

УДК 625.14:625.143.482:622.6:539.3:539.4 DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.111>**ИССЛЕДОВАНИЕ БОКОВОГО ИЗНОСА ГОЛОВКИ РЕЛЬСОВ В КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ С ОСОБО МАЛЫМИ РАДИУСАМИ КРИВИЗНЫ****¹Говоруха В.В., ²Макаров Ю.А., ¹Кизилов В.К., ¹Собко Т.П., ¹Семидетная Л.П.**¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Филиал «Центр диагностики железнодорожной инфраструктуры АТ «Укрзалізниця»**ДОСЛІДЖЕННЯ БІЧНОГО ЗНОСУ ГОЛОВКИ РЕЙОК В КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ З ОСОБЛИВО МАЛИМИ РАДІУСАМИ КРИВИЗНИ****¹Говоруха В.В., ²Макаров Ю.А., ¹Кізілов В.К., ¹Собко Т.П., ¹Семидітна Л.П.**¹Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, ²Філія «Центр діагностики залізничної інфраструктури АТ «Укрзалізниця»**STUDY OF SIDE WEAR OF THE RAIL HEAD IN CURVED SECTIONS OF THE TRACK WITH ESPECIALLY SMALL RADII OF CURVATURE****¹Hovorukha V.V., ²Makarov Yu.A., ¹Kizilov V.K., ¹Sobko T.P., ¹Semyditna L.P.**¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²Branch "Center for Diagnostics of Railway Infrastructure of JSC "Ukrzaliznytsia"

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная задача бокового износа головки рельсов от воздействия различных факторов, имеющих место в криволинейных участках рельсового пути с особо малыми радиусами кривизны менее 650 м. Методология работы направлена на определение интенсивности износа боковой части головок рельсов в зависимости от параметров радиуса криволинейных участков рельсового пути, величины грузопотока, веса грузовых поездов, направления движения поездов относительно технологического уклона направления трассы рельсового пути на «подъем» и «спуск». Установлено, что интенсивность бокового износа головок рельсов в кривых радиусом 200 – 400 м составляет 0,6 – 2 мм на 1 млн т брутто, а ресурс работы рельсов снижается до 1 – 1,5 года. Уменьшение веса поезда от 4600 т до 4200 т привело к уменьшению бокового износа для участков пути радиусом до 300 м, 300 – 450 м и более 450 м к уменьшению бокового износа головки рельса соответственно на 17 %, 8,4 %, 2,2 % – на «подъеме», и на 14 %, 20,7 %, 8 % – на «спуске». Установлено, что при увеличении радиуса кривизны пути от 268 м до 325 м интенсивность бокового износа уменьшается в среднем в 1,15 раза, а интенсивность бокового износа головки рельсов на участках рельсового пути на трассе «спуска» в среднем в 1,6 раза меньше, чем при «подъеме». Установлено, что в стыковых соединениях криволинейных участков с малыми радиусами кривизны имеет место накопление остаточных деформаций по перемещению в вертикальной плоскости с интенсивностью 1,158 мм/млн т брутто пропущенного груза, а в горизонтальной плоскости 0,1 мм/млн т брутто пропущенного груза. Установлено, что применение рельсосмазывательных установок обеспечивает снижение бокового износа головок рельсов в среднем в 1,89 раза. До установки рельсосмазывателей интенсивность бокового износа головки рельса составляла 0,189 – 0,207 мм/млн т брутто пропущенного груза, а после установки рельсосмазывателей интенсивность износа составила 0,090 – 0,122 мм/млн т брутто пропущенного груза. Даны рекомендации по снижению интенсивности бокового износа головок рельсов в кривых малых радиусов. Полученные результаты работы предусмотрено применять на железнодорожном и горном рельсовом транспорте.

Ключевые слова: промежуточные рельсовые скрепления, нагруженность, износ, разрушение, ресурс работы.

Увеличение динамической нагруженности при взаимодействии подвижного состава и рельсового пути в криволинейных участках с особо малыми радиусами кривизны менее 650 м и тем более менее 200 м на железнодорожном и промышленном рельсовом транспорте является одной из основных причин роста интенсивности бокового износа головок рельсов, разрушения элементов промежуточных рельсовых скреплений и путевой структуры в целом. При этом, на критических участках пути, имеет место сдвиг рельсошпальной решетки, разрушение железобетонных шпал и угроза безопасности движения поездов.

Поскольку взаимодействие транспортной системы «подвижной состав – рельсовый путь» в паре трения «колесо – рельс» распространяется взаимно и на ходовую часть подвижных единиц, то интенсивному износу подвергаются и гребни колес колесных пар. В результате проявления таких механических процессов значительно уменьшаются сроки службы элементов рельсового пути и ходовой части подвижного состава, а также снижаются показатели безопасности движения поездов на скоростных магистралях и в особо сложных условиях эксплуатации в криволинейных участках пути с особо малыми радиусами кривизны и рельсового пути промышленного рельсового транспорта.

На увеличение ресурса работы рельсов и бандажей колес подвижного состава, разрушаемых в процессе износа в криволинейных участках с малыми радиусами кривизны, направлены работы ряда ученых, а также специалистов путевого, локомотивного, вагонного хозяйства [1–11] и др. В работах известных ученых представлены исследования динамических процессов взаимодействия рельсового пути и подвижного состава, а также наличие и формирование бокового износа рельсов и бандажей колес в прямолинейных и криволинейных участках рельсового пути. Вместе с тем, исследований процесса бокового износа головок рельсов в криволинейных участках особо малых радиусов от воздействия колес ходовой части подвижного состава в эксплуатационных условиях – недостаточно. Снижение расходов на текущее содержание, ремонт и восстановление работоспособности средств рельсового транспорта, а также обеспечение безопасности движения поездов сохраняет актуальность и важность исследований для обеспечения технико-экономических показателей.

Целью данной работы является установление интенсивности износа боковой части головок рельсов в криволинейных участках рельсового пути малых радиусов кривизны в эксплуатационных условиях и определение основных факторов, влияющих на показатели интенсивности износа рельсов, для подготовки рекомендаций по увеличению сроков службы элементов рельсового пути.

Исследование бокового износа головки рельсов выполнено по результатам систематических замеров износа головки рельсов в эксплуатационных условиях в зависимости от величины следующих факторов: радиусов кривизны рельсового пути; величины грузопотока; скорости движения поездов; весовых показателей поездов; характеристик уклонов «спуска» и «подъема» трассы рельсового пути; конструкции промежуточных рельсовых скреплений и типов шпал рельсового пути; качества изготовления рельсов и других факторов.

Измерение параметров износа головки рельса и реборд колес осуществлялось специальным переносным профилометром типа ПРП-1 и штангенциркулем типа ПШВ «Путеец». Точность измерений $\pm 0,1$ мм.

Для измерения профиля колеса использовался профилометр поверхности катания типа ИКП с точностью измерений $\pm 0,01$ мм.

Определение отклонений рельсовой нити в плане и смещение

рельсошпальной решетки в кривых малых радиусов производилось специальным электронным путеизмерителем типа КВЛ-П. В работе использована специальная программа ПО БАС КВЛ-П, позволяющая обрабатывать результаты контроля отклонений в горизонтальной и вертикальной плоскостях рельсового пути с точностью $\pm 0,1$ мм.

Экспериментальные измерения величины износа головки рельсов осуществлялись в звеньевом (стыковом) и бесстыковом пути, устроенном на деревянных и железобетонных шпалах в кривых радиусов от 200 до 650 м. Устройство рельсового пути на деревянных шпалах включало промежуточные скрепления типов [12]: ДО, СКД-65Д, СКД-65Дм, КППД-2 с расширенными металлическими подкладками типов КД-65-У и Д2 с резиновыми прокладками типов ПН, а также железобетонными шпалами с промежуточными скреплениями типа СКД-65Б с резиновыми прокладками типов ПС, ПРБ, ПНБ и КПП5-К с полиуретановыми прокладками типа ПРП-3.2-К.

Исследования выполнялись на участках рельсового пути с особо малыми радиусами кривизны менее 650 м на действующих участках рельсового пути.

В соответствии с целью работы основная методология направлена на определение интенсивности износа боковой части головок рельсов в криволинейных участках пути в эксплуатационных условиях при механическом воздействии подвижного состава в особо сложных технических условиях к которым относятся, прежде всего: малые радиусы кривизны от 200 до 650 м; большие продольные уклоны до 30 ‰ при «подъеме» и «спуске» поездов; большие весовые нормы поездов до 4600 т; качество изготовления рельсов; несовершенство конструкции промежуточных рельсовых скреплений по регулировке величины уширения рельсовой колеи в кривых, а также по прочности и несущей способности основных составных частей, включая упругие подрельсовые прокладки, упругие клеммы, изолирующие упорные вкладыши и др.

В работе приведены исследования рельсового пути в сложных условиях эксплуатации с криволинейными участками радиусов от 200 до 650 м и продольными уклонами трассы рельсового пути на «подъеме» и «спуске» ± 15 –30 ‰ для магистралей III–VII категорий [13]. Эти участки рельсового пути расположены в стесненных горных условиях. Их переоборудование связано с большими финансовыми затратами на строительные-монтажные работы по изменению трассы или строительству затяжных тоннелей, насыпей и других сооружений.

В таких условиях эксплуатации имеет место сложное взаимодействие элементов рельсового пути и ходовой части подвижного состава, которое связано с образованием повышенных боковых (поперечных), вертикальных и продольных усилий, вызывающих интенсивный боковой износ головок рельсов и реборд колес, а также поперечное смещение рельсошпальной решетки, в особенности в стыковых соединениях рельсов. Это характерно для рельсового пути с радиусами кривых от 200 м до 300 м, где до настоящего времени применяется звеньевой стыковой путь из-за отсутствия технической

возможности устройства бесстыкового рельсового пути.

В процессе экспериментальных исследований проводимых на действующих участках рельсового пути установлены основные факторы, влияющие на интенсивность бокового износа головок рельсов, к которым относятся: малые радиусы кривизны, из которых более 70 % имеют место радиусы менее 300 м; большие продольные уклоны трассы до 30 ‰ при «подъеме» и «спуске» поездов; большие весовые характеристики поездов от 4300 т до 5200 т; несовершенство конструкции промежуточных рельсовых скреплений по регулировке уширения колеи в кривых и недостаточная прочность составных частей, включая подрельсовые прокладки, упругие клеммы, упорные изолирующие вкладыши и др.; смещение рельсошпальной решетки в поперечном направлении и просадки в вертикальной плоскости, особенно в стыковых соединениях; типов шпал и др.

Получены результаты исследований интенсивности бокового износа головок рельсов из разных сталей при различных типах шпал и промежуточных скреплений.

Анализ результатов исследований интенсивности износа рельсов, изготовленных из конверторной стали, показывает, что в криволинейных участках с радиусами кривых до 300 м средняя интенсивность бокового износа составляет: для скреплений типа ДО с костыльными прикрепителями – 0,182 мм/млн т брутто; для скреплений типов Д-2, КППД-2, СКД-65Д на деревянных шпалах – 0,255 мм/млн т брутто; для скреплений типа СКД-65Б на железобетонных шпалах – 0,408 мм/млн т брутто; для скреплений типов КПП-5 и КПП-5К на железобетонных шпалах – 0,394 мм/млн т брутто.

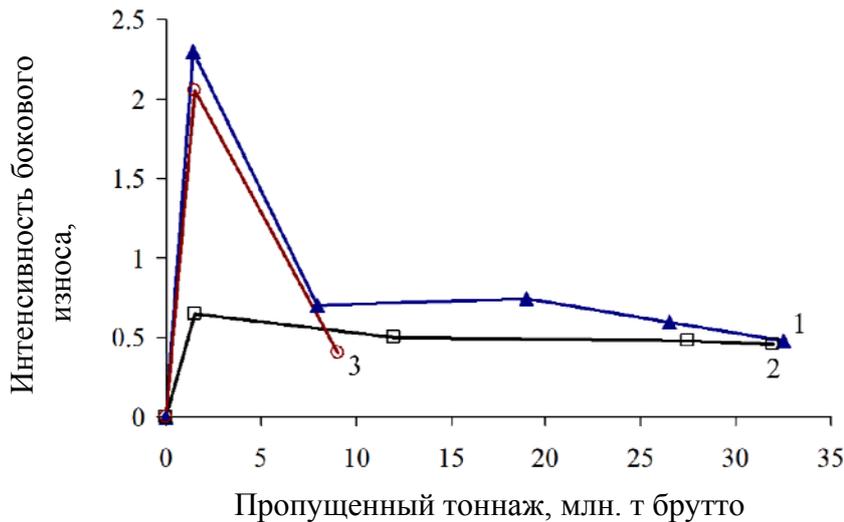
Получены результаты экспериментальных исследований интенсивности бокового износа головок рельсов для криволинейных участков рельсового пути с радиусами от 200 до 650 м, при воздействии грузовых поездов весом 4600 т и 4200 т при средней скорости их движения соответственно до 27,3 км/ч и 41,1 км/ч. При этом с уменьшением веса поезда скорость движения увеличилась в 1,5 раза.

Установлено, что интенсивность бокового износа головок рельсов, при уменьшении веса поездов от 4600 т до 4200 т уменьшается на 17 % при «подъеме» поездов и на 14 % при «спуске» поездов для криволинейных участков с радиусом до 300 м. Для криволинейных участков с радиусами кривых 300,0 – 450 м интенсивность износа уменьшается соответственно на «подъеме» на 8,4 %, а на «спуске» на 20,7 %. Для криволинейных участков с радиусом кривых 450 м и более интенсивность износа уменьшается на «подъеме» – на 2,2 %, а на «спуске» – на 8 %.

Из экспериментальных исследований интенсивности бокового износа головок рельсов, изготовленных из мартеновской стали (М) и конверторной стали (КФ), применительно к участкам рельсового пути с радиусом кривых от 200 до 650 м, при различной величине уклонов «спусков» или «подъемов» трассы магистрали от 10 ‰ до 20 ‰ и более получено, что в криволинейных участках пути с радиусами кривых до 300 м показатели по износостойкости

рельсов, изготовленных из маргеновской стали, имели лучшие показатели износостойкости для рельсов, изготовленных из конверторной стали. Установлено, что при продольных уклонах рельсового пути до 10 ‰, 10–20 ‰ и более 20 ‰ маргеновская сталь имела лучшие показатели соответственно в 1,4 раза, 1,47 раза и в 1,39 раза и составляют соответственно: 0,214 мм/млн т брутто, 0,289 мм/млн т брутто и 0,293 мм/млн т брутто.

На рис. 1 приведены сравнительные показатели износостойкости боковой части головок рельсов с различными видами закалки производства ПАО «МК» АЗОВСТАЛЬ» в 2017 – 2018 годы.



1 – КФ 2017 збг т (закалка по поверхности катания и боковой грани головки рельса повышенной твердости); 2 – КФ 2017 збг (закалка по поверхности катания и по боковой грани головки рельса); 3 – КФ 2018 зпк (закалка по поверхности катания рельса)

Рисунок 1 – Зависимость интенсивности бокового износа головки рельса от способа закалки рельсовой стали

Для получения сравнительных показателей бокового износа головок рельсов уложены экспериментальные участки на перегоне Лавочное-Бескид регионального филиала «Львівська залізниця» АТ «Українська залізниця» по нечетному пути в кривой радиусом 274 м, с продольным уклоном 30,8 ‰ и «подъемом». Рельсовый путь устроен из скрепления типа СКД-65Б с регулировкой ширины колеи. В одной кривой последовательно уложены три группы рельсов. В первой группе уложены конверторные рельсы изготовления способом КФ выпуска 2017 года с закалкой по поверхности катания и по боковой грани головки рельса (КФ 2017 збг – линия 2, рис. 1). В следующем (второй) группе рельсов этой кривой уложены конверторные рельсы изготовления способом КФ 2017 года выпуска закаленные по поверхности катания головки рельса и боковой грани головки рельса повышенной твердости (КФ 2017 збг т – линия 1, рис. 1). В третьей группе уложены конверторные рельсы изготовления способом КФ выпуска 2018 года, закаленные по поверхности катания (КФ 2018 зпк – линия 3, рис. 1).

На рис. 1, показаны сравнительные показатели интенсивности бокового

износа головки рельса в опытной кривой радиусом 274 м для рельсов трех способов изготовления КФ 2017 збг т, КФ 2017 збг и КФ 2018 зпк. Из графика видно, что на начальной стадии эксплуатации при взаимодействии колесной пары и рельсового пути интенсивность бокового износа находится от 0,633 мм/млн т брутто до 2,24 мм/ млн т брутто пропущенного груза. Данное состояние связано со снятием на рельсах безуглеродного слоя. В дальнейшем периоде исследований, интенсивность бокового износа находилась в пределах 0,442 – 0,486 мм/млн т брутто пропущенного груза. После пропуска 30 млн т брутто груза интенсивность износа рельсов изготовления способом КФ 2017 збг т и КФ 2017 збг практически одинакова.

Для уменьшения интенсивности бокового износа рельсов в криволинейных участках с малыми радиусами кривизны от 200 м до 450 м на железобетонных шпалах, а также продления сроков службы промежуточных рельсовых скреплений и других элементов верхнего строения пути применяются промежуточные скрепления типов СКД-65Б и КПП-5К, которые обеспечивают регулировку ширины колеи от 1520 до 1534 мм с интервалом изменения ширины колеи в 1 мм и 2 мм. При этом скрепление типа СКД-65Б может обеспечивать регулировку ширины колеи в кривых на сужение от 1 до 28 мм для компенсации бокового износа головки рельса в кривых до момента изъятия рельсов из пути по предельному боковому износу.

Недостатком промежуточного скрепления типа СКД-65Б является наличие большого количества составных деталей, высокая металлоемкость, наличие смятия и выдавливания вставных пластин, регулирующих ширину колеи.

Более совершенным, для применения в криволинейных участках на железобетонных шпалах с малыми радиусами кривизны от 200 м до 900 м, является анкерное промежуточное скрепление типа КПП-5К. Это скрепление позволяет обеспечивать регулировку уширения колеи до +14 мм (до 1534 мм) без дополнительной комплектации за счет переустановки прямоугольных втулок с различными толщинами стенок. Это скрепление имеет меньшее количество деталей и меньшую металлоемкость по сравнению со скреплением типа СКД-65Б. Недостатком скрепления является наличие трещинообразования в прямолинейных регулирующих втулках при эксплуатации в стыковых соединениях рельсов и повышенных поперечных нагрузках в кривых малых радиусов. При этом интенсивность бокового износа головок рельсов на участках пути с железобетонными шпалами с применением промежуточных рельсовых скреплений типов КПП-5К превышает показатели интенсивности износа рельсов на пути с деревянными шпалами.

В настоящее время в институте геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины ведутся научно-технические разработки по созданию нового универсального анкерного промежуточного рельсового скрепления типа АПРС-1, которое предназначено для криволинейных участков рельсового пути с радиусами 200 – 650 м магистральных железных дорог и промышленного рельсового транспорта. Регулировка ширины колеи обеспечивается в пределах ± 20 мм с интервалами 1 мм или 2 мм. Особенностью скрепления является

неизменность положения носика клеммы относительно концевой части подошвы рельса при выполнении регулировки ширины колеи, а следовательно и при смещении оси рельса относительно базовой поверхности шпалы, а также положения анкеров или упоров для подкладки в подрельсовом углублении в шпале. Такое анкерное промежуточное рельсовое скрепление предусматривает значительное увеличение прочности и износостойкости рельсового пути как для криволинейных участков пути с малыми радиусами кривизны, так и применительно к магистральным участкам для скоростного движения поездов до 250-300 км/ч и имеет увеличенный ресурс работы до 1,2 млрд т брутто пропущенного груза. Исследование работоспособности новых скреплений типа АПРС-1 находится на стадии изготовления опытных образцов.

Исследования рельсового пути по накоплению остаточных деформаций в горизонтальных и вертикальных неровностях в зоне стыковых соединений рельсов в криволинейных участках выполнялось с помощью путеизмерителя типа КВЛ-П. Для обработки результатов измерений использована специальная программа ПО БАС КВЛ-П с точностью работы $\pm 0,1$ мм.

По результатам исследований установлено, что в зоне стыка исследуемого криволинейного участка накапливаются остаточные деформации, которые нарастают с увеличением пропущенного грузопотока. Так, при пропускном тоннаже 19,6 млн т брутто величина остаточных деформаций в вертикальной плоскости составила – 5,01 мм, при пропускном тоннаже 26,03 млн т брутто величина остаточных деформаций составила – 6,62 мм, а при пропускном тоннаже 30,06 млн т брутто эта величина составила 6,77 мм. В горизонтальной плоскости при пропущенном тоннаже – 19,6, 26,03 и 30,6 млн т брутто величина остаточных деформаций составила соответственно -1,14, -1,37, и -2,16 мм. Интенсивность накопления остаточных деформаций в вертикальной плоскости составила 1,158 мм/млн т брутто пропущенного груза, а в горизонтальной плоскости – 0,1 мм/млн т брутто пропущенного груза.

Для уменьшения интенсивности бокового износа головки рельса в настоящее время нашли применение различные методы рельсосмазывания. Установлено, что на криволинейных участках радиусами 460 м, 410 м, 350 м до монтажа рельсосмазывателей интенсивность бокового износа составляла 0,189–0,207 мм/млн т брутто пропущенного тоннажа, а после установки рельсосмазывателей в течение 4-х лет эксплуатации интенсивность бокового износа головки рельса составила 0,090 – 0,122 мм/млн т брутто пропущенного тоннажа. При этом интенсивность бокового износа головки рельса уменьшилась в 1,89 раз.

Выводы.

1. На основе экспериментальных исследований рельсового пути в действующих криволинейных участках малых радиусов кривизны установлены показатели интенсивности износа боковой части головки рельсов. Для рельсового пути на деревянных шпалах с радиусами до 300 м износ составляет 0,182 – 0,25 мм/млн т брутто, а на железобетонных шпалах 0,394 – 0,408 мм/млн т брутто. Установлено, что на железобетонных шпалах интенсивность

износа рельсов в 1,5 раза выше, чем на деревянных шпалах. Выявлено, что применение промежуточных скреплений на железобетонных шпалах с регулировкой ширины колеи (типов СКД-65Б и КПП-5К) обеспечивает улучшение показателей износостойкости боковой части головок рельсов по сравнению со скреплением, не имеющим регулировки ширины колеи в кривой (типа КБ-65 и КПП-5) в 1,15 – 1,3 раза.

2. Установлено, что рельсы, изготовленные мартеновским способом при продольных уклонах рельсового пути до 10 ‰, 10 – 20 ‰ и более 20 ‰ имеют в 1,4 – 1,47 раза лучшие показатели по сравнению с рельсами из конверторной стали.

3. Выявлено, что уменьшение веса поездов от 4600 – 5200 т до 4200 т приводит к уменьшению бокового износа головок рельсов на 2,2 – 20,7 % в зависимости от радиуса кривизны рельсового пути и направления трассы движения на «подъем» или на «спуск».

4. Установлено, что при увеличении радиуса кривизны пути от 268 м до 325 м интенсивность бокового износа уменьшается в среднем в 1,15 раза, а интенсивность бокового износа головки рельсов на участках рельсового пути на трассе «спуска» в среднем в 1,6 раза меньше, чем при «подъеме».

5. Установлено, что в стыковых соединениях криволинейных участков с малыми радиусами кривизны имеет место накопление остаточных деформаций по перемещению в вертикальной плоскости с интенсивностью 1,158 мм/млн т брутто пропущенного груза, а в горизонтальной плоскости 0,1 мм/млн т брутто пропущенного груза.

6. Установлено, что применение рельсосмазывательных установок обеспечивает снижение бокового износа головок рельсов в среднем в 1,89 раза. До установки рельсосмазывателей интенсивность бокового износа головки рельса составляла 0,189 – 0,207 мм/млн т брутто пропущенного груза, а после установки рельсосмазывателей интенсивность износа составила 0,090 – 0,122 мм/млн т брутто пропущенного груза.

7. Для улучшения показателей работоспособности рельсового пути по критериям ресурса работы в институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины ведутся научно технические разработки по созданию нового универсального промежуточного рельсового скрепления типа АПРС-1 с регулировкой ширины колеи в пределах 1520 – 1540 мм для криволинейных участков малых радиусов кривизны 200 – 650 м и для магистральных железных дорог при скоростях движения поездов до 250 – 300 км/час и с увеличенным ресурсом до 1,2 млрд т брутто пропущенного груза, а также и промышленного рельсового транспорта горнодобывающих предприятий с малыми радиусами кривизны на карьерах в интервале радиусов 70-600 м подземного рельсового транспорта с радиусами в интервале 10-50 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысюк В.С., Лукьянов А.В., Цюренко В. Н. и др. Уменьшение бокового износа рельсов и гребней колес – В кн.: Управление надежностью железнодорожного пути. М.: Транспорт, 1991. С. 58-69.
2. Лысюк В.С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблема износа колес и рельсов. Москва: Транспорт, 1997. 188 с.
3. Рибкін В.В., Настечик М.П., Арбузов М.А. и др. Дослідження впливу параметрів улаштування колії на інтенсивність бічного зношення головки рейки в кривих ділянках // Збірник наукових праць. Донецьк, 2013. № 34. С. 155-162.
4. Булат А.Ф., Говоруха В.В., Волошин А.И. Уменьшение интенсивности бокового износа взаимодействующих

элементов рельсового пути и ходовой части подвижных единиц при значительном снижении коэффициента трения на контактных поверхностях // «Проблемы механики железнодорожного транспорта»: Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава и энергосбережение. XIV Международная конференция. Тезисы докладов. Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2016. С. 30-31.

5. Карпущенко Н. И., Осташко И.А. Параметры колеи и износ рельсов // Путь и путевое хозяйство. 1996. № 8. С. 6-7.

6. Говоруха В.В., Макаров Ю.А. Повышение ресурса работы рельсового транспорта за счет уменьшения интенсивности бокового износа рельсов в кривых малых радиусов и стрелочных переводах // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: Збірник наукових праць за результатами роботи IV міжнародної науково-технічної конференції 24 листопада 2017 р. Кривий Ріг. Вид. Р.А.Козлов, 2017. С. 63-64.

7. Дегтярева Л.Н., Осенин Ю.И, Мямлин С.В. Математическое описание силового взаимодействия колес и рельсов // Вестник ДИИТ. Днепропетровск: ДИИТ им. акад. В. Лазаряна, 2009. № 29. С. 89-95.

8. Говоруха В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений: монография. Днепропетровск: Изд-во Лира ЛТД, 2005. 388 с.

9. Лысюк В.С., Семенов В.Т., Ермаков В.М., Зверев Н.В., Башкатова Л.В. Управление надежностью безстыкового пути. М.: Транспорт, 1999, 373 с.

10. Блохин Е. П., Пасинько А.Н., Лашко А.Д. К проблеме износа колес и рельсов // Залізничний транспорт України. 2001. № 1. С. 2-6.

11. Жаров И. А., Захаров С.М. Влияние различных факторов на боковой износ рельсов через углы набегания и боковые швы при движении тележки в кривой // Вестник ДИИТ. 1999. № 5. С. 3-8.

12. ЦП-0272. Технічні вказівки з правил вхідного контролю приймання матеріалів верхньої будови колії ВНДУЗ 32.205.001-2012 ЦП: затверджено Наказом Укрзалізниці від 30.03.2012 № 108-Ц / Державна адміністрація залізничного транспорту України «Укрзалізниця». Державне підприємство «Науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства Укрзалізниці» Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. 411 с.

13. ДБН В.2.3-19:2018. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування. Чинні від 2019-04-01. Видання офіційнМінрегіон України. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. 126 с.

REFERENCES

1. Lysyuk, V.S., Lukyanov, A.V., Tsyurenko, V.N. [et al.] (1991), "Diminishment of lateral wear of rails and combs of wheels", in *Upravlenie nadezhnostyu zheleznodorozhnogo puti* [Control by reliability of railroad way], Transport, Moscow, SU, pp. 58-69.

2. Lysyuk, V.S. (1997). *Prichiny i mekhanizm skhoda koleasa s relsa. Problema iznosa koleas i relsov* [Reasons and mechanism of tails of wheel from a rail. Problem of wear of wheels and rails], Transport, Moscow, RU.

3. Rybkin, V.V., Nastechyk, M.P., Arbuzov, M.A. [et al.] (2013), "Research of influencing of parameters of arrangement of track on intensity of lateral wear of head of rail in the crooked areas", *Zbirnyk naukovykh prats*, Donetsk, no. 34, 155-162.

4. Bulat, A.F., Govorukha, V.V. and Voloshin, A.I. (2016), "Diminishment of intensity of lateral wear of interactive elements of rail way and working part of mobile units at the considerable decline of coefficient of friction on contact surfaces", *XIV Mezhdunarodnaya konferentsiya "Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta: bezopasnost dvizheniya, dinamika, prochnost podvizhnogo transporta i energosberezeniye". Tezisy dokladov* [XIV International Conference "Problems of Railway Transport: Traffic Safety, Dynamics, Rolling Stock Strength and Energy Saving". Theses of lectures], Dnipro, UA, pp. 30-31.

5. Karpushchenko, N.I. and Ostashko, I.A. (1996), «Parameters of track and wear of rails», *Put i putevoe khozyaystvo*, no. 8, pp. 6-7.

6. Hovorukha, V.V. and Makarov, Yu.A. (2017), "Increase of resource of work of rail transport for the set of diminishment of intensity of lateral wear of rails in the crooked small radiuses and pointer translations", *Zbirnyk naukovykh prats za rezultaty roboty IV Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii* [Collection of scientific proceedings of a result of work of the IV international scientific and technical conference], *Suchasni tekhnologii rozrobky rudnykh rodovyshch. Ekologo-ekonomichni naslidky diyalnosti pidpryemstv GМК* [Modern technologies of exploitation of ore deposits. Ecological and economical consequences of activity of the MM enterprises], Kryvyi Rih, UA, pp. 63-64

7. Degtyareva, L.N., Osenin, Yu.I. and Myamlin, S.V. (2009), "Mathematical description of power co-operation of wheels and rails", *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, no. 29, pp. 89-95.

8. Govorukha, V.V. (2005). *Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya uprugikh elementov promezhutochnykh relsovykh skreplenyi* [Mechanics of deformation and destruction of resilient elements of the intermediate rail clamping: monograph], Lira LTD, Dnepropetrovsk, UA.

9. Lysyuk, V.S., Semenov, V.T., Ermakov, V.M., Zverev, N.B. and Bashkatova, L.V. (1999), *Upravlenie nadezhnostyu bezstykovogo puti* [Control by reliability of nonjoint way], Transport, Moscow, RU.

10. Blokhin, E.P., Pasinko, A.N. and Lyashko, A.D. (2001), "To the problem of wear of wheels and rails", *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, no. 1, pp. 2-6.

11. Zharov, I.A. and Zakharov, S.M. (1999), "Influence of different factors on the lateral wear of rails through the corners of appearing suddenly and lateral stitches at motion of light cart in a curve", *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, no. 5, pp. 3-8/

12. State administration of railway transport of Ukraine is «Ukrzaliznytsya». A state enterprise is the «scientifically-designer technological bureau of travel economy of «Ukrzaliznytsya» (2012), *Tekhnichni vказivky z pravyl vkhidnoho kontroliu pryimannia materialiv verkhnoi budovy kolii VNDUZ 32.205.001-2012 TsP* [TsP-0272. Technical pointing from the rules of entrance control of acceptance of materials of top structure of the VNDUZ 32.205.001-2012 TsP track], TOV "NVP Polihrafservis", Kyiv, UA.

13. ДБН В.2.3-19 *Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm. Normy proektuvannia* [SCN C.2.3-19:2018. State build norms of Ukraine. Buildings of transport. Railways of track 1520 mm. Norms of planning], DP "Ukrarkhбудінформ", Kyiv, UA.

Об авторах

Говоруха Владимир Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией проблем рельсового транспорта отдела геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, igtm.rail.trans@gmail.com.

Макаров Юрий Александрович, магистр, аспирант без отрыва от производства, лаборатория проблем рельсового транспорта отдела геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), начальник путеосследовательской станции №1 филиала «Центр диагностики железнодорожной инфраструктуры АТ «Укрзалізниця» (ПС-1 ЦДЗІ), Днепр, Украина, yu.makarov@dp.uz.gov.ua.

Кизилов Валентин Константинович, магистр, главный технолог лаборатории Проблем рельсового транспорта отдела физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtm.rail.trans@gmail.com.

Собко Тамара Петровна, магистр, главный конструктор лаборатории Проблем рельсового транспорта отдела физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtm.rail.trans@gmail.com

Семидетная Людмила Павловна, магистр, ведущий инженер лаборатории Проблем рельсового транспорта отдела физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtm.rail.trans@gmail.com.

About the authors

Hovorukha Volodymyr Vasylovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Head of Laboratory of Mine Railway Transport in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS OF UKRAINE), Dnipro, Ukraine, igtm.rail.trans@gmail.com.

Makarov Yurii Oleksandrovych, Master of Science, Doctoral Student, on-the-job, laboratory of Mine Railway Transport in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS OF UKRAINE), head of the Pioneering Station No. 1 of the branch "Center for Diagnostics of Railway Infrastructure of JSC "Ukrzaliznytsia" (PS-1 CDRI), Dnipro, Ukraine, yu.makarov@dp.uz.gov.ua.

Kyzyliv Valentyn Kostyantynovych, master of Science, Chief Technologist of the Laboratory of Mine Railway Transport in the Department of Mining Transport Physics and Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS OF UKRAINE), Dnipro, Ukraine, igtm.rail.trans@gmail.com.

Sobko Tamara Petrivna, master of Science, Chief Designer of the Laboratory of Mine Railway Transport in the Department of Mining Transport Physics and Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS OF UKRAINE), Dnipro, Ukraine, igtm.rail.trans@gmail.com

Semyditna Liudmyla Pavlivna, master of Science, Leading Engineer of the Laboratory of Mine Railway Transport in the Department of Mining Transport Physics and Mechanics, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS OF UKRAINE), Dnipro, Ukraine, igtm.rail.trans@gmail.com.

Анотація. У статті розглянута актуальна задача бічного зносу головки рейок від впливу різних чинників, що мають місце в криволінійних ділянках рейкової колії з особливо малими радіусами кривизни менш 650 м. Методологія роботи спрямована на визначення інтенсивності зносу бічної частини головок рейок в залежності від параметрів радіусу криволінійних ділянок рейкової колії, величини вантажопотоку, ваги вантажних потягів, напрямку руху потягів щодо технологічного ухилу напрямку траси рейкової колії на «підйом» і «спуск». Встановлено, що інтенсивність бічного зносу головок рейок в кривих радіусом 200 - 400 м становить 0,6 - 2 мм на 1 млн т бруutto, а ресурс роботи рейок знижується до 1 - 1,5 року. Зменшення ваги потягу від 4600 т до 4200 т призвело до зменшення бічного зносу для ділянок колії радіусом до 300 м, 300 - 450 м і більше 450 м до зменшення бічного зносу головки рейки відповідно на 17%, 8,4%, 2,2% - на «підйомі», і на 14%, 20,7%, 8% - на «спуску». Встановлено, що при збільшенні радіуса кривизни колії від 268 м до 325 м інтенсивність бічного зносу зменшується в середньому в 1,15 рази, а інтенсивність бічного зносу головки рейок на ділянках колії на трасі «спуску» в середньому в 1,6 рази менше, ніж при «підйомі». Встановлено, що в стикових з'єднаннях криволінійних ділянок з малими радіусами кривизни має місце накопичення залишкових деформацій по переміщенню у вертикальній площині з інтенсивністю 1,158 мм / млн т бруutto пропущеного вантажу, а в горизонтальній площині 0,1 мм / млн т бруutto пропущеного вантажу. Встановлено, що застосування рейкозмашувальних пристроїв забезпечує зниження бічного зносу головок рейок в середньому в 1,89 рази. До установки рейкозмашувачів інтенсивність бічного зносу головки рейки становила 0,189 - 0,207 мм / млн т бруutto пропущеного вантажу, а після установки рейкозмашувачів інтенсивність зносу склала 0,090 - 0,122 мм / млн т бруutto пропущеного вантажу. Дано рекомендації щодо зниження інтенсивності бічного зносу головок рейок в кривих малих радіусів. Отримані результати роботи передбачено застосовувати на залізничному і гірничому

рейковому транспорту.

Ключові слова: проміжні рейкові скріплення, навантаженість, знос, руйнування, ресурс роботи.

Annotation. In the article, the authors consider actual problem of the rail head side wear caused by various factors occurred in curved sections of the rail track with especially small radii of curvature (less than 650 m). The methodology of the study is aimed at the determination of wear intensity of the side part of rail heads. It is established that the intensity of rail heads side wear in curves with a radius of 200 – 400 m is 0.6 – 2.0 mm per 1.0 million tons (gross weight), and the service life of rails is reduced to 1.0 – 1.5 years. Decrease in train weight from 4600 tons to 4200 tons led to the decrease in side wear of the rail head for track sections with a radius of up to 300 m, 300 – 450 m and more than 450 m, respectively, by 17 %, 8.4 %, 2.2 % – on the "upward travel", and by 14 %, 20.7 %, 8 % – on the "downward travel". It was established that with the increase in the radius of curvature of the track from 268 m to 325 m, intensity of side wear is reduced by 1.15 times on average, and intensity of side wear of the rail head in sections of the rail track on the "downward travel" is on average by 1.6 times less than during the "upward travel". It is established that in the butt joints of curved sections with small radii of curvature, there is an accumulation of residual deformations due to movement in the vertical plane with the intensity of 1.158 mm/million tons (gross weight) of transported cargo, and in the horizontal plane with the intensity of 0.1 mm/million tons (gross weight) of transported cargo. It is further established that the use of rail lubrication units provides decrease in side wear of rail heads by 1.89 times on average. Before the installation of rail lubricators, intensity of side wear of the rail head was 0.189 – 0.207 mm/million tons (gross weight) of transported cargo, and after the installation of rail lubricators, the wear intensity has become 0.090 – 0.122 mm/million tons (gross weight) of transported cargo. Recommendations on reducing the intensity of side wear of rail heads in curves of small radii are given. Obtained results of the study are intended to be applied on the railway and mountain rail transport.

Keywords: intermediate rail fastenings, loading, wear, destruction, resource of work.

Стаття надійшла до редакції 21.10. 2019

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.П. Надутим