

УДК 656.025.2

*П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта; Н. Н. КРАВЧЕНКО, Е. В. НИКИТИН, Д. С. ШАБАН, Белорусская железная дорога, г. Минск*

## ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ БОКОВОГО ИЗНОСА ГОЛОВКИ РЕЛЬСА В КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

Приводятся данные об интенсивности износа в криволинейных участках пути малых и средних радиусов. Анализируются показатели интенсивности бокового износа наружного рельса в зависимости от продольного профиля пути и возвышения наружного рельса.

**К**риволинейные железнодорожные участки составляют около 30 % развернутой длины главных путей Белорусской железной дороги. Из-за возникающих дополнительных сил в таких участках железнодорожный путь работает более напряженно, чем в прямых. Вследствие этого в системе «колесо – рельс» происходит более интенсивное изнашивание и истирание взаимодействующих элементов.

Изнашивание – это постепенное изменение размеров предмета в результате отделения частиц с поверхности трения материала, а также из-за остаточной деформации. Наиболее распространённым считается усталостное изнашивание вследствие циклического воздействия на микровыступы трущихся поверхностей. Отделение частиц может происходить и при наклепе поверхностного слоя, который становится хрупким и разрушается.

Второе по распространенности – абразивное изнашивание рельсов и колёс, при котором на трущихся поверхностях появляются частицы, разрушающие материалы за счет резания и царапания. Часто абразивными частицами бывают продукты самого износа. Абразивный боковой износ рельсов и гребней колес в зонах их контактов характеризуется стачиванием частиц материала вследствие воздействия абразивных частиц, а также вследствие воздействия шероховатой твердой поверхности гребня колеса на боковую грань головки, и наоборот. Типичным повреждением поверхности боковой грани головки рельсов и гребня колеса при абразивном износе являются бороздки и сильная деформация их поверхностных слоев.

Для уменьшения сил взаимодействия, а также оптимизации прохождения экипажем криволинейных участков в них имеются следующие особенности:

- уширение колеи при  $R < 350$  м;
- возвышение наружного рельса над внутренним;
- переходные кривые;
- укороченные рельсы на внутренних рельсовых нитях;
- увеличенные междупутные расстояния при наличии двух и более путей.

Из множества факторов, влияющих на боковой износ головки рельсов и гребней колёс, определяющими являются:

- скольжение гребня по боковой грани головки рельса;
- удельное давление гребня на боковую грань головки рельса, определяемое давлением силы прижатия гребня на площадь его контакта с рельсом.

Увеличение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов потребовало большего внимания к содержанию пути в плане, так как при увеличении скоростей резко возрастает динамическое воздействие подвижного состава на путь с отступлениями в плане.

Особое внимание уделяется содержанию в плане кривых участков пути при движении подвижного состава, по которым возникают дополнительные горизонтальные силы, не уравновешенные возвышением наружной рельсовой нити.

Другим важнейшим фактором, оказывающим влияние на интенсивность износа рельсов, является величина непогашенного центробежного ускорения. При изменении величины возвышения с 40 до 130 мм, что соответствует снижению непогашенного ускорения на  $0,55$  м/с<sup>2</sup>, интенсивность бокового износа наружного рельса снижается более чем в 3 раза.

Существенных результатов по уменьшению интенсивности бокового износа рельсов можно достичь за счет уменьшения глубины касания гребнем колеса боковой грани рельса. Так, при уменьшении глубины с 10 до 5 мм интенсивность износа становится меньше на 16–37 % при воздействии вагонных колес и на 9–14 % при воздействии локомотивных.

Уменьшения глубины касания можно добиться увеличением подуклонки рельсов с 1/20 до 1/12. Увеличение подуклонки рельсов до 1/15...1/12 позволяет снизить интенсивность износа в 1,2–1,5 раза, особенно в начальный период. Однако эффект будет временным, так как по мере нарастания бокового износа глубина касания возрастает и интенсивность износа повышается. Уширение колеи в кривых практически не снижает интенсивность износа рельсов.

Анализ работ по износу рельсов показал, что интенсивность износа зависит от сил и коэффициентов трения в зоне контакта гребня колеса и рельса, их твердостей, размера и формы пятен контакта, а также других факторов. По данным различных исследований [1–4], на интенсивность износа рельсов оказывает влияние более двадцати факторов: радиус кривой, возвышение наружного рельса, фактические скорости движения, уклоны продольного профиля пути и масса поездов, перекос колесных пар в экипаже, шероховатость поверхности катания рельсов после шлифования, ширина рельсовой колеи и т. д.

На сегодняшний день на Белорусской железной дороге имеется значительное количество криволинейных участков малого и среднего радиуса. Износ рельсовых нитей в таких кривых происходит интенсивнее и более ярко выражен, чем в кривых больших радиусов.

В качестве примера было рассмотрено одно из грузонапряженных направлений Пинск – Житковичи Лунинецкой дистанции пути. Грузонапряженность по участку составляет 22,7 млн т брутто/год. На направлении эксплуатируется 57 кривых различного радиуса (I главный путь).

В статье исследовано влияние радиуса, возвышения и уклона продольного профиля на износ рельсов в криволинейных участках пути.

На рисунке 1 приведены сравнительные показатели интенсивности износа части головок рельсов в кривых малых радиусов, имеющих одинаковые значения по возвышению наружного рельса  $h = 40$  мм, грузонапряженности 22,7 млн т брутто/год в зависимости от пропущенного тоннажа.

В таблице 1 приведены данные об интенсивности износа в кривых малых радиусов.

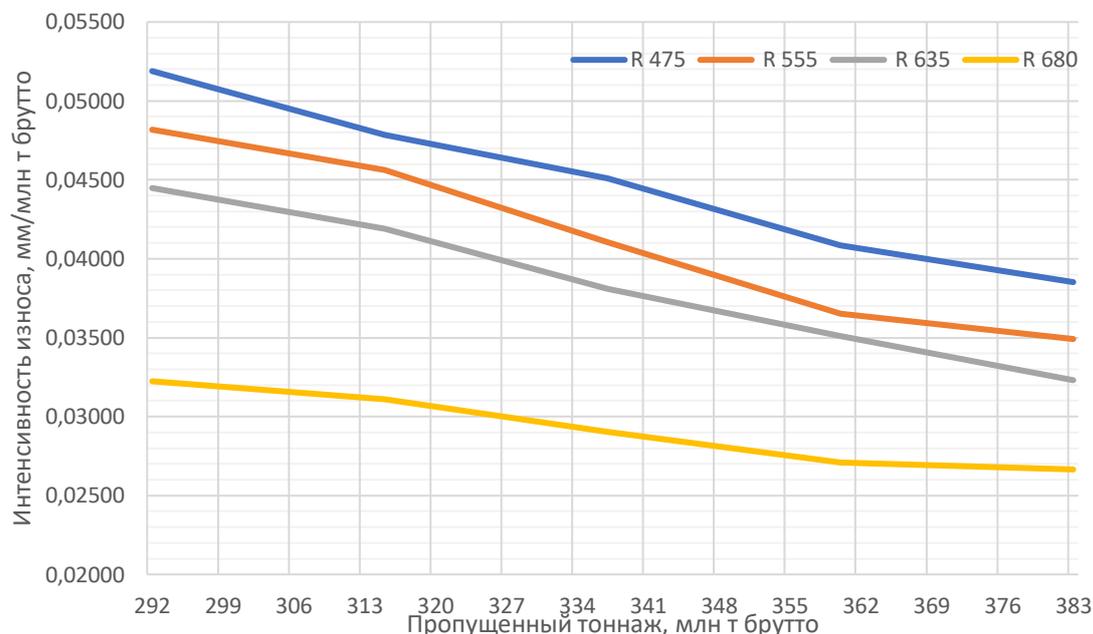


Рисунок 1 – График интенсивности износа кривых малых радиусов

Таблица 1 – Интенсивность износа в кривых малых радиусов

Пропущенный тоннаж, млн т брутто	Радиус кривой R, м			
	475	555	635	680
269,8	0,052665	0,04961	0,04537	0,03255
292,5	0,05189	0,04818	0,04448	0,03224
315,2	0,04784	0,04561	0,04189	0,03109
337,9	0,0451	0,04104	0,03809	0,02905
360,6	0,04086	0,03651	0,03509	0,02709
383,3	0,03852	0,034915	0,032307	0,02665

Из данных, приведенных в таблице 1 и на рисунке 1, видно, что имеются значительные отличия в величинах интенсивности изнашивания рельсов кривых разных радиусов со схожими условиями эксплуатации. Интенсивность бокового износа рельсов на участке с пропущенным тоннажем 269,8 млн т брутто увеличивается от большего радиуса к меньшему. Так, в кривой радиусом 475 м интенсивность износа составляет 0,052665 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 555 м интенсивность износа составляет 0,04961 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 635 м интенсивность износа составляет уже 0,04537 мм/млн т брутто, а в кривой радиусом 680 м интенсивность износа составляет 0,03255 мм/млн т брутто. После пропуска 383,3 млн т брутто наблюдается тенденция

к уменьшению интенсивности бокового износа рельса. Следовательно, в кривых малого радиуса с пропущенным тоннажем 269,8 млн т брутто и 383,3 млн т брутто в кривой радиусом 475 м интенсивность износа уменьшилась на 0,01715 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 555 м – на 0,01470 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 635 м – на 0,01406 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 680 м – на 0,0063 мм/млн т брутто.

Из этого можно сделать вывод, что интенсивность бокового износа рельсов уменьшается с увеличением пропущенного тоннажа. Это свидетельствует об увеличении прочности металла на рабочих поверхностях рельса за счет наклепывания металла от воздействия подвижного состава.

На рисунке 2 приведены показатели интенсивности износа части головок рельсов в кривых средних радиусов в зависимости от пропущенного тоннажа, имеющих одинаковые значения по возвышению наружного

рельса  $h = 30$  мм, грузонапряжённости 13,7 млн т брутто/год.

В таблице 2 приведены данные об интенсивности износа в кривых средних радиусов.

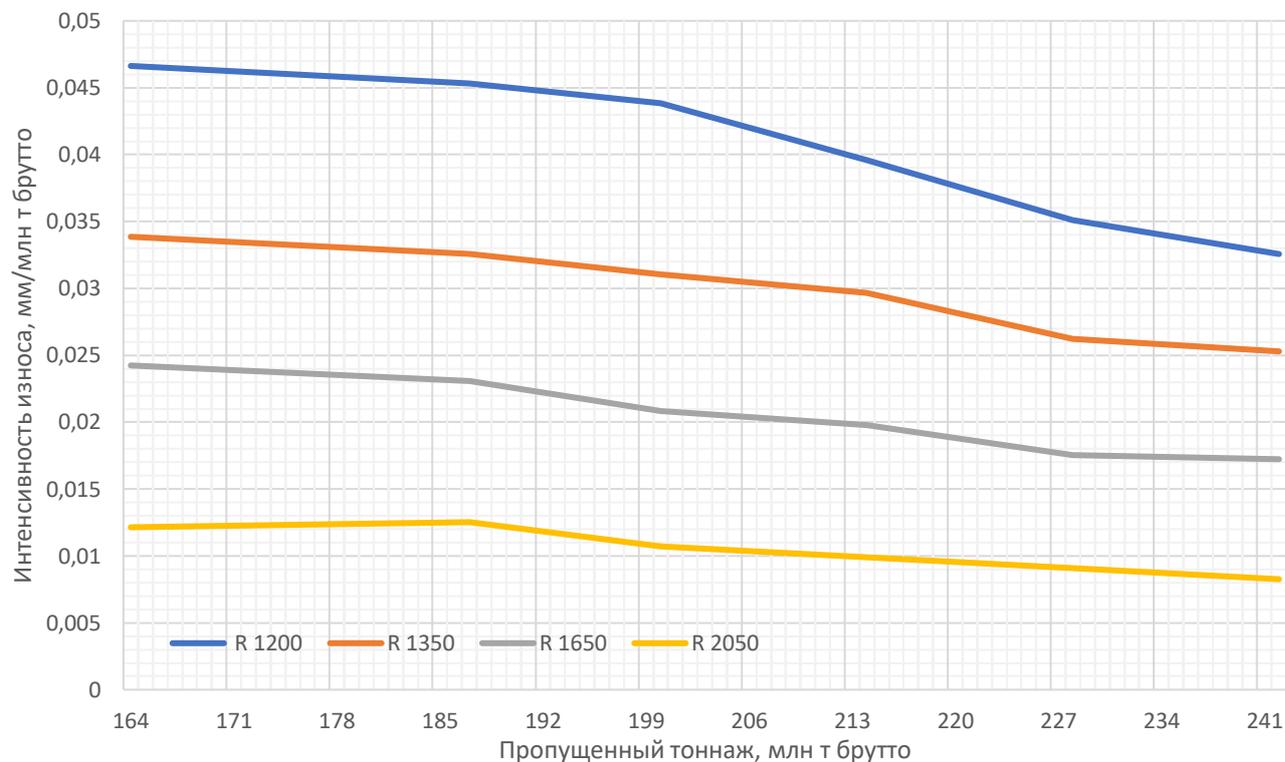


Рисунок 2 – График интенсивности износа кривых средних радиусов

Таблица 2 – Интенсивность износа в кривых средних радиусов

Пропущенный тоннаж, мм/млн т брутто	Радиус кривой R, м			
	1200	1350	1650	2050
164,5	0,04663	0,03386	0,02424	0,01216
187,2	0,04531	0,03258	0,02305	0,01253
200,9	0,04385	0,03103	0,02082	0,01071
214,6	0,03958	0,02969	0,01979	0,0099
228,3	0,03512	0,02624	0,01756	0,00908
242,0	0,03257	0,02529	0,01723	0,00826

Из данных, приведенных в таблице 2 и на рисунке 2, также можно отметить уменьшение интенсивности бокового износа с увеличением радиуса кривой. Так, на участке с пропущенным тоннажем 164,5 млн т брутто в кривой радиусом 1200 м интенсивность износа составляет 0,046632 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1350 м – 0,03386 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1650 м – 0,02424 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 2050 м – 0,012158 мм/млн т брутто.

После пропуска 77,5 млн т брутто наблюдается тенденция к уменьшению интенсивности бокового износа рельса. В кривых с пропущенным тоннажем 164,5 млн т брутто и 242 млн т брутто в кривой радиусом 1200 м интенсивность износа уменьшилась на 0,03257 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1350 м –

на 0,025293 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1650 м – на 0,01723 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 2050 м – на 0,00826 мм/млн т брутто.

По данным интенсивности износа можно отметить, что этот параметр имеет тенденцию к уменьшению с увеличением пропущенного тоннажа и в кривых среднего радиуса.

На рисунке 3 приведены сравнительные показатели интенсивности бокового износа головок рельсов в кривых в зависимости от величин возвышения наружного рельса для различных радиусов.

Зависимость интенсивности бокового износа от возвышения наружного рельса в кривых с усредненными значениями радиусов приведена в таблице 3.

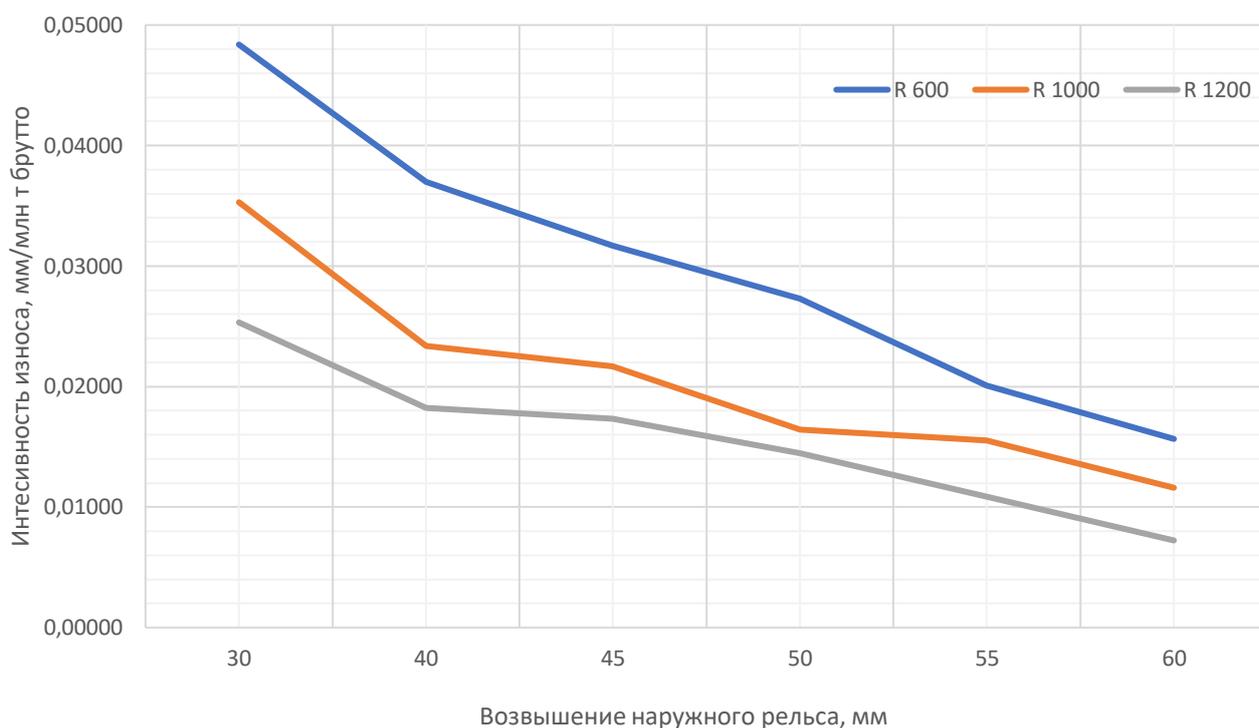


Рисунок 3 – Влияние возвышения наружного рельса на интенсивность бокового износа рельсов

Таблица 3 – Зависимость интенсивности бокового износа от возвышения наружного рельса

Возвышение наружного рельса, мм	Радиус кривой R, м		
	600	1000	1200
30	0,04838	0,03529	0,02532
40	0,03700	0,02336	0,01825
45	0,03167	0,02169	0,01734
50	0,02729	0,01643	0,01446
55	0,02010	0,01551	0,01084
60	0,01565	0,01160	0,00723

Из данных, приведенных в таблице 3 и на рисунке 3, видно, что в кривых с малым значением возвышения наружного рельса возникает непогашенное ускорение, которое значительно влияет на интенсивность бокового износа наружного рельса.

На рисунке 4 приведены сравнительные показатели интенсивности бокового износа головок рельсов в кривых в зависимости от продольного профиля пути.

В таблице 4 приведены показатели интенсивности бокового износа наружного рельса от продольного профиля пути.

По данным, приведенным в таблице 4 и на рисунке 4, наблюдается устойчивая тенденция к повышению интенсивности износа с увеличением величины уклона. Также видно, что во всех случаях интенсивность износа на спусках выше, чем интенсивность износа на подъемах. Рост интенсивности бокового износа наружного рельса в криволинейных участках обусловлен увеличением продольных сил, возникающих при движении грузовых поездов по подъему или спуску, которые инициируют рост боковых сил.

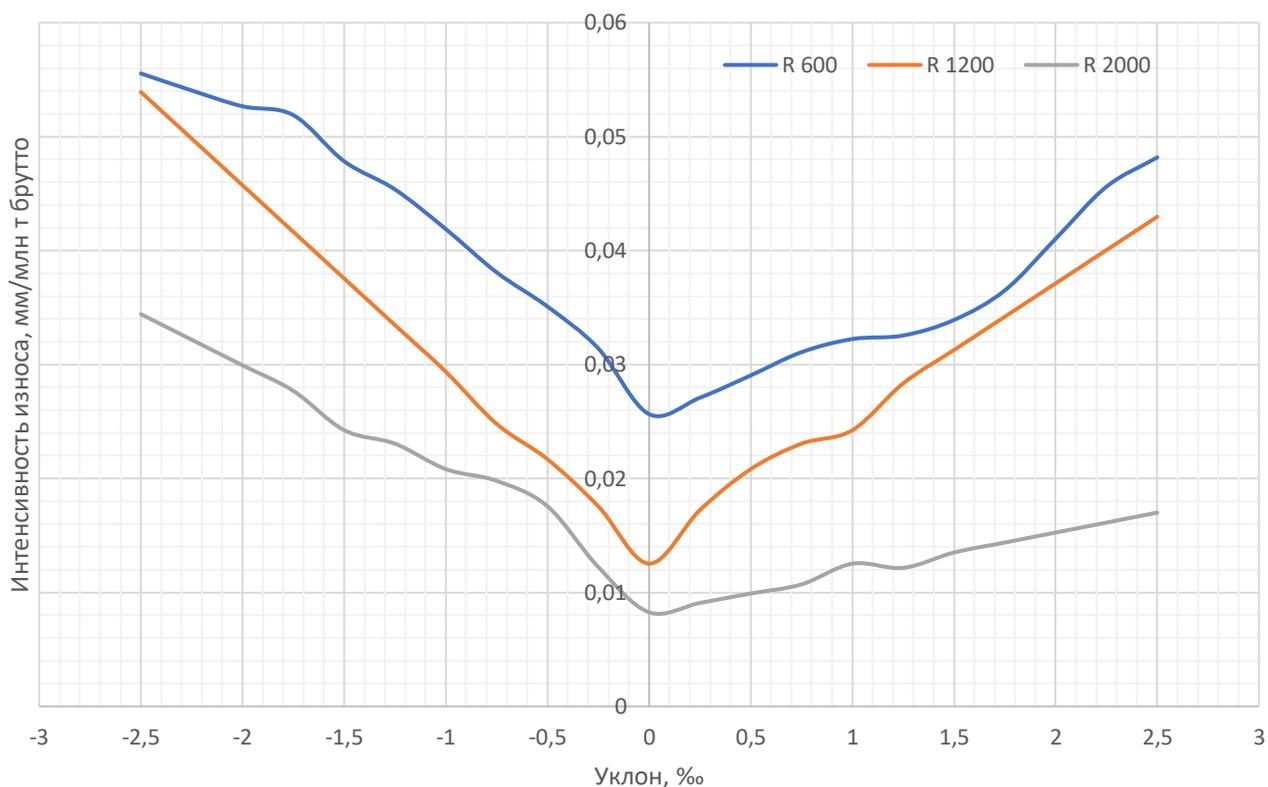


Рисунок 4 – Влияние продольного профиля на интенсивность износа

Таблица 4 – Показатели интенсивности бокового износа наружного рельса от продольного профиля пути

Уклон, ‰	Радиусы кривых R, м		
	R = 600	R = 1200	R = 2000
-2,5	0,05555	0,05392	0,03442
-2,25	0,05405	0,04983	0,03218
-2	0,05267	0,04574	0,02993
-1,75	0,05189	0,04164	0,02769
-1,5	0,04784	0,03755	0,02424
-1,25	0,04537	0,03346	0,02305
-1	0,04189	0,02937	0,02082
-0,75	0,03809	0,02479	0,01979
-0,5	0,03509	0,02169	0,01756
-0,25	0,03142	0,01756	0,01223
0	0,02565	0,01253	0,00826
0,25	0,02709	0,01723	0,00908
0,5	0,02905	0,02082	0,00990
0,75	0,03109	0,02305	0,01071
1	0,03224	0,02424	0,01253
1,25	0,03255	0,02835	0,01216
1,5	0,03392	0,03127	0,0135
1,75	0,03651	0,03420	0,01438
2	0,04104	0,03712	0,01525
2,25	0,04561	0,04005	0,01613
2,5	0,04818	0,04297	0,01700

### **Заключение**

По вышеприведенным данным можно оценить влияние различных факторов на интенсивность бокового износа.

Влияние радиуса криволинейного участка на интенсивность бокового износа наружного рельса:

– с увеличением радиуса кривой от 475 до 680 м интенсивность бокового износа уменьшается на 5–8 %;

– с увеличением радиуса кривой от 1200 до 1650 м интенсивность бокового износа уменьшается на 20–50 %.

Влияние возвышения наружного рельса на интенсивность бокового износа наружного рельса: – в кривых радиусом 600–1200 м при изменении возвышения наружного рельса с 30 мм до 60 мм интенсивность износа уменьшилась на 36–30 %.

Влияние продольного профиля пути на интенсивность бокового износа наружного рельса:

– на спусках в кривых радиусом 600 м наблюдается рост интенсивности бокового износа рельса в 54 %, в кривых радиусом 1200 м – в 78 %, в кривых радиусом 2000 м – в 78 %;

– на подъемах в кривых радиусом 600 м наблюдается рост интенсивности бокового износа рельса в 46 %, в кривых радиусом 1200 м – в 71 %, в кривых радиусом 2000 м – в 51 %.

Из этого следует, что с увеличением радиуса кривой интенсивность износа снижается. Недостаток возвышения наружного рельса ведет к увеличению непогашенного ускорения за счет увеличения направляющих сил.

Также наблюдается устойчивая тенденция к повышению интенсивности износа с увеличением величины уклона. Во всех случаях интенсивность износа на спусках выше, чем интенсивность износа на подъемах. Увеличение пропущенного тоннажа ведет к уменьшению интенсивности бокового износа, это свидетельствует об увеличении прочности металла на рабочих поверхностях рельса за счет наклёпывания металла от воздействия подвижного состава.

### **Список литературы**

1 **Панькин, Н. А.** Причины интенсивного износа гребней колёс и рельсов и пути его устранения / Н. А. Панькин // Железнодорожный транспорт. – 1991. – № 11. – С. 57–59.

2 **Певзнер, В. О.** Влияние ширины колеи / В. О. Певзнер // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 12. – С. 36–39.

3 **Марье, Г.** Взаимодействие пути и подвижного состава / Г. Марье–М. : Госжелдориздат, 1933. – Вып. 2. – С. 163.

4 **Ковтун, П. В.** Предлагается новый прибор / П. В. Ковтун, Э. И. Даниленко, В. В. Рыбкин // Путь и путевое хозяйство. – 1990. – № 3. – С. 24–25.

Получено 10.07.2023

**P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, N. N. Kravchenko, Y. V. Nikitin, D. S. Shaban.** Evaluation of the intensity of lateral wear of the rail head in curvilinear sections of the way.

Data on the intensity of wear in curved sections of the path of small and medium radii are provided. Indicators of the intensity of lateral wear of the outer rail are analyzed depending on the longitudinal profile of the track and the elevation of the outer rail.

