

УДК 531.43/46.004.624:625.143+629.024

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ МАЛЫХ РАДИУСОВ

<sup>1</sup>Говоруха В.В., <sup>1</sup>Макаров Ю.А., <sup>1</sup>Семидетная Л.П.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

## ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І СТІЙКОСТІ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНОК МАЛИХ РАДІУСІВ

<sup>1</sup>Говоруха В.В., <sup>1</sup>Макаров Ю.О., <sup>1</sup>Семидітна Л.П.

<sup>1</sup>Институт геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України

## INCREASE IN WEAR RESISTANCE AND STABILITY OF A RAIL TRACK OF SMALL-DIAMETER CURVILINEAR SECTIONS

<sup>1</sup>Govorukha V.V., <sup>1</sup>Makarov Yu.A. <sup>1</sup>Semidetnaia L.P.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine

**Аннотация.** В статье изложен анализ ресурса работы элементов рельсового пути по критериям бокового износа головок рельсов в эксплуатационных условиях с учетом особенностей работы в криволинейных участках малых радиусов. Рассмотрены факторы, влияющие на сверхнормативный боковой износ рельсов на участках со сложными условиями эксплуатации. Целью данной работы является повышение ресурса работы рельсового пути посредством уменьшения бокового износа рельсов и повышение устойчивости рельсового пути в сложных условиях эксплуатации. Показано, что средства рельсового пути и его элементов подвергаются интенсивному износу и разрушению при больших поперечных нагрузках особенно в криволинейных участках пути с малыми участками кривизны. Исследовано влияние величины радиусов кривизны рельсового пути на формирование интенсивности износа и образование смещений рельсошпальной решетки рельсов. Определены основные факторы, влияющие на интенсивность износа рельсов и устойчивость верхнего строения пути в сложных условиях эксплуатации, к которым относятся устройства рельсового пути с кривыми малых радиусов от 200,0 м до 650,0 м, большие продольные уклоны трассы до 30,0 ‰ для «подъема» и «спуска» поездов, большие весовые нормы поездов до 4600 т; качество изготовления рельсов; несовершенство и недостатки конструкции промежуточных скреплений по показателям регулировки ширины рельсовой колеи и прочности основных частей. Интенсивность бокового износа рельсов при уменьшении веса поездов от 4600 т до 4200,0 т уменьшена на 17 % при «подъеме» поездов и на 14 % при «спуске» поездов в криволинейных участках радиусом до 300,0 м, а для криволинейных участков с радиусами кривых 300,0–450,0 м уменьшена на «подъеме» на 8,4 %, а на «спуске» на 20,7 %. На криволинейных участках с радиусами кривых 450,0 м и более интенсивность бокового износа уменьшилась на «подъеме» на 2,2 %, а на «спуске» – на 8,0 %. Даны предложения по снижению интенсивности бокового износа и продлению ресурса работы рельсового пути, а также улучшению устойчивости рельсошпальной решетки в криволинейных участках малых радиусов кривизны, особенно при наличии стыковых соединений. Полученные результаты работы могут быть применены для железнодорожного и промышленного рельсового транспорта.

**Ключевые слова.** Износ рельсов, криволинейные участки рельсового пути, нагруженность, промежуточные рельсовые скрепления.

При взаимодействии верхнего строения рельсового пути и подвижного состава возникают интенсивные поперечные динамические нагрузки, которые в криволинейных участках имеют повышенные показатели нагруженности. При этом увеличенный уровень динамических нагрузок является одной из основных причин роста интенсивности износа и разрушения рельсовых направляющих, реборд бандажей колес, элементов промежуточных рельсовых скреплений, а также сдвига рельсошпальной решетки. Это приводит к снижению срока службы элементов верхнего строения пути и показателей безопасности движения

поездов на скоростных магистралях и в сложных условиях эксплуатации в кривых малых радиусов, особенно в местах горных перевалов или рельсового пути промышленных предприятий.

По результатам эксплуатационных обследований интенсивность бокового износа головок рельсов и разрушений элементов рельсовых скреплений [1-2] установлено, что в кривых малых радиусов износ достигает 0,6-2,0 мм на 1 млн т км брутто пропущенного груза. При допустимой величине бокового износа головки рельса до 26 мм, ресурс работы рельсовых элементов по критерию износа может снижаться до 1,2-2,0 лет при среднем грузопотоке 35,0 - 40,0 млн т брутто в год.

При более интенсивном движении поездов до 60-80 млн т брутто в год и наличии абразивной среды в зоне контакта колеса и рельса ресурс работы рельсов может составлять меньше одного года (0,5-1,0 год).

На процесс бокового износа головок рельсов оказывает существенное влияние состояние деревянных шпал и соответствующих им промежуточных рельсовых скреплений. Установлено, что срок службы деревянных шпал составляет от 13,5 до 19 лет. В сложных условиях эксплуатации средний ресурс работоспособности деревянных шпал составляет от 4,0 до 5,0 лет. Причиной малого срока службы деревянных шпал является малая их несущая способность и прочность для обеспечения увеличенных динамических нагрузок от воздействия ходовой части подвижного состава. Недостатком этих шпал является подверженность гниению, трещинообразованию и механическому износу костыльных и шурупных отверстий, а также верхней постели шпал в месте расположения подрельсовой прокладки и нащпальной подкладки. Установлено, что на сложных участках малых радиусов кривизны (200,0-650,0 м) на Львовской железной дороге при эксплуатации скреплений типа СКД-65Д в течение трех лет до 70 % шпал подвергались замене, а также восстановлению нормативных требований по ширине колеи и подуклонке рельсов.

На более сложных участках проводились работы по текущему содержанию рельсового пути с заменой 50 % деревянных шпал в кривых малых радиусов.

В промышленном рельсовом транспорте интенсивность износа элементов рельсового пути значительно превышает отмеченные показатели магистрального железнодорожного рельсового транспорта из-за увеличенных осевых нагрузок до 32-40 т, дополнительного влияния абразивности при взаимодействии контактирующей пары «колесо-рельс», наличия технических неисправностей в путевой структуре, отступлений от норм технического состояния, а также несовершенства конструкции рельсовых промежуточных скреплений [3-8].

В известных работах В.С. Лысюка, О.М. Даренского, В.И. Колесникова, М.Ф. Вериги, А.Я. Когана, К.П. Королева, О.П. Ершкова, В.А. Лазаряна, Н.А. Радченко, Ю. С. Романа, В.Г. Масляева и др. представлены исследования динамических процессов взаимодействия колеса и рельса, а также наличие и образование бокового износа рельсов и колес в криволинейных участках рельсового пути. Однако исследований по увеличению ресурса работы элементов рельсового пути и выявлению факторов, влияющих на процессы износа и ус-

тойчивость путевой структуры в криволинейных участках малых радиусов от воздействия колес ходовой части подвижного состава – недостаточно. Проблема остается актуальной, поскольку имеют место значительные эксплуатационные расходы на восстановление работоспособности средств рельсового транспорта, их содержание, ремонт и обеспечение безопасности движения поездов с заданными скоростями.

Целью данной работы является повышение ресурса работы рельсового пути посредством уменьшения бокового износа рельсов и улучшения устойчивости рельсового пути в криволинейных участках малых радиусов. Задачей исследований является определение факторов, влияющих на интенсивность бокового износа рельсов и гребней бандажей колес в сложных условиях эксплуатации. Основным методом исследований являются эксплуатационные наблюдения и определение геометрических параметров элементов верхнего строения рельсового пути при различных конструкциях промежуточного рельсового скрепления.

В работе рассматриваются сложные условия эксплуатации рельсового пути с кривыми малого радиуса от 200,0 до 400,0 м и продольными уклонами трассы рельсового пути на «подъеме» и «спуске»  $\pm 15 \text{ ‰}$  для магистралей III категории,  $20 \text{ ‰}$  – для магистралей IV категории,  $30 \text{ ‰}$  – для магистралей V-VII категории. Эти участки рельсового пути нет возможности переоборудовать из-за стесненных горных условий, влекущих за собой большие финансовые затраты на строительно-монтажные работы по изменению трассы или строительству тяжелых тоннелей и насыпей. В таких условиях эксплуатации при сложном взаимодействии элементов путевой структуры и подвижного состава и вследствие образования повышенных боковых (поперечных) и продольных усилий, происходит интенсивный боковой износ рельсов и реборд колес, а также поперечное смещение рельсового пути, в особенности в стыковых соединениях рельсов. Это характерно для рельсового пути с радиусами кривых от 200,0 до 300,0 м, где до настоящего времени применяется звеньевой стыковой путь из-за отсутствия технической возможности устройства бесстыкового пути. В этих криволинейных участках фактически в каждом стыковом соединении рельсов по наружной рельсовой нити между примыкающими рельсами создаются угловые неровности, как в плане, так и в профиле рельсового пути, где наблюдаются «выплески» и просадки пути, а также излом железобетонных шпал. Установлено, что характер износа рельсов в стыках минимальный, а интенсивный боковой износ рельсов при этом начинается на расстоянии одного метра и дальше от стыка.

Для выявления отклонений рельсовой нити в плане (смещение рельсошпальной решетки) кривых радиусом от 200,0 до 400,0 м производились геометрические измерения с помощью хорд длиной 20,0 м, по которым устанавливались параметры стрел прогиба между хордой и головкой рельсового пути с частой через каждые 5,0 м. Измерение параметров износа головки рельса или реборд колес осуществлялось специальным микрометром и штангенциркулем типа ПШВ «Путеец».

Экспериментальные измерения параметров износа осуществлялись в звеньевом и бесстыковом рельсовом пути на деревянных и железобетонных шпалах в кривых малого радиуса от 200,0 до 650,0 м.

Исследования проводились на рельсовом пути с деревянными шпалами и промежуточными рельсовыми скреплениями типов: ДО; СКД-65Д; СКД-65Дм; КППД-2 с расширенными металлическими подкладками типов КД65-У и Д2, а также железобетонными шпалами с промежуточными скреплениями типов СКД-65Б и КПП-5К.

Результаты исследований интенсивности бокового износа головок рельсов при различных типах шпал и промежуточных скреплений представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований интенсивности бокового износа рельсов

Типы скреплений	Интенсивность бокового износа, мм / млн.тбр. груза																		
	R<300					300<R<450					450<R<650								
	до 10‰		10-20‰		>20‰	до 10‰		10-20‰		>20‰	до 10‰		10-20‰		>20‰				
	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск			
ДО	0,134	0,124	0,172	0,167	0,262	0,235			0,138	0,135			0,249	0,166					
Д-2, КППД-2, СКД-65Д	0,259	0,161	0,329	0,257	0,272	0,257			0,185	0,166			0,280	0,143		0,024	0,138		
СКД-65Б	0,342	0,473	0,361		0,456				0,190				0,246	0,267			0,091	0,171	
КПП-5К, КПП-5			0,411			0,377	0,205							0,263	0,078	0,103	0,09		0,206
КБ								0,090							0,082	0,089			

Согласно анализа приведенных в таблице 1 результатов исследований интенсивности износа рельсов, изготовленных из конверторной стали, установлено, что в криволинейных участках с радиусами кривых до 300,0 м интенсивность бокового износа составляет: для скреплений типа ДО с костыльными прикрепителями – 0,182 мм/млн ткм брутто; для скреплений типов Д-2, КППД-2, СКД-65Д на деревянных шпалах – 0,255 мм/ млн ткм брутто; для скреплений типа СКД-65Б на железобетонных шпалах – 0,408 мм/млн ткм

брутто; для скреплений типов КПП-5 и КПП-5К на железобетонных шпалах – 0,394 мм/млн ткм брутто.

При этих условиях эксплуатации интенсивность износа рельсов, изготовленных из мартеновской стали на продольных уклонах трассы пути до 10,0 ‰; 10,0–20,0 ‰ и более 20,0 ‰ соответственно в 1,4; 1,47 и 1,39 раза лучше по сравнению с рельсами из конверторной стали. В среднем мартеновская сталь имеет лучшие показатели по износостойкости в 1,41 раз. При поправочном коэффициенте перехода на эту сталь равному 1,41 интенсивность бокового износа рельсов на рельсовом пути с деревянными шпалами со скреплением типа ДО с костыльными прикрепителями составляет 0,257 мм/млн ткм брутто, а со скреплениями типов Д-2; КППД-2; СКД-65Д – 0,360 мм/млн ткм брутто.

В таблице 2 приведены результаты экспериментальных исследований интенсивности бокового износа головок рельсов для криволинейных участков рельсового пути с радиусами 200,0 до 650,0 м, при воздействии грузовых поездов весом 4600 т и 4200 т при средней скорости их движения до 41,1 км/ч.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований интенсивности износа головок рельсов при различном весе поездов

Интенсивность бокового износа, мм/т брутто груза						
Весовая норма поезда, т	Радиус, м R<300,0		Радиус, м 300,0<R<450,0		Радиус, м R>450,0	
	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск
4600,0	0,427	0,447	0,276	0,232	0,092	0,050
4200,0	0,355	0,384	0,253	0,184	0,090	0,046

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

В таблице 3 приведены результаты экспериментальных исследований интенсивности бокового износа головок рельсов, изготовленных из мартеновской (М) стали и конверторной стали (КФ), применительно к участкам рельсового пути с радиусом кривых от 200,0 до 650,0 м, при различной величине уклонов или подъемов трассы магистрали от 10 ‰ до 20,0 ‰ и более, при различных типах промежуточного рельсового скрепления на деревянных и железобетонных шпалах.

Из приведенных в таблице 3 результатов видно, что в криволинейных участках пути с радиусами кривых до 300,0 м показатели по износостойкости рельсов, изготовленных из мартеновской стали, значительно лучше показателей износостойкости для рельсов, изготовленных из конверторной стали. Установлено, что при продольных уклонах рельсового пути до 10,0 ‰; 10,0–20,0 ‰ и

более 20,0 % мартеновская сталь имеет 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).

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований интенсивности бокового износа головок рельсов для мартеновской (М) и конверторной (КФ) сталей с различной конструкцией рельсового пути

Тип скрепления	Способ изготовления рельсовой стали/ тип закалки	Интенсивность бокового износа, мм / млнт брутто груза																		
		R<300						300<R<450						450<R<650						
		до 10%		10-20%		>20%		до 10%		10-20%		>20%		до 10%		10-20%		>20%		
подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	подъем	спуск	
ДО	М зпк	0,153		0,197	0,286	0,211				0,135			0,114							
	М збг	0,097	0,057	0,141	0,114		0,132													
	КФ зпк		0,158	0,212	0,198	0,279	0,252		0,138			0,252	0,201							
	КФ збг			0,144								0,246								
СКД-65Д	М зпк				0,254															
	КФ зпк	0,342	0,199	0,253	0,279															
	КФ збг	0,346		0,475	0,326	0,256			0,19											
СКД-65Дм	КФ збг			0,408																
КППД-2	КФ зпк	0,157	0,123			0,288	0,249			0,215										0,138
	КФ збг	0,11			0,206					0,149	0,166		0,143				0,024			
СКД-65Б	КФ зпк	0,324		0,361		0,417						0,248	0,267							0,091
	КФ збг	0,351	0,473			0,475				0,19		0,225								
	КФ збг т					0,684														
СКДБ-65Б БП	КФ зпк																			0,091
КПП-5К	М зпк							0,2						0,118	0,022					
	КФ зпк			0,411											0,034					
	КФ збг						0,377						0,263	0,076	0,055	0,062				0,206
КПП-5К БП	КФ збг																			0,271
КПП-5 БП	М зпк																			
	КФ зпк														0,034					
	КФ збг													0,076	0,055	0,062				
	60EI (UIC-60)							0,21						0,04						
КБ	М зпк								0,05					0,035	0,0502					
	КФ збг													0,0953	0,087					
	КФ 2017 збг т								0,13					0,164						
	60EI (UIC-60)													0,057						

Условные обозначения: М – мартеновский способ изготовления рельсов; КФ – конвертерный способ изготовления рельсов; ЗПК – рельсы, закаленные по поверхности катания; ЗБГ – рельсы, закаленные по поверхности катания и боковой грани головки рельса; ЗБГ т – рельсы, закаленные по поверхности катания и боковой грани головки рельса с повышенной твердостью боковых граней головки рельса; БП – бесстыковой рельсовый путь.

В результате обследования участков рельсового пути на деревянных шпалах с промежуточными скреплениями типа СКД-65Д и ассиметричными подкладками типа ЗКДЛ с шестью отверстиями для прикрепителей, где регулировка ширины колеи обеспечивалась регулируемыми пластинами, установлено образование разуклонки рельсов. Для устранения этого недостатка предложено промежуточное рельсовое скрепление типа СКД-65Д м с симметричной под-

кладкой типа 4 КДЛ имеющей восемь отверстий для прикрепителей. При этом новая подкладка удлинена в полевую сторону от рельса и располагается на удлиненных шпалах длиной – 2,9 м.

Интенсивность износа боковой части головки рельса в криволинейных участках малых радиусов кривизны с использованием деревянных шпал и соответствующих им скреплений типов: ДО; Д2; КППД2; СКД-65Д и СКД-65Д м представлены в табл. 1 и табл. 3. При этом показатели интенсивности бокового износа рельсов значительно лучше по сравнению с показателями интенсивности бокового износа рельсов на железобетонных шпалах.

При одинаковом типе скрепления рельсы поточного производства из стали марок М76 и К76Ф отличаются также по износостойкости в зависимости от года изготовления. Результаты этих исследований приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Интенсивность бокового износа рельсов по годам изготовления

Скрепления	Шпалы	Из мартеновской стали до	Из конверторной стали		
		2011 г.	2011-2013 гг	2014-2015 гг	2016-2017 гг
ДО	деревянные	0,057-0,338 (0,197)	0,071-0,382 (0,226)		0,544
СКД-65Д	деревянные	0,107-0,239 (0,173)	0,199-0,383 (0,291)	0,201-0,530 (0,365)	0,336-0,589 (0,462)
КПП-5К	железобетонные		0,382	0,530	
СКД-65Б	железобетонные			0,226-0,468 (0,347)	0,444-0,605 (0,524)

Анализ результатов исследований износостойкости по годам изготовления рельсов показывает, что интенсивность бокового износа рельсов увеличивается для всех типов скреплений и типов шпал. Так на костыльном скреплении типа ДО величина интенсивности бокового износа достигает 0,544 мм / млн т брутто груза. С учетом поправочного коэффициента 1,41, граничные значения для рельсов, изготовленных из мартеновской стали, находятся в диапазоне 0,08 мм / млн т брутто груза – 0,476 мм / млн т брутто груза, что в некоторых случаях превышает значения показателей износа рельсов, изготовленных из конверторной стали, работающих на промежуточных рельсовых скреплениях с железобетонными шпалами. Это означает, что основным фактором, определяющим показатели износостойкости и работоспособности рельсов, является качество рельсовой стали.

Для уменьшения интенсивности бокового износа рельсов в криволинейных участках с малыми радиусами кривизны от 200,0 м до 450,0 м на железобетонных шпалах, а также продления сроков службы промежуточных рельсовых скреплений и других элементов верхнего строения пути применяются промежуточные скрепления типов СКД-65 Б и КПП-5К, которые обеспечивают регулировку ширины колеи от 1520 до 1534 мм с интервалом изменения ширины колеи в 1,0 мм и 2,0 мм. При этом скрепление типа СКД-65 Б может обеспечивать регулировку ширины колеи в кривых на сужение от 1,0 до 28,0 мм для

компенсации бокового износа головки рельса в кривых до момента изъятия рельсов из пути по предельному боковому износу.

Недостатком промежуточного скрепления типа СКД-65 Б 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 200,0 м до 900,0 м, является анкерное промежуточное скрепление типа КПП-5К. Это скрепление позволяет обеспечивать регулировку уширения колеи до +14,0 мм (до 1534 мм) без дополнительной комплектации за счет переустановки прямоугольных втулок с различными толщинами стенок. Это скрепление имеет меньшее количество деталей и металлоемкость по сравнению со скреплением типа СКД-65 Б. Недостатком скрепления является наличие трещинообразования в прямолинейных регулирующих втулках при эксплуатации в стыковых соединениях рельсов и повышенных поперечных нагрузках в кривых малых радиусов.

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 НАН Украины ведутся научно-технические разработки по созданию нового анкерного промежуточного рельсового скрепления типа АПРС-1, которое предназначено для криволинейных участков рельсового пути с радиусами 200,0 – 650,0 м и магистральных железных дорог. Регулировка ширины колеи обеспечивается в пределах 1520-1540 мм с интервалами 1,0 мм или 2,0 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 увеличенного ресурса работы до 1,2 млрд т брутто пропущенного груза. Исследование работоспособности новых скреплений типа АПРС-1 находится на стадии изготовления и испытания опытных образцов.

На интенсивность бокового износа рельсов влияет твердость двух взаимодействующих поверхностей рельса и колеса. Их соотношение регламентируется нормативными документами. При этом соотношение контактирующих поверхностей колесных пар и поверхностей рельсов должна составлять 0,85 для вагонов и 0,91 – для локомотивов. В процессе эксплуатации при дополнительных наплавках колес две контактные поверхности меняют показатели твердости. Это вызывает повышенный износ головок рельсов.

**Выводы.** 1. Рассмотрены основные факторы, влияющие на интенсивность



износа рельсов и устойчивость верхнего строения пути в сложных условиях эксплуатации, к которым относятся устройства рельсового пути с кривыми малых радиусов от 200,0 м до 650,0 м, большие продольные уклоны трассы до 30,0 ‰ для «подъема» и «спуска» поездов, большие весовые нормы поездов до 4600 т; качество изготовления рельсов; несовершенство и недостатки конструкции промежуточных скреплений по показателям регулировки ширины рельсовой колеи и прочности основных частей.

2. Интенсивность бокового износа головок рельсов в кривых радиусом 200,0–400 м достигает 0,6–2,0 мм на 1,0 млн ткм брутто, что приводит к уменьшению ресурса работы рельсов до 0,5–1,0 лет.

3. Интенсивность бокового износа рельсов в криволинейных участках радиусом до 300,0 м составляет: для рельсового пути на деревянных шпалах и костыльных скреплениях типа ДО – 0,182 мм/млн ткм брутто; типов Д2, КППД-2, СКД– 65Д – 0,255 мм/млн ткм брутто; а с железобетонными шпалами и скреплением типа СКД– 65Б – 0,408 мм/ млн ткм брутто; типов КПП-5 и КПП-5К – 0,394 мм/млн ткм брутто.

4. Интенсивность бокового износа рельсов при уменьшении веса поездов от 4600 т до 4200,0 т уменьшена на 17 % при «подъеме» поездов и на 14 % при «спуске» поездов в криволинейных участках радиусом до 300,0 м, а для криволинейных участков с радиусами кривых 300,0–450,0 м уменьшена на «подъеме» на 8,4 %, а на «спуске» на 20,7 %. На криволинейных участках с радиусами кривых 450,0 м и более интенсивность бокового износа уменьшилась на «подъеме» на 2,2 %, а на «спуске» – на 8,0 %.

5. Показатели износостойкости рельсов, изготовленных из мартеновской стали, значительно лучше показателей для рельсов, изготовленных из конверторной стали. При продольных уклонах рельсового пути до 10,0 ‰; 10,0–20,0 ‰ и более 20,0 ‰ эти показатели улучшены соответственно в 1,4; 1,47; 1,39 раза. Основным фактором, определяющим показатели износостойкости и работоспособности рельсов является качество рельсовой стали.

6. Применение промежуточных рельсовых скреплений типов СКД– 65Б и КПП-5К на железобетонных шпалах с регулировкой ширины колеи 1520–1534 мм обеспечивает определенное улучшение показателей износостойкости боковой части головки рельсов по сравнению с аналогичными скреплениями типов КБ–65Б и КПП-5К.

7. Создание новых анкерных промежуточных рельсовых скреплений типа АПРС-1 предусматривает регулировку ширины колеи в криволинейных участках малых радиусов 200,0–650,0 м и обеспечивает неизменное положение носика клеммы (прикрепителя) относительно боковой части подошвы рельса при поперечном перемещении рельса из-за уширения рельсовой колеи. Во всех известных конструкциях промежуточных рельсовых скреплений на железобетонных шпалах, при перемещении рельса для регулировки ширины колеи, происходит изменение расстояния между носиком клеммы (прикрепителя) и краем подошвы рельса с уменьшением этого расстояния на одной стороне относительно оси рельса и соответствующему увеличению на противоположной сто-

роне от оси рельса (или наоборот). Это создает неравномерность прижатия подошвы рельса клеммой и не обеспечивает проектную прочность промежуточного рельсового скрепления в креплении рельса и шпалы.

Применение нового перспективного скрепления типа АПРС-1 предусмотрено для скоростей движения поездов до 250,0–300,0 км/ч и обеспечения ресурса работы до 1,2 млрд т брутто пропущенного груза вместо 0,2–0,8 млрд т брутто пропущенного груза для серийных промежуточных рельсовых скреплений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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: Зб. наук. пр. за результатами роботи IV міжнародної науково-технічної конференції 24 листопада 2017 р. Кривий Ріг: Вид. Р.А.Козлов, 2017. С. 63-64.*
2. Говоруха В.В., Макаров Ю.А. Исследования бокового износа рельсов при механическом взаимодействии пути и колес ходовой части вагонов на криволинейных участках пути / *Геотехническая механика. Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2017. № 134. С. 125-140.*
3. 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.*
4. Карпущенко Н.И., Осташко И.А. Параметры колеи и износ рельсов / *Путь и путевое хозяйство. 1996, № 8. С.6-7.*
5. Антерейкин Е.С. Влияние параметров рельсовой колеи на интенсивность бокового износа рельсов / *Наука и молодежь 21 века: Материалы 5 научно-технической конференции 2007. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2007. С. 15-16.*
6. Говоруха В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений: монография. -Днепропетровск: Изд-во Лира ЛТД, 2005. 388 с.
7. Говоруха В. В. Совершенствование рельсового пути и стрелочных переводов подземного рельсового транспорта / *Уголь Украины. 2013. № 3. С. 44–49.*
8. Масляев В.Г. Влияние касательных сил тяги на динамику локомотива в кривых / *Труды междунар. технич. конфер. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». Харьков, Мишкольц: ХПИ, МУ. 1997. С. 341-343.*

#### REFERENCES

1. Govorukha, V.V. and Makarov, Yu.A. (2017), "Increase in operational life of rail transport at the expense of reduced intensity of side wear within small-radius curves and points and crossing", *Suchasni tehnologii rozrobky rudnykh rodovyshch. Ekologo-ekonomichni naslidky diyalnosti pidpriemstv GMK* [Current technologies of ore mining. Environmental and economic outcomes of MMIW enterprise activities], *Zbirnyk naukovykh prats po rezultatam roboty IV mizhnarodnoy konferentsii* [Collection of scientific papers based on the findings of 4<sup>th</sup> international scientific and technical conference], November 2, 2017. Kryvyi Rih: Ed. P.A.Kozlov, pp. 63-64.
2. Govorukha, V.V. and Makarov, Yu.A. (2017), "Studying side wear of rails in terms of mechanical interaction of track and wheels of running gear of carriages within curvilinear track sections", *Geo-Technical Mechanics*, no. 134. pp. 125-140.
3. Degtiarova, L.N., Osenin, Yu.I., and Miamlin, S.V. (2009), "Mathematical description of force interaction of wheels and rails" *Visnyk DIIT*, no. 29. pp. 89-95.
4. Karpushchenko, N.I. and Ostashko, I.A. (1996), "Gauge track parameters and rail wear", *Put i putevoe khozyaystvo*, no.8. pp. 6-7.
5. Antreikin, Ye.S. (2007), "Effect of track parameters upon the intensity of side wear of rails", *Nauka i molodezh 21 veka* [Science and youth of the 21<sup>st</sup> century], *Materialy 5 nauchno-technicheskoy konferentsii* [Materials of the 5<sup>th</sup> scientific and technical conference 2007]. Novosibirsk, Publishing house of STU, 2007. pp. 15-16.
6. Govorukha, V.V. (2005), *Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya uprugikh elementov promezhutochnykh relsovykh skreplenyi* [Mechanics of deformation and breaking of elastic elements of intermediate rail fastening], Publishing house Lira Ltd., Dnepropetrovsk, Ukraine.
7. Govorukha, V.V. (2019), "Improving rail track and points and crossing of underground rail transport", *Coal of Ukraine*, 2013. no. 3. pp. 44 – 49.
8. Masliaev, V.G. (1997), "Effect of tangential traction forces upon the dynamics of locomotive in curves", *Informatsionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologiya, obrazovanie, zdorove* [Information technology: science, engineering, technology, education, health], *Trudy mezhdunarodnoy tekhnicheskoy konferentsii* [Papers of international technical conference], Kharkov, Ukraine, Mishkolts: KhPU, MU. pp. 341-343.

#### Об авторах

**Говоруха Владимир Васильевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Проблем рельсового транспорта отдела физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, igtm.rail.trans@gmail.com.

**Макаров Юрий Александрович**, магистр, аспирант, лаборатории проблем рельсового транспорта отдела физико-

механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), начальник путеисследовательской станции №1 филиала «Центр диагностики железнодорожной инфраструктуры АТ «Укрзалізниця» (ПС-1 ЦДЗІ), Днепр, Украина, igtm.rail.trans@gmail.com.

**Семідетна Людімла Павловна**, магістр, ведучий інженер лабораторії Проблем рельсового транспорту відділу фізико-механичних основ горного транспорту, Інститут геотехнической механіки ім. Н.С. Полякова Национальной академії наук України (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, igtm.rail.trans@gmail.com.

#### About the authors

**Govorukha Vladimir Vasilyevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, head of Laboratory of Mine Railway Transport in Department of Mining Transport Physics and Mechanics, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NAS Ukraine), Dnepr, Ukraine, igtm.rail.trans@gmail.com.

**Makarov Yurii Alexandrovich**, Master of Science, Doctoral Student, laboratory for rail transport problems of the department of physical and mechanical foundations of mining transport, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), head of the pioneering station number 1 branch "Center for Diagnostics of Railway Infrastructure AT" Ukrzaliznytsya "(PS-1 TsDZI), Dnepr, Ukraine, igtm.rail.trans@gmail.com.

**Semidetnaia Lyudmila Pavlovna**, Master of Science, Leading Engineer of Laboratory of Mine Railway Transport in Department of Mining Transport Physics and Mechanics, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NAS Ukraine), Dnepr, Ukraine, igtm.rail.trans@gmail.com.

**Анотація.** У статті викладено аналіз ресурсу роботи елементів рейкової колії за критеріями бічного зносу голвок рейок в експлуатаційних умовах з урахуванням особливостей роботи в криволінійних ділянках малих радіусів. Розглянуто чинники, що впливають на наднормативний бічний знос рейок на ділянках зі складними умовами експлуатації. Метою даної роботи є підвищення ресурсу роботи рейкової колії за допомогою зменшення бічного зносу рейок і підвищення стійкості рейкової колії в складних умовах експлуатації. Показано, що засоби рейкової колії і її елементів піддаються інтенсивному зносу і руйнуванню при великих поперечних навантаженнях, особливо в криволінійних ділянках шляху з малими ділянками кривизни. Досліджено вплив величини радіусів кривизни рейкової колії на формування інтенсивності зносу і утворення зсувів рейкошпальної решітки рейок. Визначені основні фактори, що впливають на інтенсивність зносу рейок і стійкість верхньої будови колії в складних умовах експлуатації, до яких відносяться пристрої рейкової колії з кривими малих радіусів від 200,0 м до 650,0 м, великі поздовжні ухили траси до 30,0 % для «підйому» і «спуску» поїздів, великі вагові норми поїздів до 4600 т; якість виготовлення рейок; недосконалість і недоліки конструкції проміжних скріплень за показниками регулювання ширини рейкової колії і міцності основних частин. Інтенсивність бічного зносу рейок при зменшенні ваги поїздів від 4600 т до 4200,0 т зменшена на 17% при «підйомі» поїздів і на 14 % при «спуску» поїздів в криволінійних ділянках радіусом до 300,0 м, а для криволінійних ділянок з радіусами кривих 300,0-450,0 м зменшена на «підйомі» на 8,4 %, а на «спуску» на 20,7 %. На криволінійних ділянках з радіусами кривих 450,0 м і більше інтенсивність бічного зносу зменшилася на «підйомі» на 2,2 %, а на «спуску» - на 8,0 %. Надано пропозиції щодо зниження інтенсивності бічного зносу і продовження ресурсу роботи рейкової колії, а також поліпшення стійкості рейкошпальної решітки в криволінійних ділянках малих радіусів кривизни, особливо при наявності стикових з'єднань. Отримані результати роботи можуть бути застосовані для залізничного і промислово рейкового транспорту.

**Ключові слова:** знос рейок, криволінійні ділянки рейкового шляху, навантаженість, проміжні рейкові скріплення.

**Annotation.** In the paper, operational life of the rail track components is analyzed by criteria of side wear of railheads under operational conditions with taking into account peculiarities of operation in small-diameter curvilinear sections. Factors effecting the above-norm side wear of rails within the sections of complex operational conditions were studied. Objective of the research was to increase operational life of the rail track through reducing side wear of the rail track and improving stability of the rail track under complex operational conditions. It is shown that rail rack facilities and their components are subject to intense wear and breaking at considerable shearing load, especially within curvilinear track sections with small curvature sections. Effect of the value of rail track curvature radii on formation of wear intensity and development of displacements of assembled rails and sleepers are considered. Basic factors effecting rail wear intensity and track superstructure stability under complicated operational conditions (i.e. rail laying with small curve radii 200.0 m - 650.0 m; steep longitudinal slopes up to 30.0 % for descending and ascending train motion; considerable train weight up to 4600 t; rail quality; defects of intermediate fastening design in the context of rail width control and durability of basic parts) were determined. Side wear intensity is reduced by 17 % at train ascending when weight of the train is decreased from 4600 to 4200 t, and by 14 % - at train descending within curvilinear areas with up to 300.0 m radius; within curvilinear areas with curvature 300.0 m-450.0 m it reduced by 8.4 % at train ascending, and by 20.7 % at train descending. Within curvilinear areas with curvature radii 450.0 m and more, intensity of side wear decreases by 2.2 % at train ascending, and by 8.0 % at train descending. Recommendations are given concerning reduction of side wear inten-

sity and extension of rail track operational life as well as improvement of assembled rails and sleepers within curvilinear sections of small-diameter curvature, especially if connection joints are available. The obtained results may be applied in railway and commercial rail transport.

**Keywords.** Rail wear, curvilinear sections of rail track, loading, intermediate rail fastening.

*Стаття надійшла до редакції 13.11.2018*

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

УДК [622.74:541.18]:625.032

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКЕ

**Семененко Е.В.<sup>1</sup>, Рубан В.Д.<sup>1</sup>, Подоляк К.К.<sup>1</sup>, Рыжова С.А.**

<sup>1</sup> *Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины*

## ВИКОРИСТАННЯ КОЛИВАНЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЦИСТЕРН ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА ПРИ ЙОГО ТРАНСПОРТУВАННІ

**Семененко Є.В., Рубан В.Д., Подоляк К.К., Рыжова С.О.**

<sup>1</sup> *Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України*

## THE USE OF RAILWAY TANK OSCILLATIONS FOR PREPARING WATER-COAL FUEL DURING ITS TRANSPORTATION

**<sup>1</sup>Semenenko E.V., <sup>1</sup>Ruban V.D., <sup>1</sup>Podolyak K.K., <sup>1</sup>Rizhova S.A.**

<sup>1</sup> *Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine*

**Аннотация.** Задекларированный в государственном документе переход на водоугольное топливо предполагает его транспортирование по трубопроводам, а также с использованием оборудования специальных высокотехнологических комплексов по приготовлению высококонцентрированной суспензии. Такой подход либо исключает использование существующих железнодорожных магистралей и требует строительства трубопроводов значительной протяженности, либо, при сохранении доставки углей на электростанции посредством железнодорожного транспорта, возникает необходимость в оборудовании комплексов измельчения угля, смешивания его с водой и гомогенизации суспензии. В обоих случаях необходимо отчуждение земли, а также существенные капитальные и временные затраты. Впервые предложено использовать для приготовления водоугольного топлива железнодорожные цистерны, в которых твердая фаза суспензии подвергается пропитыванию жидкой фазой и дезинтеграции под действием мелющих тел непосредственно во время транспортировки по железной дороге. В статье в рамках рассматриваемой технологии приготовления водоугольного топлива предложены формулы для оценки и обоснования технологических параметров процесса приготовления водоугольного топлива в железнодорожной цистерне с мелющими телами, которые предполагают пропитывание, дезинтеграцию и перемешивание компонентов водоугольного топлива во время доставки к потребителю железнодорожным транспортом. Установлены зависимости амплитуды и частоты вертикального перемещения материала в цистерне от скорости движения при их транспортировке по железнодорожным путям Днепровского региона, обоснованы длительность предварительного ожидания цистерны после заполнения до отправки, обеспечивающая пропитывание агломератов перед разрушением, а также объемы угля и воды, смешиваемые в цистерне.

**Ключевые слова:** водоугольное топливо, цистерна, железнодорожный транспорт, колебания вагона.

**Введение.** Согласно Энергетической стратегии Украины предполагается переход ТЭЦ на уголь, что позволит сэкономить до 6 млрд. м<sup>3</sup> газа в год. В свете этого, тенденция перехода Украины на водоугольное топливо (ВУТ), исклю-