. 2001. No. 6. P. 48–50.

9. Esveld C. Modern railway track. MRT-Productions, 2001. 740 p.

10. Derocher R. U. Static cling // Progressive Railroading. 2002. No. 6. P. 42–44.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОССОВ Валерий Семенович,

д-р техн. наук, профессор,
генеральный директор АО «ВНИКТИ»

ЛУНИН Андрей Александрович,

канд. техн. наук, заместитель заведующего,
отделение «Динамика и прочность подвижного состава
и инфраструктуры», АО «ВНИКТИ»

ПАНИН Юрий Алектинович,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией "Разработка и
стендовые испытания опытных узлов механической части
подвижного состава", отделение «Динамика и прочность
подвижного состава и инфраструктуры», АО «ВНИКТИ»

ТРИФОНОВ Алексей Валерьевич,

ведущий инженер, отделение «Динамика и прочность
подвижного состава и инфраструктуры», АО «ВНИКТИ»

ИЛЬИН Илья Евгеньевич,

заведующий лабораторией "Динамика экипажных частей
тепловозов и путевых машин", отделение «Динамика и
прочность подвижного состава и инфраструктуры»,
АО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 09.06.2016 г., актуализирована
12.09.2016, принята к публикации 21.09.2016 г.

Lubrication of rail by traction unit in the train

V. S. KOSSOV, A. A. LUNIN, Yu. A. PANIN, A. V. TRIFONOV, I. E. IL'IN

Joint Stock Company "Scientific Research and Design Technology Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKT"), 140402, Kolomna, Russia

Abstract. Interaction of rolling stock and track is a fundamental physical process while running cars, locomotives and trains on the railway. The Research, Design and Technological Institute of the rolling stock (JSC "VNIKT") for more than twenty years conducting research to reduce cost of energy for traction.

The Institute has developed rail lubrication technology performed by locomotive leading the train, but with the improvement: the lubrication of the internal rolling surface of the rail in curve performed by leading locomotive and on sections where lubrication made on side surface of the head of the outer rail – by lubricating cars. This technology can reduce the side impact of the rolling stock on the railway track in curved sections, to reduce resistance to motion while maintaining the length of the braking distance. The effect of reducing the side impact to the track is achieved by reducing the coefficient of friction on the rolling surface of the inner rail and the side surface of the outer rail, which leads to a proportional reduction of transverse forces of creep. Such reduction of transverse forces in creep decreases the normal reaction at the flange of the oncoming wheel and, consequently, reduces motion resistance (reduction in energy consumption for traction), reduce wear, both wheel flanges of rolling stock and rails in curves.

Lubrication of rail by traction unit in the train has a broad perspective of application on the railway network of JSC "Russian Railways". The minimum cost of additional equipping locomotives with devices automatically applying friction modifiers and manufacture of friction modifiers will payback considerable profit by savings of traction resources and by savings associated with a reduction in regrinding of wheelsets and replacement of rails in curves.

Keywords: rolling stock; lubrication; rolling surface of rail; side rolling surface of rail; friction modifier

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-57-60>

REFERENCES

1. Bogdanov V. M., Zakharov S. M. *Sovremennye problemy sistemy koleso – rel's* [Modern problems of the wheel system – rail]. *Zheleznyye dorogi mira* [World railways], 2004, no. 1, pp. 57–62.

2. Barteneva L. I., Nikitin V. E. *Tekhnologiya kompleksnogo snizheniya iznosa grebnya kolesa i rel'sa s pomoshch'yu peredvizhnykh rel'sosmazvyateley* [Technology of comprehensive wear reduction of the wheel flange and the rail via mobile lubricating wagon]. *Zheleznyye dorogi mira* [World railways], 2004, no. 1, pp. 62–68.

3. Cherniy V. S., Bogdanov V. M., Shapovalov V. V. *Kompleksnaya tekhnologiya rel'sosmazvaniya* [Integrated technology of rail lu-

brication]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 1999, no. 5, pp. 27–28.

4. Markov D. P. *Tribologiya i ee primeneniye na zheleznodorozhnom transporte*. Tr. VNIIZhT [Tribology and its application in rail transport. Proc. of VNIIZhT]. Moscow, Intext Publ., 2007, 408 p.

5. Sawley K., Reiff R. *Rail Failure Assessment for the Office of the Rail Regulator. An assessment of Rail track's methods for managing broken and defective rails*. Pueblo, Colorado USA, Transportation Technology Center, Inc., 2000, 114 p.

6. *Technical requirements of JSC "Russian Railways" Lubricants for lubrication of the contact zone of the wheels and rails of 5 November 2009*. (in Russ.).

7. Ishida M., Takikawa M., Aoki F., Sone Y. *Influence of Gauge Face Worn Profile and Lubrication on Vehicle. Track Interaction*. QR of RTRI, 2002, no. 3 (Sep.), pp. 137–142.

8. Eadie D. T., Kalouser J. *Spray it on, let'em roll*. *Railway Age*, 2001, no. 6, pp. 48–50.

9. Esveld C. *Modern railway track*. MRT-Productions, 2001, 740 p.

10. Derocher R. U. *Static cling*. *Progressive Railroading*, 2002, no. 6, pp. 42–44.

ABOUT THE AUTHORS

Valeriy S. KOSSOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director General of JSC "VNIKT"

Andrey A. LUNIN,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head, Department "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength", JSC "VNIKT"

Yury A. PANIN,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory "Development and Bench Tests of Rolling Stock Mechanical Part Experimental Units" of "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength" Department, JSC "VNIKT"

Alexey V. TRIFONOV,

Leading Engineer, Department "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength", JSC "VNIKT"

Il'a E. IL'IN,

Head of the Laboratory of Diesel Locomotive and On-Track Machine Undercarriage Dynamics, "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength" Department, JSC "VNIKT"

Received 09.06.2016

Revised 12.09.2016

Accepted 21.09.2016

■ E-mail: vnikti@pti-kolomna.ru (A. V. Trifonov)