

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 625.143(045)
doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-50-60

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ЛУБРИКАЦИИ РЕЛЬСОВ

Валерий Семенович Коссов¹, Юрий Алектинович Панин^{2✉}, Алексей Валерьевич Трифонов³, Михаил Александрович Гаврюшин⁴, Андрей Юрьевич Панин⁵

^{1,2,3,4,5} АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия

¹ info@vnikti.com;

² panin-ua@vnikti.com;

³ trifonov-av@vnikti.com;

⁴ gavryushin-ma@vnikti.com;

⁵ panin-au@vnikti.com

Аннотация

В статье представлено обоснование эффективности технологии комбинированной лубрикации рельсов для российских железных дорог. Приведена зависимость коэффициента трения на поверхностях катания головок рельсов от направляющего усилия. В результате проведенных исследований установлено, что применение технологии

комбинированной лубрикации рельсов позволяет снизить боковые силы, которые являются производными от направляющих усилий, на 18 %.

Ключевые слова: лубрификация рельсов, смазочный материал, поверхность, грань, головка, контактная зона.

Ссылка для цитирования:

Коссов В.С. Эффективность комбинированной лубрикации рельсов / В.С. Коссов, Ю.А. Панин, А.В. Трифонов, М.А. Гаврюшин, А.Ю. Панин // Транспортное машиностроение. – 2024. – №12. – С. 50-60. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-50-60.

Original article
Open Access Article

EFFICIENCY OF COMBINED RAIL LUBRICATION

Valery Semenovich Kossov¹, Yury Alektinovich Panin^{2✉}, Aleksey Valeryevich Trifonov³, Mikhail Aleksandrovich Gavryushin⁴, Andrey Yuryevich Panin⁵

^{1,2,3,4,5} Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), Kolomna, Russia

¹ info@vnikti.com;

² panin-ua@vnikti.com;

³ trifonov-av@vnikti.com;

⁴ gavryushin-ma@vnikti.com;

⁵ panin-au@vnikti.com

Abstract

The paper provides grounds for the effectiveness of combined rail lubrication technology for Russian railways. The dependence of the friction factor on the rolling surfaces of the rail heads on the guiding force is shown. As a result of the conducted research, it

is found out that the use of combined rail lubrication technology reduces lateral forces, which are derived from guiding forces, by 18%.

Keywords: lubrication of rails, lubricating material, surface, edge, head, contact zone.

Reference for citing:

Kossov VS, Panin YuA, Trifonov AV, Gavryushin MA, Panin AYU. Efficiency of combined rail lubrication. Transport Engineering. 2024;12: 50-60. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-50-60.

Введение

Технологии лубрикации головок рельсов в кривых участках пути и в прямых достаточно широко распространены в передовых странах Европы, Азии и Америки. Также широко распространена технология лубрикации гребней и поверхностей катания колес локомотивов. Одними из лидеров разработок систем лубрикации и смазочных материалов для них являются такие производители как *KELTRACK* и *Whitmore*. Однако в странах СНГ имеется понимание в эффективности только лубрикации боковой грани головок рельсов в кривых участках пути и, соответственно, гребней колес локомотивов. Проблем с внедрением этих двух технологий лубрикации по сути не возникает. Здесь другие проблемы – качество работы рельсосмазывающей техники, периодичность нанесения смазывающих материалов на головки рельсов и качество лубриканта (смазочного материала). Именно от этих проблем зависит эффективность лубрикации боковых граней головок рельсов в кривых участках пути и гребней колес локомотивов,

которая выражается в снижении интенсивности бокового подреза головок рельсов в кривых участках пути и снижении интенсивности износа гребней колес подвижного состава.

Рассмотрим возможные варианты технологий лубрикации головок рельсов кривых участков пути. На рис. 1 представлены четыре возможных варианта, реализованных в разных странах [1]:

– смазана боковая грань головки наружного рельса – традиционная лубрификация (рис. 1а);

– смазаны поверхности катания головок обоих рельсов – лубрификация *Top of Rail (TOR)* (рис. 1, б);

– смазана боковая грань головки наружного рельса и поверхность катания головки внутреннего рельса в кривой – комбинированная лубрификация (рис. 1, в);

– смазана боковая грань головки наружного рельса и поверхности катания головок обоих рельсов – комплементарная лубрификация (рис. 1, г).

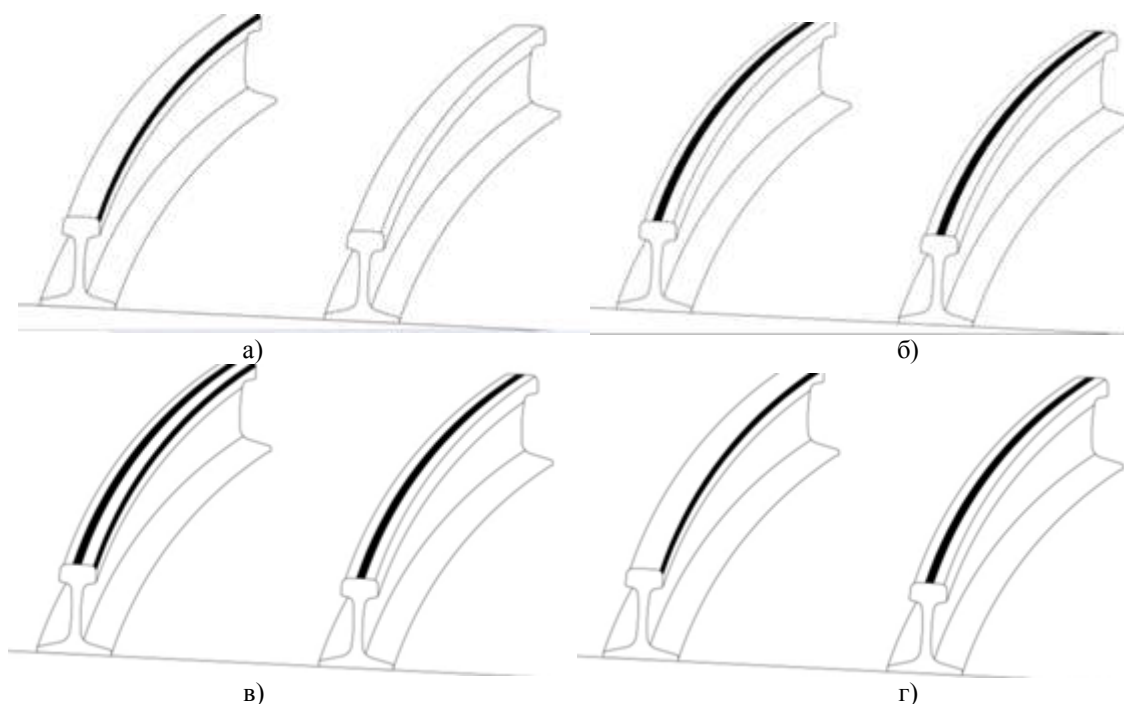


Рис. 1. Технологии лубрикации рельсов: а – традиционная; б – *Top of Rail*; в – комбинированная; г – комплементарная

Fig. 1. Rail lubrication techniques: a – conventional; б – Top of Rail; в – mixed; г – complimentary

Следует, однако, иметь ввиду, что при лубрикации боковой грани рельса или гребня колеса применяется лубрикант –

смазочный материал с низким коэффициентом трения на уровне 0,05...0,25, а для лубрикации поверхностей катания рельса и

колеса применяется модификатор трения – смазочный материал со стабильной трибологической характеристикой на уровне коэффициента трения 0,18...0,25. При этом коэффициент трения на поверхности катания головки рельса на уровне значения 0,18 выбран по условиям реализации силы тяги и торможения [2].

Принципиального различия во взаимодействии в системе «колесо – рельс» при различных способах лубрикации, будь то лубрикация головок рельсов стационарными или передвижными рельсосмазывателями или лубрикация поверхности катания колеса и его гребня гребнесмазывателями, не имеется. Принципиальным является то, в какое место контакта колеса с

рельсом доставлено так называемое «третье тело», т.е. смазочный материал.

АО «ВНИКТИ» проведены многочисленные эксперименты с различными технологиями лубрикации головок рельсов. Получен богатейший материал по их эффективности в части воздействия на путь, которое является прямой причиной износов, как боковой грани головки рельса, так и гребня колеса [1].

На рис. 2 представлены графики зависимости боковой силы Y_{σ} секции тепловоза 2ТЭ116 в кривой радиусом $R = 300$ м в режимах тяги и выбега при различном трибологическом состоянии контактных поверхностей в системе «колесо – рельс».

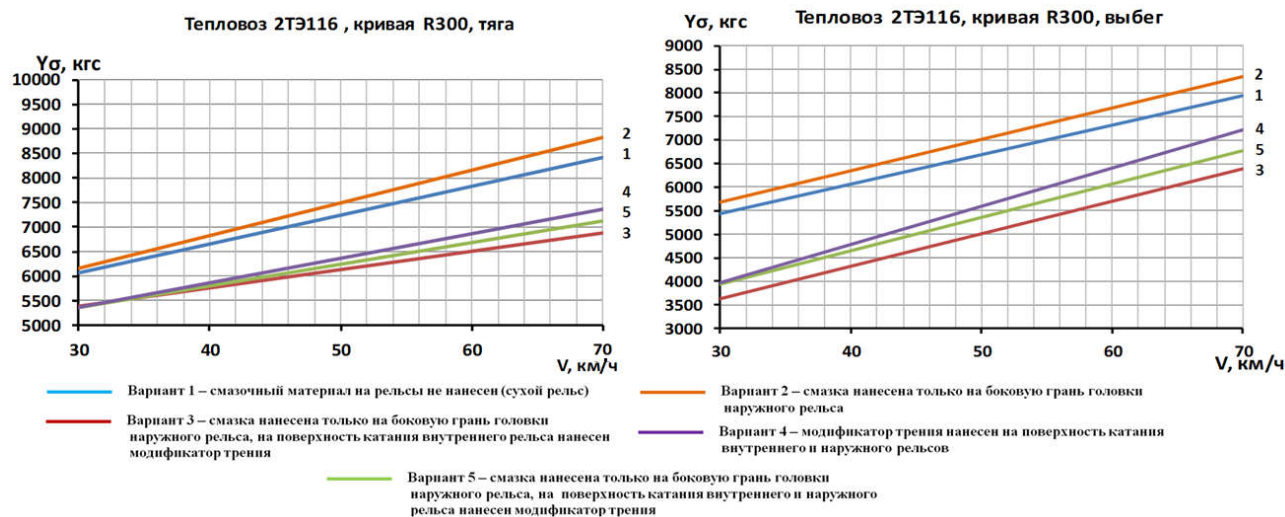


Рис. 2. Зависимость боковых сил от трибологического состояния контактных поверхностей между колесами и рельсами грузового тепловоза 2ТЭ116 в режиме тяги и выбега
 Fig. 2. Dependence of lateral forces on wheel-rail contact tribology for freight diesel locomotive 2TE116 in traction and slowing down modes

Как видно из анализа графиков рис. 2 все технологии лубрикации зон контактов колес с рельсами имеют эффект снижения боковых сил, и только традиционная технология лубрикации по рис. 1, а добавляет до 5 % боковых сил к воздействию тепловоза на путь. В первую очередь это связано, как ни парадоксально, с низким коэф-

фициентом трения на боковой грани головки наружного рельса в кривом участке пути, который затрудняет изменение угла α набегания колеса на рельс в сторону его уменьшения (рис. 3), т.е. не обеспечивает комфортное вписывание тележки в кривую.

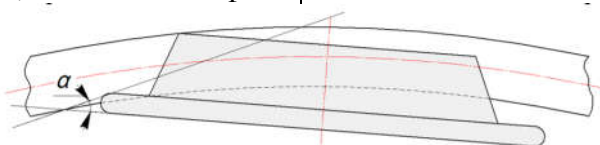


Рис. 3. Демонстрация угла набегания колеса подвижного состава на наружный рельс в кривом участке пути
 Fig. 3. Demonstration of the angle of attack of a railway wheel relative to the high rail in curves

Все остальные варианты технологий лубрикации контактных зон колес с рель-

сами заметно снижают боковые силы, как это представлено в таблице.

Таблица

Результаты испытаний по влиянию трибологического состояния зон контактов колес с рельсами на изменение боковой силы при прохождении кривой радиусом $R300$ м секцией тепловоза 2ТЭ116 в режимах тяги и выбега

Table

Influence of the wheel-rail contact tribology on lateral force variations in R300 curves for diesel locomotive 2TE116 in traction and slowing down modes of operation: test results

Скорость, км/ч	Снижение↓ или добавление↑ боковой силы в процентах от сухих рельсов			
	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
30	↑ до 1,5 / 4,5	↓ до 11,2 / 33,2	↓ до 11,6 / 26,9	↓ до 11,6 / 27,5
70	↑ до 4,8 / 5,1	↓ до 18,3 / 19,5	↓ до 12,5 / 9,1	↓ до 15,4 / 14,7

Примечание. В числителе представлены значения боковых сил в процентах для режима тяги, в знаменателе – для режима выбега

Стоит отметить, что низкий коэффициент трения на боковой грани головки наружного рельса в кривой обеспечивает низкое трение в зоне контакта «гребень колеса – боковая грань головки рельса», поэтому, несмотря на увеличение боковых сил от подвижного состава на наружный рельс, интенсивность износа и гребня, и боковой грани головки рельса все же снижается, при этом воздействие на путевую инфраструктуру повышается.

Комбинированная лубрификация головок рельсов снижает воздействие на путь тягового подвижного состава, как следует из анализа табл. 1, на 19 % на скоростях около 70 км/ч и на 33 % на скоростях около 30 км/ч в режиме выбега, и на 18 % на скоростях около 70 км/ч и на 11 % при скоростях около 30 км/ч в режиме тяги.

Аналогичные результаты по воздействию на путь подвижного состава получены и для груженого, и для порожнего вагонов. Анализ зависимости боковых сил от трибологического состояния зон контактов колес этих вагонов с рельсами показывает, что тренд на увеличение боковых сил при условии применения традиционной лубрикации как у секции тепловоза 2ТЭ116 в режиме выбега и в режиме тяги, так и у груженого и порожнего вагонов сохраняется и составляет около 5 %, комбинированная лубрификация при этом снижает боковое воздействие на путь у груженого вагона на скорости 30 км/ч на 23 % и на скорости 70 км/ч на 14 %, а у порож-

него вагона – на скорости 30 км/ч на 7 % и на скорости 70 км/ч на 22 %.

Испытаниями АО «ВНИКТИ» доказано, что комбинированная лубрификация головок рельсов обеспечивает снижение бокового воздействия на путь подвижным составом в среднем на 18 %.

Зарубежные источники приводят несколько более оптимистичные цифры по влиянию комбинированной лубрикации на снижение воздействия подвижного состава на путь, однако для отечественной колеи и отечественного подвижного состава среднее значение снижения воздействия на путь 18 %, полученная на смазочных материалах (лубрикант и модификатор трения) фирмы *Whitmore* являются более реалистичными, учитывая отличающиеся от зарубежных наши скорости, нагрузки от колеса на рельс и ширину колеи.

Эффект от применения комбинированной лубрикации головок рельсов образовывается за счет того, что при смазывании боковой поверхности наружного рельса значительно снижаются продольные силы трения на гребнях, набегающих на этот рельс колес и одновременно возрастают продольные силы крипа, так как сила тяги в основном реализуется на поверхностях катания колес, поперечные силы крипа при этом изменяются незначительно.

При одновременном смазывании и поверхности катания внутреннего рельса, и боковой грани головки наружного рельса происходит снижение поперечных сил

крипа на набегающей колесной паре и силы трения на гребне набегающего колеса. При этом происходит увеличение продольных сил крипа на колесах, движущихся по наружному рельсу до того момента, когда появляется момент, отворачивающий колесные пары от наружного рельса в кривой, т.е. происходит квазирадиальное вписывание экипажа в кривую, что и обеспечивает минимальное воздействие на путь подвижным составом.

Оценить эффективность лубрикации рельсов и колес тягового подвижного состава возможно по нескольким критериям, к которым относятся:

- снижение расстройств верхнего строения пути в кривых из-за снижения воздействия подвижного состава на путь по причине улучшенного вписывания подвижного состава в кривые;

- снижение интенсивности износа гребней колес и боковой грани головки рельса в кривом участке пути;

- снижение количества дефектов по контактно-усталостным повреждениям по кругу катания у колес тягового подвижно-

го состава и по поверхности катания внутреннего рельса в кривом участке пути;

- снижение топливно-энергетических расходов на тягу поездов;

- снижение максимального уровня внешнего шума от подвижного состава;

- повышение уровня безопасности при прохождении подвижным составом кривых участков пути.

Учитывая отсутствие опыта применения на отечественных железных дорогах технологии комбинированной лубрикации рельсов, можно оперировать только данными зарубежной печати, что не совсем объективно из-за рекламных кампаний производителей лубрикационной техники и смазочных материалов.

Поэтому для оценки эффективности комбинированной лубрикации рельсов в настоящее время возможно ссылаться только на подтвержденные АО «ВНИКТИ» 18 % снижения бокового воздействия на путь, что является базой для вышеперечисленных критериев оценки.

Эффективность комбинированной лубрикации в части снижения расстройств верхнего строения пути в кривых

Установлено, что 18 % снижения бокового воздействия на путь подвижным составом возможно спроецировать на уве-

личение срока службы узлов креплений и расстройств верхнего строения пути в кривых участках пути.

Эффективность комбинированной лубрикации в части снижения износов контактных зон системы «колесо – рельс»

Взаимодействие пути и колес подвижного состава в условиях применения комбинированной лубрикации головок рельсов приводит к тому, что снижаются силы трения в зоне контакта гребня колеса с рельсом, при 18 % снижении сил бокового воздействия колеса на рельс. По данным

зарубежных источников информации снижение расходов на текущее содержание и замену колесных пар и рельсов составляет не менее 25 % [3], а интенсивность износа боковой грани головки наружного рельса при тех же условиях снижается до 31 % [4].

Эффективность комбинированной лубрикации в части снижения количества дефектов по контактно-усталостным повреждениям по кругу катания у колес тягового подвижного состава и по поверхности катания внутреннего рельса в кривом участке пути

Одной из причин, влияющих на срок службы бандажей колес колесных пар локомотивов, является такой дефект бандажа как «выщербины». Всего от общего числа обточек на электровозах по дефекту бандажа «выщербины» в 2022 году совершено

7 % обточек, а у тепловозов – 15 % [5]. Между тем схожая проблема существует и на путевой инфраструктуре. Поверхностные выкрашивания на головках рельсов по поверхностям катания стали все больше

привлекать средства на восстановление рельсов.

Причинами, способствующими развитию контактно-усталостных повреждений (КУП) бандажей локомотивов, являются продольная сила тяги и поперечная составляющая веса подвижного состава, реализовывающиеся в зонах контакта колес колесных пар локомотива с поверхностями катания головок рельса. Каждая из этих сил имеет «двойника» с обратным знаком, направленного в обратную сторону, а именно силу трения: сила трения продольная и сила трения поперечная.

Конечно же, продольная сила тяги и поперечная составляющая веса подвижно-

го состава со своими «двойниками» находятся в прямой зависимости через коэффициент трения. Получается, что КУП находятся в зависимости от коэффициента трения в зонах контактов поверхностей катания головок рельсов и поверхностей катания колес колесных пар подвижного состава.

Результаты исследований, проведенные М. Бурстоу в 2004 году [6], показали, что между контактными напряжениями и коэффициентом трения (коэффициент тангенциальных сил) в зоне контакта колеса с поверхностью катания головки рельса существует определенная зависимость (рис. 4).

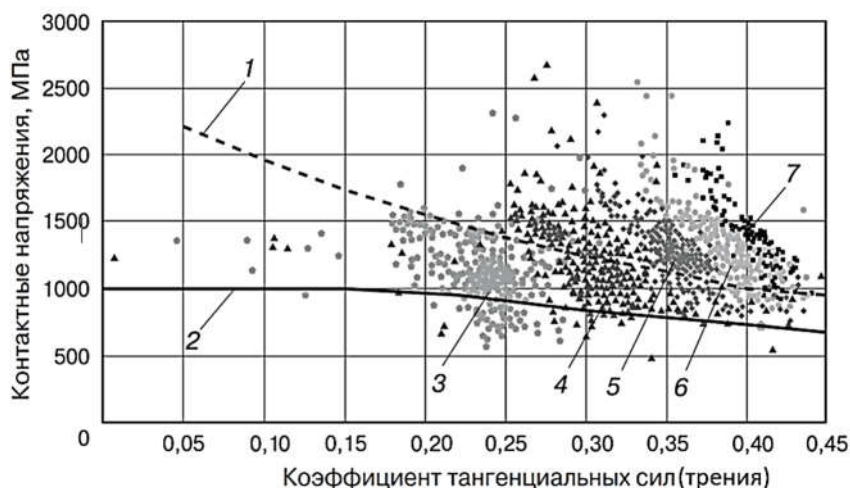


Рис. 4. Области наибольшей вероятности возникновения КУП:

- 1 – граница области пластической приспособляемости;
- 2 – граница области упругой приспособляемости;
- 3 – $15 < T\gamma < 20$; 4 – $30 < T\gamma < 40$; 5 – $50 < T\gamma < 60$; 6 – $70 < T\gamma < 80$;
- 7 – $90 < T\gamma < 100$

Fig. 4. Areas of highest probability of contact fatigue occurrence of contact fatigue damage: 1 – plastic shakedown boundary; 2 – elastic shakedown boundary; 3 – $15 < T\gamma < 20$; 4 – $30 < T\gamma < 40$; 5 – $50 < T\gamma < 60$; 6 – $70 < T\gamma < 80$; 7 – $90 < T\gamma < 100$

Здесь $T\gamma$ – фактор энергии, диссипированной в зоне контакта колеса с поверхностью катания головки рельса, Дж/м.

Согласно источнику [7] в области $T\gamma < 15$ Дж/м нет опасности возникновения КУП, в области от 15 до 65 Дж/м появляется вероятность возникновения КУП, которая возрастает по мере роста фактора энергии $T\gamma$, в области от 65 до 175 Дж/м имеет место и КУП, и изнашивание, а в области более 175 Дж/м имеет место только изнашивание.

М. Бурстоу на основе теории [8] специально выделил 5 градаций $T\gamma$ для того, чтобы выделить области наибольшей вероятности возникновения КУП. Из анализа графиков рис. 4 следует, что при коэффициенте трения в зоне контакта колеса с поверхностью катания головки рельса в диапазоне 0,20...0,25 еще нет условий для образования КУП, а в диапазоне коэффициента трения свыше 0,25 в зонах контакта колеса и рельса образуются КУП.

Согласно проведенным расчетам [2] по условиям реализации силы тяги и торможения коэффициент трения на поверхности катания головки рельса допускается на уровне значения не менее 0,18. Представляется возможным на основе интеграции исследований М. Бурстоу [6] допустить в зонах контакта колес с поверхностью катания головок рельсов – диапазон коэффициента трения от значения 0,18 до значения 0,25, снижающим развитие КУП.

Эффективность комбинированной лубрикации в части снижения топливно-энергетических расходов на тягу поездов

Расходы топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов напрямую связаны с дополнительным сопротивлением движению подвижного состава, которое напрямую зависит от коэффициентов трения в зонах контактов колес с рельсами и, как следствие, зависит от бокового воздействия на путь подвижного состава.

АО «ВНИКТИ» проведены испытания по определению дополнительного удельного сопротивления движению подвижного состава в условиях применения лубрикации рельсов по технологии нанесения смазочных материалов по рис. 1б (технология *TOR*). Эти технологии похожи в том, что смазываются оба рельса. Различия в том, что технология *TOR* намного эффективнее в прямых участках пути в части снижения дополнительного сопротивления движению подвижного состава, а комбинированная лубрификация настолько же эффективна в кривых участках пути.

Эффективность комбинированной лубрикации в части снижения максимального уровня внешнего шума от подвижного состава

Из-за повышенного шума, являющегося сопутствующим фактором производства работ на железнодорожном транспорте, ОАО «РЖД» несет непрофильные расходы, связанные с компенсациями жалоб населения селитебных территорий, прилегающих к железным дорогам. С каждым годом затраты по удовлетворению жалоб населения только увеличиваются.

АО «ВНИКТИ» проводились полигонные испытания по определению технологии лубрикации рельсов, наиболее эф-

Основные проблемы КУП рельсов происходят на внутреннем рельсе кривого участка пути, и у колесных пар, где основная вертикальная нагрузка в кривом участке пути приходится на внутреннее колесо. Поэтому комбинированная лубрификация рельсов является тем средством, которое может снизить до минимума образование КУП рельсов в кривых участках пути и у колес подвижного состава по поверхности катания.

Испытания носили сравнительный характер, т.е. первоначально замеры проходили на рельсах без нанесения, а затем на том же участке и с теми же скоростями с нанесенным на рельсы модификатором трения. Измерения сопротивления движению проводились методом скатывания секции тепловоза 2ТЭ116 по заранее про nivelированному участку с подъемом достаточной протяженности и постоянной крутизны. Опыт повторялся несколько раз при различных начальных скоростях движения, чтобы охватить весь скоростной диапазон.

В результате испытаний выявлено, что снижение дополнительного сопротивления движению на примере секции тепловоза 2ТЭ116 в режиме выбега снизилось на 11 % при скорости 4 км/час, на 5 % при скорости 24 км/час. По данным зарубежной печати [9] расход энергоресурсов на тягу поездов снижается до 7,83 % или по другим данным [10] – 6...12 %.

эффективной в части снижения максимального уровня шума подвижного состава.

Испытания проводились по воздействию на путь тепловоза 2ТЭ116 в условиях применения, в том числе и комбинированной лубрикации рельсов, в режимах тяги и выбега в кривом участке пути $R = 300$ м. В ходе испытаний был записан уровень внешнего шума этого тепловоза до нанесения смазочных материалов на рельсы и после их нанесения в режимах тяги и выбега. При этом было выявлено, что ком-

бинированная лубрикация рельсов в части снижения максимального уровня шума оказалась наиболее эффективной в сравнении с другими технологиями лубрикации и позволила в кривых участках пути для тепловоза типа 2ТЭ116 в режиме тяги снизить уровень внешнего шума на 5 дБА, а на скорости 30 км/ч – на 12,6...15,9 дБА (в зависимости от количества модификатора трения на поверхности катания головки рельса).

В режиме выбега эффект за счет еще более комфортного вписывания экипажа в кривой участок пути еще выше (применение комбинированной лубрикации и отсутствие тяги обеспечивают соответствующий момент сопротивления повороту тележки в кривой).

По данным зарубежной печати снижение максимального уровня шума при применении модификаторов трения составляет до 22,8 % [11].

Эффективность комбинированной лубрикации в части повышения уровня безопасности при прохождении подвижным составом кривых участков пути

На рис. 5 представлены силы взаимодействия набегающего колеса колесной пары подвижного состава на наружный рельс в кривом участке пути. Важным условием безопасности эксплуатации подвижного состава на железнодорожном транспорте является выполнение зависи-

мости $P > P_B$, т.е. вертикальная нагрузка от колеса на рельс всегда должна быть больше, чем проекция нормальной силы воздействия гребня на рельс на вертикальную ось. Иначе возможно перекатывание колеса гребнем через головку рельса.

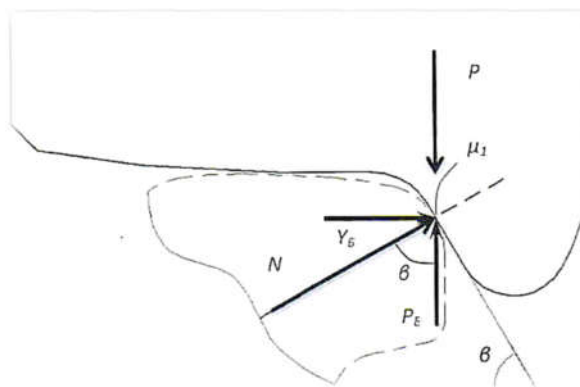


Рис. 5. Расклад сил взаимодействия набегающего колеса колесной пары подвижного состава на наружный рельс в кривом участке пути

Fig. 5. Balance of wheel-rail contact forces with one wheel in a wheel-set climbing over a high rail in curves

Условие безопасности движения подвижного состава в кривом участке пути определяется зависимостью между направляющим усилием Y_B , нагрузкой от колеса на рельс P , углом наклона B гребня колеса и коэффициентом трения μ_1 в зоне контакта гребня колеса с рельсом, обеспечивающую условия вкатывания гребня колеса на поверхность катания головки рельса. Эта зависимость получила наименование «критерий Надаля» или коэффициент запаса устойчивости:

$$\frac{Y_B}{P} > \frac{\tan(\beta) - \mu_1}{1 + \mu \tan(\beta)}. \quad (1)$$

Как видно из приведенной зависимости, снижение коэффициента трения μ_1 в зоне контакта гребня колеса с рельсом приводит к повышению безопасности движения, т.к. обеспечивает дополнительное превышение вертикальной силы над горизонтальной.

Кроме того, направляющее усилие Y_B зависит также от коэффициента трения на поверхностях катания головок рельсов. От гребня, набегающего на рельс колеса, на головку рельса в точке А действует направляющее усилие Y (на рис. 6 показана равная ему, но действующая на гребень реакция со стороны головки рельса).

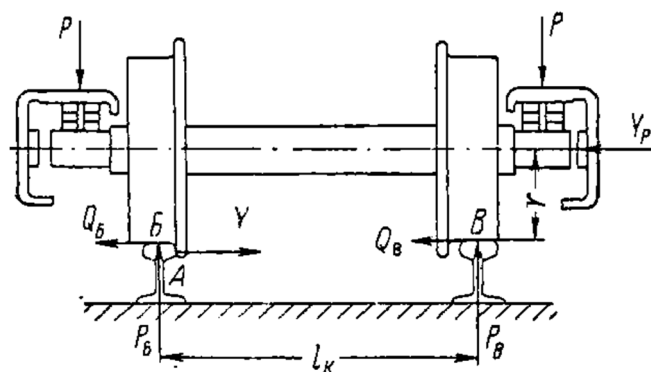


Рис. 6. Схема сил в контактной паре «колесо – рельс» при прохождении подвижным составом кривого участка пути
 Fig. 6. Rolling stock wheel-rail contact force diagram when rounding curves

В точках Б и В, в которых на рельс передаются вертикальные нагрузки, к бандажам приложены поперечные составляющие сил трения $Q_б$ и $Q_в$, величины которых пропорциональны вертикальным нагрузкам от колес на рельсы $P_б$ и $P_в$. Направления сил трения противоположны направлению усилия Y в том случае, когда угол набегания колеса на рельс положителен, т. е. таков, что гребень бандажа в своем движении стремится пересечь головку рельса. Если же гребень в своем движении стремится уйти внутрь колеи, то силы трения $Q_б$ и $Q_в$ будут действовать в ту же сторону, что и направляющее усилие Y .

К торцу оси колесной пары через упорную шайбу, укрепленную в крышке буксы, приложено усилие Y_p , представляющее собой результат действия группы горизонтальных сил через раму тележки на направляющую колесную пару, в связи с чем оно называется рамным давлением:

$$Y_б = Y_p \pm Q_б \pm Q_в = Y_p \pm 2Q. \quad (2)$$

Знак «+» употребляется при положительном знаке угла набегания, а знак «-» – при отрицательном.

Из приведенной зависимости следует, что чем меньше коэффициент трения на поверхностях катания головок рельсов, тем меньше направляющее усилие, что в свою очередь уменьшает значение «критерия Надаля» и повышает безопасность за счет снижения вероятности схода подвижного состава в кривых участках пути.

Полученное снижение боковых сил, производных от направляющего усилия, при применении комбинированной лубрикации рельсов на 18 %, существенно повышает безопасность на железнодорожном транспорте.

Из представленного обоснования эффективности технологии комбинированной лубрикации рельсов следует, что для российских железных дорог, применяющих технологию традиционной лубрикации рельсов, будет намного эффективнее дополнить последнюю применением лубрикации поверхности катания головки внутреннего рельса модификатором трения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коссов В.С. Лубрикации рельсов и воздействие на путь подвижного состава. / В.С. Коссов, Ю.А. Панин, А.В. Трифонов, А.С. Пономарев, А.Ю. Панин // Железнодорожный транспорт. 2022. № 7. С.48-51.
2. Трифонов А.В. Влияние трибологического состояния рельсов на взаимодействие колес подвижного состава и пути: специальность:

- 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Трифонов Алексей Валерьевич; ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта». Москва, 2019. 211 с.
3. La Vie du Rail. 2008. № 3170. P. 4-6.

4. Cregger D.E. Bulletin AREA, 1997. № 760. P. 67-75.
5. Коссов В.С. Как снизить количество обточек бандажей локомотивов из-за выщербин / В.С. Коссов, Ю.А. Панин, А.В. Трифонов, А.С. Пономарев, А.Ю. Панин // Локомотив. 2024. № 2. С.38-40.
6. Burstow M. A whole life rail model application and development for RSSB – continued development of an RCF damage parameter // Rail Standard and Safety Board. London, UK. 2004.
7. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. 510 с.
8. Magel E. Editorial for JRRT ICRI special edition // Proceedings of the Institution of Mechanical

REFERENCES

1. Kossov VS, Panin YuA, Trifonov AV, Ponomarev AS, Panin AYU. Lubrication of rails and impact on the track of rolling stock. Railway Transport. 2022;7:48-51.
2. Trifonov AV. Influence of the tribological state of rails on the interaction of the rolling stock wheels and the track [abstract of dissertation]. [Moscow (RF)]; Russian University of Transport; 2019.
3. La Vie du Rail. 2008;3170:4–6.
4. Cregger DE. Bulletin AREA. 1997;760:67-75.
5. Kossov VS, Panin YuA, Trifonov AV, Ponomarev AS, Panin AYU. How to reduce the number of tire returning of locomotives due to shell treads. Locomotive. 2024;2:38-40.
6. Burstow M. A whole life rail model application and development for RSSB – continued devel-

Информация об авторах:

Коссов Валерий Семенович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, SPIN-код: 3884-6628, AuthorID: 353160, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Панин Юрий Алектинович – кандидат технических наук, заведующий отделом, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Трифонов Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, заместитель заведующего отделом, Акционерное общество «Научно-

- Engineers. Part F // Journal of Rail and Rapid Transit. May 2017. SAGE Publishing. DOI: 10.1177/0954409717710100. 211 с.
9. Эффективность лубрикации рельсов // Железные дороги мира. 2011. №1. С. 65-68.
10. Комплексные результаты лубрикации рельсов в Северной Америке // Железные дороги мира.– 2006.– №1.– С. 74-76.
11. Eadie D.T., Santoro M. Top-of-Rail friction control for curve noise mitigation and corrugation rate reduction/ Presented at 8th International Workshop on Railway Noise, September 2004. Paper Submitted to Journal of Sound and Vibration, August 2005.

- opment of an RCF damage parameter. Rail Standard and Safety Board. London; 2004.
7. Johnson K. Mechanics of contact interaction. Moscow: Mir; 1989.
8. Magel E. Editorial for JRRT ICRI special edition. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. Journal of Rail and Rapid Transit. 2017. DOI: 10.1177/0954409717710100. 211 с.
9. Effectiveness of rail lubrication. ZDMira. 2011;1:65-68.
10. Complex results of rail lubrication in North America. ZDMira. 2006;1:74-76.
11. Eadie DT, Santoro M. Top-of-Rail friction control for curve noise mitigation and corrugation rate reduction. Presented at 8th International Workshop on Railway Noise, September 2004. Journal of Sound and Vibration. 2005.

исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Гаврюшин Михаил Александрович – заведующий лабораторией, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Панин Андрей Юрьевич – инженер I категории, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Kossov Valery Semenovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director; Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; SPIN-code: 3884-6628, AuthorID: 353160; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Panin Yury Alektinovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Trifonov Aleksey Valeryevich – Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Department,

Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Gavryushin Mikhail Aleksandrovich – Head of the laboratory Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Panin Andrey Yuryevich – Engineer, Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 23.10.2024; одобрена после рецензирования 18.11.2024; принята к публикации 27.11.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 23.10.2024; approved after review on 18.11.2024; accepted for publication on 27.11.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.